



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA

ANDRÉ LUIS MILEO FERRAIOLI SILVA

**INFLUÊNCIA DE ADITIVO POLIMÉRICO NO COMPORTAMENTO MECÂNICO
E REOLÓGICO DAS ARGAMASSAS PRODUZIDAS COM REJEITOS
INDUSTRIAIS**

BELÉM
2015

ANDRÉ LUIS MILEO FERRAIOLI SILVA

**INFLUÊNCIA DE ADITIVO POLIMÉRICO NO COMPORTAMENTO MECÂNICO
E REOLÓGICO DAS ARGAMASSAS PRODUZIDAS COM REJEITOS
INDUSTRIAIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Química.

Linha de Pesquisa: Engenharia de Processos Inorgânicos

Orientador: Prof. Dr. José Antônio da Silva Souza

Orientador: Prof^ª. Dra. Augusta Maria Paulain Ferreira Felipe

BELÉM

2015

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFPA

Silva, André Luis Mileo Ferraioli, 1990-
Influncia de aditivo polimérico no comportamento
mecânico e reológico das argamassas produzidas com
rejeitos industriais / André Luis Mileo Ferraioli Silva.
- 2015.

Orientador: José Antônio da Silva Souza;
Coorientadora: Augusta Maria Paulain
Ferreira Felipe.

Dissertação (Mestrado) - Universidade
Federal do Pará, Instituto de Tecnologia,
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química,
Belém, 2015.

1. Materiais de construção. 2. Argamassa. 3.
Polímeros- aditivos. 4. Reologia. 5. Resíduos
industriais. I. Título.

CDD 22. ed. 620.13

ANDRÉ LUIS MILEO FERRAIOLI SILVA

**INFLUÊNCIA DE ADITIVO POLIMÉRICO NO COMPORTAMENTO MECÂNICO
E REOLÓGICO DAS ARGAMASSAS PRODUZIDAS COM REJEITOS
INDUSTRIAIS**

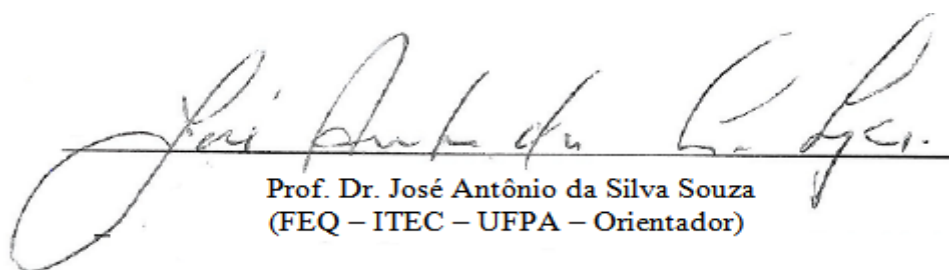
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Química.

Área de Concentração: Desenvolvimento de Processos

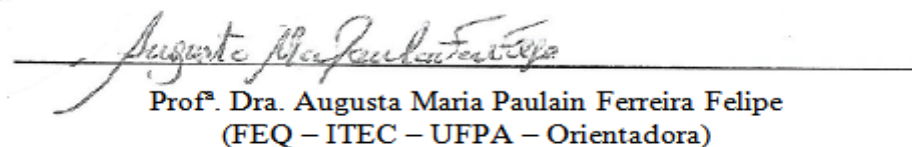
DATA DA AVALIAÇÃO: 12 / 05 /2015

CONCEITO: EXC

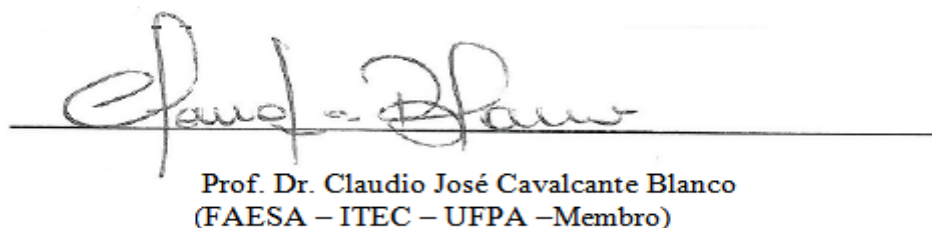
BANCA EXAMIDADORA



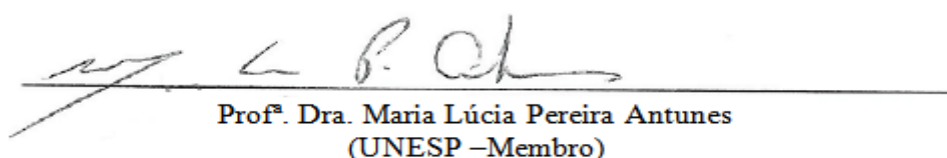
Prof. Dr. José Antônio da Silva Souza
(FEQ – ITEC – UFPA – Orientador)



Prof.ª Dra. Augusta Maria Paulain Ferreira Felipe
(FEQ – ITEC – UFPA – Orientadora)



Prof. Dr. Claudio José Cavalcante Blanco
(FAESA – ITEC – UFPA –Membro)



Prof.ª Dra. Maria Lúcia Pereira Antunes
(UNESP –Membro)

Aos meus pais Ana Tereza Mileo Ferraioli e Jose Vilmar Hermínio da Silva a minha querida irmã Andressa Mileo Ferraioli Silva e a minha amada avó Maria Domenica Mileo Ferraioli.

AGRADECIMENTOS

A **Deus** pela oportunidade e pela maravilhosa família que ele me deu

A **Jesus** Cristo pelo amor misericordioso

Aos meus orientadores Prof^o. Dr. **José Antônio** e a Prof^a. Dra. **Augusta Maria** pelos ensinamentos, incentivos, paciência, dedicação, confiança, colaboração e amizade que foram fundamentais à realização deste trabalho

Ao grande amigo mestre engenheiro **Dilson Cardoso** pela contribuição no desenvolvimento desse trabalho.

Ao Prof^o. Dr. **Celio Augusto Gomes** pelo incentivo e ensinamentos nas aulas do mestrado.

Ao Prof^o. Dr. **Marcelo Picanço** da engenharia civil pela sua contribuição na execução dos ensaios.

Ao funcionário da engenharia civil **Joel Martins** pela sua contribuição na execução dos ensaios.

Ao engenheiro de vendas da GRACE/RHEOSET **Guilherme Alquati** pela fornecimento do aditivo polimérico para estudo no projeto de pesquisa

A todos os **professores da engenharia química** que contribuíram de forma direta e indireta na realização desse trabalho de pesquisa.

Aos meus colegas de trabalho, **Augusto Fernando, Lianne Dias, Aluizio Lins, Wilson de Nazaré e Matheus Braga** que, além de suas contribuições, transformaram meu ambiente de trabalho em um local agradabilíssimo.

Aos meus amigos **Otacílio Dias Neto, Fábio Bruno Souza, Claudio Cardins Junior, Izabela Reis, Reginaldo Gonçalves** e ao grande amigo **Jorge Sales Vieira**.

A todos os meus tios em especial aos mais próximos, os irmãos da minha mãe, **Rafael Nicolau Ferraioli e Braz Mileo Ferraioli**.

Agradeço a **Universidade Federal do Pará, ao Instituto de Tecnologia, ao PRODERNA e ao Programa de Pós- Graduação em Engenharia Química** por criar boas condições ao desenvolvimento de pesquisa.

RESUMO

As argamassas são consideradas como um sistema particulado em suspensão com agregado miúdo, aglomerante, água e aditivo polimérico constituinte orgânico. Fatores como granulometria, teor de cimento, cinza e aditivo em sua composição influenciam nas propriedades da argamassa tanto no estado fresco quanto no estado endurecido. Foi realizado o estudo reológico e de ensaio mecânico em argamassa elaborada para assentamento e revestimentos pela incorporação do aproveitamento de rejeito da construção civil (RCC) como agregado miúdo e cinza volante resíduo mineral proveniente da combustão das caldeiras da empresa HYDRO ALUNORTE. O presente trabalho visa desenvolver uma argamassa modificada por polímero que possua como aglomerante Cimento Portland CII E-32RS e cinza volante e como agregado miúdo areia e RCC aditivada por poliacetato de vinila (PVA). Foi realizado o estudo da influência do cimento, da cinza, da granulométrica dos agregados e do uso de aditivo polimérico PVA nas propriedades da argamassa. Os materiais foram submetidos à caracterização física e química através de análise granulométrica, fluorescência de raio-x e FTIR. Na elaboração dos corpos de provas foi realizado o estudo de 6 traços com 5% em massa de cimento e 3 traços com 10% em massa de cimento, ambos com diferentes teores de cinza, areia, RCC e mantendo quantidade de cimento portland constante. Ainda foi avaliado a comparação das propriedades mecânicas e reológicas dos traços com e sem PVA. Os traços no estado fresco foram submetidos a ensaio reológico. Após 28 dias de cura os corpos de prova dos traços já no estado endurecido foram submetidos a ensaios de resistência mecânica a compressão, massa específica, absorção aparente e porosidade aparente. A pesquisa demonstrou que o emprego de aditivo polimérico a base de PVA melhorou as propriedades mecânicas da argamassa elaborada com rejeitos industriais além de garantir comportamento reológico satisfatório para possível aplicação da mesma na construção civil.

Palavras-chave: Argamassas, cinza volante, aditivo polimérico, reologia, ensaios mecânico.

ABSTRACT

Mortars are considered to be particulate systems in suspension with fine aggregate, binder, water and organic polymeric additive. Factors such as granulometry, cement, ash and additive contents in their composition influence mortar properties in both the fresh and hardened states. A rheological study and mechanical test were performed on mortar prepared for floors and coatings through incorporating civil construction wastes (RCC) such as fine aggregate and fly ash, a mineral waste derived from combustion in boilers at the HYDRO ALUNORTE Company. This study seeks to develop a polymeric mortar that uses CII E-32RS Portland cement and fly ash as binders and fine sand and RCC with polyvinyl acetate (PVA) as aggregates. A study was performed on the influence of cement, ash, granulometry of aggregates and use of PVA based-polymeric additives on mortar properties. The materials were submitted to physical and chemical characterization using granulometric analysis, X-ray fluorescence and FTIR. In preparing the specimens, 6 formulas with 5% cement and 3 formulas with 10% cement were used, both with different levels of ash, sand and RCC and maintaining a constant level of Portland cement content. A comparison of the mechanical and rheological properties of formulas with and without PVA was also made. Formulas in a fresh state were submitted to rheological tests. After 28 days of curing specimens of these formulas, by then in a hardened state, were submitted to tests for mechanical resistance to compression, specific mass, apparent absorption and apparent porosity. The research demonstrated that employing a PVA-based polymeric additive improved the mechanical properties of the mortar prepared with industrial wastes, as well as guaranteeing satisfactory rheological behavior for possible applications of such mortars in civil construction.

Keywords: Mortars, fly ash, polymeric additive, rheology, mechanical tests.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Partículas esféricas de Cinza Volante (CV).....	28
Figura 2: Partículas pleosferas contendo partículas cenosféricas de Cinza Volante (CV).	28
Figura 3: Efeito filer das cinzas volantes	30
Figura 4: Modelo de modificação apresentado por Ohama	35
Figura 5: Mero do PVA e molécula do PVA antes da hidrólise	38
Figura 6: Modelos reológicos: (1) Herschel-Bulkley; (2) Plástico de Bingham; (3) Pseudoplástico; (4) Newtoniano; (5) Dilatante (STEFFE, 1992).....	45
Figura 7: Viscosidade aparente em função da taxa de cisalhamento para os modelos reológicos (1) Herschel-Bulkley ($0 < n < 1$), (2) Plástico de Bingham, (3) Dilatante, (4) Pseudoplástico e (5) Newtoniano (STEFFE, 1992).	46
Figura 8: Ciclos de histerese de fluidos tixotrópicos e reopéticos.	47
Figura 9: Fluxograma das etapas de desenvolvimento do trabalho	56
Figura 10: Cimento Portland CP II – E 32	57
Figura 11: Cinza Volante (CV)	57
Figura 12: Reforma do laboratório de Engenharia Química (LEQ).....	58
Figura 13: Rejeito da Construção Civil.....	58
Figura 14: Areia	59
Figura 15: Britador de Mandibula Modelo MA700	62
Figura 16: Moinho de disco Marconi	62
Figura 17: Moinho de bolas CIMAQ	63
Figura 18: Peneiras granulométricas	63
Figura 19: Prensa Emic SSH300.....	64
Figura 20: Viscosímetro rotacional Modelo Haake VT 550	64
Figura 21: Cilindros coaxiais copo SV e cilindros SV1.....	64
Figura 22: Corpos de prova dos traços de argamassa com e sem PVA	67
Figura 23: Ensaio de resistência à compressão	68
Figura 24: Curva de Calibração do viscosímetro VT550.....	70

Figura 25: Espectro no infravermelho (FTIR) experimental do PVA	71
Figura 26: Análise granulométrica da cinza volante.....	72
Figura 27: Análise granulométrica do rejeito da construção civil.....	74
Figura 28: Curva de moagem do rejeito da construção civil	75
Figura 29: Análise granulométrica da sílica.....	76
Figura 30: Curva de moagem para da areia.....	77
Figura 31: Gráfico referente à absorção aparente para os traços 01, 02, 03, 04, 05 e 06 com e sem PVA.....	80
Figura 32: Gráfico referente à porosidade aparente para os traços 01, 02, 03, 04, 05 e 06 com e sem PVA.....	80
Figura 33: Gráfico referente à absorção aparente para os traços 07, 08 e 09 com/sem PVA.	81
Figura 34: Gráfico referente a porosidade aparente para os traços 07, 08, 09 com/sem PVA.	81
Figura 35: Gráfico da resistência à compressão em MPa para os traços 01, 02, 03, 04, 05 e 06 com e sem PVA.....	82
Figura 36: Gráfico da resistência à compressão em MPa para os traços 07, 08 e 09 com e sem PVA.....	82
Figura 37: Traços de argamassa 03, 04 e 05 sem PVA.....	83
Figura 38: Traços de argamassa 07, 08 e 09 sem PVA.....	84
Figura 39: Traços de argamassa 03, 04 e 05 modificadas com PVA.....	84
Figura 40: Traços de argamassa 07, 08 e 09 modificadas com PVA.....	85
Figura 41: Traços 03, 04 e 05 com e sem PVA.....	86
Figura 42: Traços 07, 08 e 09 com e sem PVA.....	86
Figura 43: Curva de fluxo para os traços 03, 04 e 05 com e sem PVA	87
Figura 44: Curva de fluxo para os traços 07, 08 e 09 com e sem PVA	87
Figura 45: Curvas de trabalhabilidade para os traços 03, 04 e 05 com e sem PVA.....	89
Figura 46: Curvas de trabalhabilidade para os traços 07, 08 e 09 com e sem PVA.....	90
Quadro 01: Fases de Alita, Belita, Aluminato e Ferrita.....	23
Quadro 02: Composição de cimentos Portland normalizados no Brasil (ABCP, 2002).....	24
Quadro 03: Exigências químicas de cimentos Portland normalizados no Brasil.....	25

Quadro 04: Exigências físicas e mecânicas de cimentos Portland normalizados no Brasil. ..	25
Quadro 05: Fluidos de comportamento newtoniano, pseudoplástico, dilatante e Bingham como casos especiais do modelo de Herschel-Bulkley.	44
Quadro 06: Modelos reológicos	45
Quadro 07: Equações que relacionam a tensão e a taxa de cisalhamento, que descreve o comportamento do escoamento de pastas cerâmicas (argamassa).	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Resistência à compressão em MPa.....	21
Tabela 02: Massa específica do estado endurecido.....	21
Tabela 03: Massa específica do estado fresco em kg/m ³	22
Tabela 04: Especificações do PVA	59
Tabela 05: Características do Ensaio.....	60
Tabela 06: Condições de moagem estabelecidas para a etapa de cominuição.	61
Tabela 07: Composição dos corpos de prova sem PVA	65
Tabela 08: Composição dos corpos de prova com PVA	65
Tabela 09: Composição dos traços em proporção, com 5 e 10% de cimento.	66
Tabela 10: Programação para a elaboração da curva Torque versus Tempo	69
Tabela 11: Grupos funcionais presentes no espectro do PVA	71
Tabela 12: Análise química da cinza volante	72
Tabela 13: Análise granulométrica da cinza volante.....	73
Tabela 14: Análise química do Rejeito da Construção Civil.	74
Tabela 15: Análise granulométrica do rejeito da construção civil	75
Tabela 16: Curva de Moagem	76
Tabela 17: Análise química da areia	76
Tabela 18: Análise granulométrica da sílica.	77
Tabela 19: Curva de Moagem	78
Tabela 20: Propriedades Mecânicas para os traços sem PVA.....	78
Tabela 21: Propriedades Mecânicas para os traços com PVA.	79
Tabela 22: Massa específica da argamassa no estado fresco	79
Tabela 23: Modelo reológico para os traços sem PVA	88
Tabela 24: Modelo reológico para os traços com PVA.....	88
Tabela 25: Valores da curva de trabalhabilidade para os traços 03, 04 e 05 com/sem PVA ..	89
Tabela 26: Valores da curva de trabalhabilidade para os traços 07, 08 e 09 com/sem PVA ..	90

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ABNT	– Associação Brasileira de Normas Técnicas
CMC	– CarboximetilCelulose
CV	– Cinza Volante
FTIR	– Infravermelho com Transformada de Fourier
HEC	– Hidroxietil Celulose
LABREO	– Laboratório de Reologia
MC	– MetilCelulose
MEA	– Massa Específica
MHEC	– MetilHidroxietil Celulose
NBR	– Norma Brasileira Regulamentadora
PVA	– Adição de Poliacetato de Vinila
PVAc	– Polimerização do Acetato Vinílico para Poli(acetato vinílico)
RCC	– Rejeição da Construção Civil
UFPA	– Universidade Federal do Pará
USIMAT	– Usina de Materiais

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
2 OBJETIVOS	18
2.1 GERAIS	18
2.2 ESPECÍFICOS	18
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
3.1 SISTEMA DE REVESTIMENTO.....	19
3.2 FUNCIONALIDADE DO SISTEMA DE REVESTIMENTO.....	19
3.3 ARGAMASSA DE REVESTIMENTO	20
3.4 CHAPISCO	20
3.5 SUBSTRATO	21
3.6 CLASSIFICAÇÃO DAS ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO	21
3.7 CIMENTO.....	23
3.8 AGREGADO	27
3.9 CINZA VOLANTE.....	27
3.10 UTILIZAÇÃO DAS CINZAS VOLANTES EM CONCRETOS E ARGAMASSAS	30
3.11 ARGAMASSA ADITIVADA COM POLÍMERO	31
3.11.1 Argamassas e Concretos Modificados com Polímeros	32
3.11.2 Argamassas e concretos impregnados com polímeros	32
3.11.3 Argamassas e concretos de resina	33
3.12 LATEX.....	34
3.13 FORMAÇÃO DE FILME POLIMÉRICO	34
3.13.1 Primeira Etapa	35
3.13.2 Segunda Etapa	35
3.13.3 Terceira Etapa	35
3.14 PROPRIEDADES DOS CONCRETOS E ARGAMASSAS MODIFICADOS COM LÁTEX ...	37
3.14.1 Resistência à Compressão	37
3.14.2 Retração por Secagem	37
3.14.3 Permeabilidade e Absorção	38
3.14.4 Fluidez	38
3.15 ADITIVO POLIMÉRICO POLIACETATO DE VINILA – PVA	38
3.16 PROPRIEDADES DA ARGAMASSA NO ESTADO FRESCO	39
3.16.1 Plasticidade	39

3.16.2 Consistência	40
3.16.3 Retenção de água	41
3.16.4 Trabalhabilidade	41
3.17 PROPRIEDADES DA ARGAMASSA NO ESTADO ENDURECIDO	41
3.17.1 Propriedades aglomerantes	42
3.17.2 Propriedades adesivas	43
3.18 REOLOGIA	43
3.18.1 Reologia	43
3.18.2 Tensão limite de escoamento	44
3.18.3 Viscosidade	44
3.18.4 Modelos reológicos	44
3.19 REOLOGIA DAS ARGAMASSAS	48
3.20 INFLUÊNCIA DE PARÂMETROS NAS PROPRIEDADES REOLÓGICAS	51
3.20.1 Morfologia das partículas	51
3.20.2 Influência da adição de agregados na reologia das Argamassas	53
3.20.3 Aditivos químicos modificadores de viscosidade	55
4 MATERIAL E MÉTODOS	57
4.1 SELEÇÃO DE MATERIAIS	57
4.1.1 Cimento Portland	57
4.1.2 Cinza Volante	58
4.1.3 Rejeito da Construção Civil (RCC)	58
4.1.4 Areia	59
4.1.5 Aditivo Polimérico PVA	60
4.2 CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA PRIMA	61
4.2.1 Caracterização I	61
4.2.2 Caracterização II	61
4.2.3 Caracterização III	62
4.2.4 Caracterização IV	62
4.3 EQUIPAMENTOS.....	63
4.4 COMPOSIÇÃO DOS TRAÇOS DE ARGAMASSA.....	66
4.5 PRODUÇÃO DOS CORPOS DE PROVAS	67
4.6 ENSAIO FÍSICO-MECÂNICO DOS CORPOS DE PROVA.....	68
4.7 ABSORÇÃO APARENTE	68
4.8 POROSIDADE APARENTE.....	69
4.9 MASSA ESPECÍFICA (MEA)	69

4.10 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO.....	69
4.11 ENSAIO REOLÓGICO	70
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	72
5.1 PVA.....	72
5.2 CINZA VOLANTE.....	73
5.3 REJEITO DA CONSTRUÇÃO CIVIL (RCC)	74
5.4 SÍLICA (AREIA)	76
5.5 PROPRIEDADES MECÂNICAS.....	79
5.6 ANÁLISE DE HISTERESE	84
5.7 COMPORTAMENTO ADESIVO DA ARGAMASSA	86
5.8 MODELO REOLÓGICO.....	88
5.9 CURVA DE TRABALHABILIDADE	90
6 CONCLUSÕES	92
7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	93
REFERÊNCIAS.....	94

1 INTRODUÇÃO

A norma NBR 13281 (ABNT, 1995) define argamassa para assentamento e revestimento como sendo uma mistura homogênea de agregados miúdos, aglomerantes inorgânicos e água, contendo ou não aditivos, com propriedades de aderência e endurecimento. Nesta mesma norma, são definidos outros termos usuais envolvendo o revestimento executado à base de cimento e cal.

Uma argamassa de qualidade deve ser elaborada e produzida para obter o melhor desempenho e durabilidade. Deve-se ter como enfoque algumas propriedades, tais como: baixo custo de mercado, plasticidade, aderência no estado fresco e no estado endurecido ausência de fissuras, resistência à abrasão, compressão e boa trabalhabilidade (SCANDOLARA, 2010).

As argamassas convencionais atualmente vêm sendo fruto de estudos de pesquisadores da área de materiais com o objetivo de, cada vez mais, melhorar as suas características e conseqüentemente desempenho, frente a resistência mecânica e ao seu comportamento reológico, favorecendo desse modo a qualidade final da construção. Dessa forma, a viabilidade do emprego de diferentes aditivos poliméricos em argamassas convencionais constitui um novo campo de aplicação.

A argamassa convencional apresenta poros, porém esses poros podem ser preenchidos parcialmente ou totalmente com polímero, uma vez preenchidos a área de apoio da carga efetiva ao qual a argamassa é submetida, é ampliada o que favorece o incremento de sua resistência mecânica bem como dificulta a penetração de agentes agressivos, colaborando para o aumento de sua durabilidade. (FERREIRA, 2011)

O estudo reológico das argamassas está relacionado com a melhoria e facilidade de seu espalhamento e penetração nos poros dos substratos em que as mesmas são aplicadas. O comportamento reológico da argamassa é relevante para o desenvolvimento de novos produtos e para se compreender, os fenômenos que estão envolvidos em seu comportamento, pois em se tratando de argamassas para assentamento e revestimento é necessário avaliar as características no estado fresco, pois os mesmos influenciam de forma direta no produto em estado endurecido.

2OBJETIVOS

2.1 GERAIS

Desenvolver um novo produto, no caso uma argamassa aditivada com polímero e produzida com rejeito industriais.

2.2 ESPECÍFICOS

- a) Avaliar a influência da adição do aditivo polimérico a base de PVA no comportamento reológico dos traços de argamassas no estado fresco.
- b) Avaliar o comportamento reológico da mistura composta para a argamassa com o tempo, e sua influencia na trabalhabilidade.
- c) Avaliar a influência da adição do aditivo polimérico a base de PVA nas propriedades mecânicas dos traços de argamassa no estado endurecido.
- d) Avaliar a influência do teor de cinza no comportamento mecânico dos traços de argamassa com e sem aditivo.
- e) Avaliar a influência da granulométrica dos agregados miúdos, RCC e areia no comportamento reológico e mecânico dos traços de argamassa com e sem aditivo.
- f) Verificar através de dados proveniente de ensaios mecânicos e reológicos a viabilidade e o potencial desse produto ser usado como argamassa de revestimento e assentamento.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 SISTEMA DE REVESTIMENTO

A NBR 13529 (1995) define o sistema de revestimento como sendo um elemento formado pelo revestimento de argamassa e acabamento decorativo, compatível com a natureza da base, condições de exposição, acabamento final e desempenho, previstos em projeto.

3.2 FUNCIONALIDADE DO SISTEMA DE REVESTIMENTO

Em termos gerais, as funções básicas dos revestimentos são: a regularização superficial dos fechamentos da base, proteção das alvenarias e estrutura de concreto com vistas à durabilidade, bem como a contribuição do desempenho geral dos fechamentos da edificação. Observa-se que essas funções são muito genéricas e variam enormemente de caso a caso. O que se necessita é de parâmetros e critérios técnicos que traduzam essas funções em especificações de valores e faixas que possam ser mensuradas e ensaiadas. O projeto de norma ABNT/CB2 02:136.01.004 (2006) - Desempenho de edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Parte 4: Fachadas e paredes internas, estabelece como requisitos para revestimentos internos e externos os seguintes itens:

- Desempenho Estrutural
- Desempenho Térmico
- Desempenho Acústico
- Durabilidade
- Adequação Ambiental

De acordo com Cincotto et al (1995), ao longo do tempo o desempenho das argamassas de revestimento é afetado por fatores associados às condições de exposição e à ação dos usuários. Pode-se dividir estes fatores em: extrínsecos, associados à solicitação externa sobre o sistema de revestimento (ações do meio ambiente, tais como temperatura, umidade, chuvas e ventos dentre outros) e intrínsecos, que dizem respeito às propriedades e aos atributos de materiais, componentes e sistemas, relacionados às condições de superfícies externas.

3.3 ARGAMASSA DE REVESTIMENTO

A NBR 13281 (2005) estabelece como conceito de argamassa de revestimento, uma mistura homogênea de agregado(s) miúdo(s), aglomerante(s) inorgânico(s) e água, podendo conter ou não aditivos com propriedades de aderência e endurecimento, podendo ser dosada em obra ou em instalação própria (argamassa industrializada).

O revestimento de argamassa é definido, segundo a NBR 13529 (1995), como sendo “o cobrimento de uma superfície com uma ou mais camadas superpostas de argamassa, apto a receber acabamento decorativo ou constituir-se em acabamento final”, formando junto com a decoração, um sistema de revestimento, que deve ser compatível com a natureza da base, condições de exposição, acabamento final e desempenho, previstos em projetos.

O sistema de revestimento de argamassa pode ser divididas em 2 grupos, quanto ao número de camadas:

Emboço: É a camada de argamassa que tem como finalidade regularizar a superfície da base, permitindo assim a execução de outra camada, de reboco ou de acabamento decorativo, ou mesmo se constituindo como acabamento final, onde se caracteriza o revestimento de camada única ou reboco “paulista” como é conhecido popularmente nas obras.

Reboco: É a camada de argamassa executada posteriormente ao emboço, apta a receber o acabamento decorativo ou constituir o acabamento final, no caso de acabamento em pintura.

3.4 CHAPISCO

O chapisco não é uma camada de revestimento, mas uma camada de preparação de base. A preparação de base é definida como um conjunto de técnicas que são realizadas na base para que proporcione a melhor aderência da argamassa ao substrato. Muitas vezes a superfície do bloco (cerâmico ou de concreto), não favorece uma boa aderência, devido à baixa rugosidade superficial ou baixa/elevada absorção capilar. Neste caso aplica-se o chapisco para se obter uma maior superfície de contato e uniformizar a absorção. Em superfícies externas, onde as solicitações são elevadas o uso do chapisco é feito regularmente, sendo considerado por muitos engenheiros facultativo em revestimentos internos, quando a

base oferece supostamente boa aderência, com exceção de superfícies de concreto, onde o seu uso é obrigatório.

3.5 SUBSTRATO

O substrato ou base é a camada que recebe o revestimento de argamassa, e pode ser classificado como de vedação ou estrutural, dependendo de sua função na estrutura.

O substrato pode se constituir de alvenaria de blocos (cerâmico, concreto, silico-calcário, concreto celular auto-clavado) ou mesmo de concreto. O substrato tem muita importância no desempenho do revestimento principalmente no que tange às suas propriedades físico-mecânicas dentre as quais se pode citar: textura superficial, absorção capilar, porosidade, e movimentações higroscópicas irreversíveis, essas propriedades refletem-se diretamente no revestimento de argamassa e influenciam nos ensaios de aderência à tração, resistência ao cisalhamento, formação de fissuras (PAES,2004).

3.6 CLASSIFICAÇÃO DAS ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO

As manifestações patológicas que ocorrem nos revestimentos vêm de longas datas, e possuem inúmeras causas. O enfoque atual considera os diferentes aspectos das etapas da construção como projeto, execução e uso da edificação, características dos componentes de vedação, tipo de argamassa, técnica de aplicação, deformação da estrutura, adequação do revestimento às condições ambientais em que estará exposta. Este quadro leva a necessidade de se especificar a argamassa visando cada condição de uso, com seus respectivos requisitos e critérios de qualidade que garantam a adequabilidade, durabilidade e desempenho. Surge a questão: Como especificar as argamassas para garantir o desempenho e a durabilidade do revestimento, de forma a reduzir os casos de falhas em revestimento considerando que a mão-de-obra também tem participação no processo de produção do revestimento? Para especificar corretamente é necessário ter conhecimento da inter-relação de todos os fatores intervenientes no processo, diferenciando os diversos tipos de uso da argamassa. Assim, é necessário o estudo de desempenho levando em conta as características da obra como tipo de base, sistema estrutural, condições de aplicação e uso, condições de contorno e de exposição do

revestimento. No Brasil considerando-se a normalização de classificação do tipo de revestimento e do tipo de argamassa tem-se a NBR 13530 (1995) “Especificação das condições exigíveis de recebimento dos revestimentos executados”, a NBR 13749 (1996) “Requisitos para as argamassas”, e a NBR 13281(1995): “Argamassa para assentamento e revestimentos de paredes e tetos - Requisitos”. Apesar de no Brasil a partir 1995, ano em que foi implantada a NBR 13281, ter havido um grande avanço no que tange a evolução normativa para argamassas industrializadas, ainda há muitas limitações. Houve na década de 90 muitas mudanças no mercado de argamassas industrializadas, em virtude do enfoque comercial se direcionar a aplicação do material e não ao desempenho. As argamassas foram consideradas de uso generalizado, sem levar em condição as diferentes condições de aplicação e uso (revestimento interno, externo, assentamento, de vedação e estrutural).

As normas da ABNT trazem grande novidade na classificação das argamassas para assentamento e revestimento de paredes e tetos baseada nas suas características e propriedades. Estas são determinadas pelos métodos de ensaio de resistência à compressão, massa específica aparente no estado endurecido, massa específica no estado fresco cujos limites de valores e classificação se encontram nas tabelas 01, 02 e 03.

Tabela 01: Resistência à compressão em MPa

Resistência à Compressão (MPa) - ABNT NBR 13279	
Classe	Resistência à Compressão (Mpa)
P1	< 2,0
P2	1,5 a 3,0
P3	2,5 a 4,5
P4	4,0 a 6,5
P5	5,5 a 9,0
P6	>8,0

Tabela 02: Massa Específica no estado endurecido

Massa Específica no estado endurecido (kg/m³) - ABNT NBR 13280	
Classe	Dens. de massa no estado endurecido (kg/m³)
M1	< 1200
M2	1000 a 1400
M3	1200 a 1600
M4	1400 a 1800
M5	1600 a 2000
M6	>1800

Tabela 03: Massa Específica no estado fresco em kg/m³

Massa Específica no estado fresco (kg/m ³) - ABNT NBR 13278	
Classe	Dens. de massa no estado fresco (kg/m ³)
D1	< 1400
D2	1200 a 1600
D3	1400 a 1800
D4	1600 a 2000
D5	1800 a 2200
D6	>2000

3.7 CIMENTO

Na produção de uma pasta, concreto ou argamassa, o primeiro critério a se escolher é quanto ao tipo de cimento a ser empregado, mesmo quando um ou mais materiais cimentícios suplementares são incorporados à mistura, isto porque a sua performance em termos de reologia e de resistência torna-se um item crítico à medida que a resistência à compressão desejada aumenta (AÏTCIN, 2000).

Os cimentos pertencem à classe de materiais denominados aglomerantes hidráulicos. Esta denominação compreende àquelas substâncias que endurecem uma vez misturadas com a água e resistem a esta com o passar do tempo (KIHARA,1983). Os cimentos são essencialmente produzidos a partir de uma mistura de calcário, argila e minério de ferro. O cimento Portland resulta da moagem de um produto chamado clínquer, obtido pelo cozimento até a fusão incipiente de uma mistura de calcário e argila conveniente dosada e homogeneizada, a qual é adicionada pequena quantidade de gesso (sulfato de cálcio) (TAYLOR,2003). Os componentes químicos principais do cimento Portland são a cal (CaO) – de 60 % a 67 %, sílica (SiO₂) – de 17 % a 25 %, alumina (Al₂O₃) – de 3 % a 8 % e óxido de ferro (Fe₂O₃) – de 0,5 % a 6 %. Estes componentes também são indicados pelas letras C, S, A e F para a cal, sílica, alumina e óxido de ferro, respectivamente.

O clínquer tipicamente tem composição na região de 67% de CaO, 22% de SiO₂, 5% de Al₂O₃, 3% de Fe₂O₃ e 3% de outros componentes (MgO, K₂O, Na₂O, TiO₂, Mn₃O₄ e P₂O₅). A cal provém da decomposição do carbonato de cálcio já a sílica, a alumina e o óxido de ferro são originados, sobretudo, da decomposição das argilas. A reação destes materiais durante a queima produz, normalmente, quatro fases principais, denominadas alita, belita,

aluminato e ferrita (Quadro 01). Diversas outras fases, como os sulfatos alcalinos e o óxido de cálcio, estão também presentes em menores quantidades (TAYLOR, 2003).

Quadro 01: Fases de Alita, Belita, Aluminato e Ferrita

Nome	Composto	Fórmula Química		
		Soma dos Óxidos	Óxidos Separados	Fórmula Condensada ^a
Alita	Silicato tricálcico	Ca_3SiO_5	$3\text{CaO}.\text{SiO}_2$	C_3S
Belita	Silicato dicálcico	Ca_2SiO_4	$2\text{CaO}.\text{SiO}_2$	C_2S
Aluminato	Aluminato tricálcico	$\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$	$3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A
Ferrita	Ferro aluminato tetracálcico	$\text{Ca}_2\text{AlFeO}_5$	$4\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3.\text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF

^aC = CaO, S = SiO₂, A = Al₂O₃, F = Fe₂O₃.

Alita é um silicato tricálcico (Ca_3SiO_5) modificado em sua composição e estrutura cristalina por substituições iônicas. É o mais importante constituinte dos cimentos Portland correspondendo de 40% a 70% do clínquer. Estes compostos são os principais responsáveis pelas resistências do cimento, principalmente até os 28 dias (NEVILLE, 1982; TAYLOR, 2003).

A belita representa de 15% a 35% do clínquer do cimento Portland. É um silicato dicálcico (Ca_2SiO_4) modificado por substituições iônicas e normalmente encontra-se presente na forma polimórfica β . Apresenta grande contribuição para as resistências do cimento, mas o desenvolvimento dessa resistência dá-se de forma mais lenta (NEVILLE, 1982; TAYLOR, 2003).

O aluminato constitui de 5% a 10% da composição do clínquer. É um aluminato tricálcico ($\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$) bastante modificado na sua composição e algumas vezes na estrutura por substituições iônicas. Ele reage rapidamente com a água podendo causar uma indesejável pega rápida a menos que um agente de controle (usualmente gipsita) seja adicionado (TAYLOR, 2003).

A ferrita é um ferro aluminato tetracálcio ($\text{Ca}_2\text{AlFeO}_5$), substancialmente modificado na sua composição pela variação na razão Al/Fe, formando soluções sólidas que variam do $\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$ a $\text{Ca}_6\text{Al}_4\text{Fe}_2\text{O}_{15}$, que corresponde de 5% a 10% do clínquer. A taxa na qual ele reage com a água é variada dependendo da sua composição e de outras características, mas, em geral, é elevada inicialmente e baixa ou muito baixa em maiores idades (NEVILLE, 1982; TAYLOR, 2003).

Os aluminatos e o óxido férrico encontram-se liquefeitos nas temperaturas de clínquerização e, pelo resfriamento rápido do clínquer, resultam em fases aluminato e ferrita misturada em uma escala de poucos micrometros, com a ferrita formando dendritos ou

agulhas em uma matriz de aluminato predominantemente amorfo (NEVILLE, 1982; TAYLOR, 2003).

Os principais tipos de cimento Portland, diferentes entre si principalmente em função de sua composição, oferecidos no mercado são (ABCP, 2002):

- Cimento Portland Pozolânico
- Cimento Portland Comum
- Cimento Portland Composto
- Cimento Portland de Alto-forno

O cimento Portland comum corresponde ao cimento sem qualquer adição ao clínquer além do gesso (CP I) ou com percentuais de adições de até 5% (CP I-S). Já os cimentos Portland compostos são cimentos com adições de escória (CP II-E), pozolana (CP II-Z) e materiais carbonáticos (CP II-F), com composição intermediária entre os comuns e os com adições, nos quais se observam elevados teores de substituição do clínquer por escória (CP III) e material pozolânico (CP IV).

O Quadro 02 apresenta as composições dos cimentos comuns, compostos e com adições. As especificações para os cimentos, segundo as normas brasileiras, são baseadas em exigências químicas e físicas e mecânicas, conforme anotado no quadro 03 e no quadro 04.

Quadro 02: Composição de cimentos Portland normalizados no Brasil.

Tipo de cimento Portland	Sigla	Composição (% em massa)				Norma Brasileira
		Clínquer + gesso	Escória Granulada de Alto-Forno (sigla E)	Material Pozolânico (sigla Z)	Material Carbonático (sigla F)	
Comum	CP I	100	-	-	-	NBR 5732
	CP I – S	99-95	1-5			
Composto	CP II – E	94-56	6-34	-	0-10	NBR 11578
	CP II – Z	94-76	-	6-14	0-10	
	CP II – F	94-90	-	-	6-10	
Alto-Forno	CP III	65-25	35-70	-	0-5	NBR 5735
Pozolânico	CP IV	85-45	-	15-50	0-5	NBR 5736
Alta Resistência Inicial	CP V – ARI	100-95	-	-	0-5	NBR 5733

Fonte: ABCP (2002).

Quadro 03: Exigências químicas de cimentos Portland normalizados no Brasil.

Tipo de cimento Portland	Resíduo Insolúvel (%)	Perda ao Fogo (%)	MgO (%)	SO ₃ (%)	CO ₂ (%)	S (%)
CP I	≤ 1,0	≤ 2,0	≤ 6,5	≤ 4,0	≤ 1,0	-
CP I-S	≤ 5,0	≤ 4,5			≤ 3,0	
CP II-E	≤ 2,5	≤ 6,5	≤ 6,5	≤ 4,0	≤ 5,0	-
CP II-Z	≤ 16,0					
CP II-F	≤ 2,5					
CP III	≤ 1,5	≤ 4,5	-	≤ 4,0	≤ 3,0	≤ 1,0 ^a
CP IV ^{b,c}	^d	≤ 4,5	≤ 6,5	≤ 4,0	≤ 3,0	-
CP V – ARI	≤ 1,0	≤ 4,5	≤ 6,5	≤ 3,5	≤ 3,0	-
				≤ 4,5 ^e		

^a Ensaio facultativo. ^b A atividade pozolânica do cimento deve ser positiva, determinada conforme NBR 5753. ^c A atividade do material pozolânico, determinada conforme a NBR 5752, deve ser maior que 75%. ^d O teor de material pozolânico deve ser determinado pelo ensaio de resíduo insolúvel. ^e O teor de SO₃ igual a 3,5% aplica-se quando C3A ≤ 8,0 e 4,5% quando C3A ≥ 8,0%.

Fonte: ABCP (2002).

Quadro 04: Exigências físicas e mecânicas de cimentos Portland normalizados no Brasil.

Tipo de cimento Portland	Classe	Finura		Tempos de Pega (h)		Expansabilidade (mm)		Resistência à Compressão (MPa)				
		Resíduo na peneira de 75 µm (%)	Área específica (m ² /kg)	início	fim	A frio	A quente	1 dia	3 dias	7 dias	28 dias	91 dias ^a
CP I CP I-S	25	< 12,0	≥ 240	≥ 1	≤ 10 ^a	≤ 5 ^a	≤ 5	-	≥ 8,0	≥ 15,0	≥ 25,0	-
	32		≥ 260						≥ 10,0	≥ 20,0	≥ 32,0	
	40		≥ 280						≥ 15,0	≥ 25,0	≥ 40,0	
CP II-E CP II-Z CP II-F	25	< 12,0	≥ 240	≥ 1	≤ 10 ^a	≤ 5 ^a	≤ 5	-	≥ 8,0	≥ 15,0	≥ 25,0	-
	32		≥ 260						≥ 10,0	≥ 20,0	≥ 32,0	
	40		≥ 280						≥ 15,0	≥ 25,0	≥ 40,0	
CP III	25	≤ 8,0	-	≥ 1	≤ 12 ^a	≤ 5 ^a	≤ 5	-	≥ 8,0	≥ 15,0	≥ 25,0	≥ 32,0
	32								≥ 10,0	≥ 20,0	≥ 32,0	≥ 40,0
	40								≥ 12,0	≥ 23,0	≥ 40,0	≥ 48,0
CP IV	25	≤ 8,0		≥ 1	≤ 12 ^a	≤ 5 ^a	≤ 5	-	≥ 8,0	≥ 15,0	≥ 25,0	≥ 32,0
	32								≥ 10,0	≥ 20,0	≥ 32,0	≥ 40,0
CP V – ARI		≤ 6,0	≥ 300	≥ 1	≤ 10 ^a	≤ 5 ^a	≤ 5	≥ 14,0	≥ 14,0	≥ 14,0	-	-

Fonte: ABCP (2002).

3.8 AGREGADO

A norma NBR 7211 (ABNT, 2005) define agregados miúdos como grãos que passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e que possuam um diâmetro médio abaixo de 150 μm , em ensaio realizado de acordo com a ABNT NBR NM 248, com peneiras definidas pela ABNT NBR NM ISO 3310-1, e esses agregados podem ser de origem natural, já encontrados fragmentados ou de origem artificial resultante do emprego de beneficiamento através das operações unitárias de britagem e moagem de rochas.

Estes agregados, genericamente denominados areias, podem ser de origem natural ou industrializados. Os agregados naturais são aqueles que já se encontram em forma particulada na natureza, pela ação do intemperismo e de abrasão, enquanto que os industrializados, também denominados artificiais, têm a sua composição particulada obtida por processos industriais (NEVILLE, 1982; BAUER, 1987).

A areia natural tem sido a principal fonte de agregados miúdos para a indústria da construção civil. Esta areia é uma rocha sedimentar não consolidada, de grãos, em geral, quartzosos ocorrendo naturalmente em diâmetros compreendidos entre 0,06 mm e 2 mm (BAUER, 1987).

Os agregados miúdos de pedra britada (pó-de-pedra e areia de brita), rejeitos da exploração das pedreiras e da construção civil, são os agregados artificiais atualmente mais utilizados. Seu uso além de reduzir os problemas associados à extração da areia natural, soluciona o problema da disposição final destes resíduos que chegam a 20% do material processado e cuja disposição acarreta danos ao meio ambiente, a saber, alteração da paisagem, inutilização do solo para a agricultura e o assoreamento de rios (CETEM, 2008).

Os agregados que durante muito tempo foram considerados materiais inertes de argamassas e concretos hoje são vistos com outros olhos em função da influência das suas propriedades nas do sistema em que são utilizados. Dentre as propriedades dos agregados que exercem mais influência nas argamassas, inclusive nas argamassas colantes, destaca-se a distribuição granulométrica.

3.9 CINZA VOLANTE

A cinza pode ser empregada em argamassa, de forma semelhante ao concreto. Na argamassa a cinza pode substituir certa quantidade de cimento ou, ainda, substituir certa quantidade de areia, mantendo-se constante à proporção de cimento (CRUZ, 2002).

As propriedades pozolânica, da cinza são devido a presença de compostos siliciosos ou sílico-aluminosos, que apresentam pouco ou nenhum valor que aglomerante, porém quando na presença de água ficam disponíveis a reagirem quimicamente com o hidróxido de cálcio proveniente da hidratação do cimento, produzindo através da reação química compostos com propriedades aglomerantes, aumentando assim a tensão de cisalhamento (JOSHI; LOHTIA, 1997).

A cinza volante é obtida pela queima do carvão mineral em usinas termelétricas e em fornos sendo que contém alto teor de sílica e alumina. Quando o carvão passa pela zona de alta temperatura do forno, a matéria volátil e o carbono são queimados, enquanto a maior parte das impurezas minerais, tais como as argilas, o quartzo, e o feldspato, fundem-se a alta temperatura. O material fundido é rapidamente transportado para zonas de temperatura mais baixa, onde se solidifica em partículas esféricas de vidro. Parte da matéria mineral aglomera formando cinza de grelha, mas a maior parte dela é arrastada pela corrente de exaustão do gás e é chamada de cinza volante (MEHTA e MONTEIRO, 2008). Esse resíduo é considerado uma pozolana e enquadra-se entre as artificiais, ou seja, é produto secundário de um processo sub-produto, potencialmente poluidor do meio ambiente, mas detentora de estrutura amorfa vítrea devido às altas temperaturas em que é gerada.

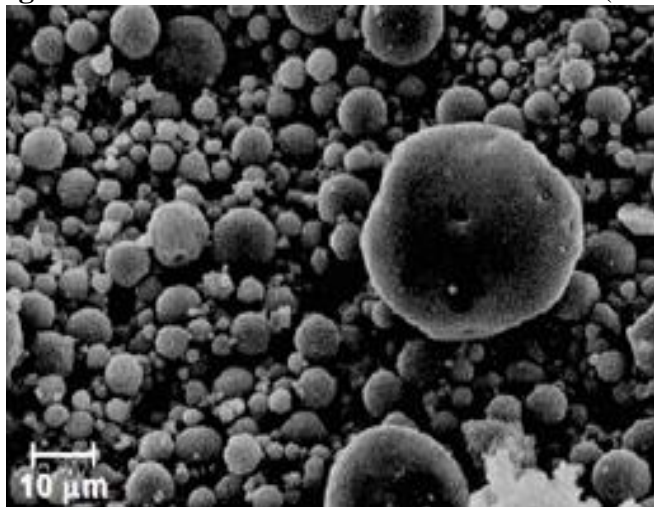
Possui forma esférica, também se apresentando, em pequena quantidade, como esferas ocas, denominadas cenosferas, quando estão vazias e plerosferas, quando preenchidas com muitas esferas pequenas. Normalmente, as partículas variam de 1µm a 100 µm de diâmetro.

Segundo a ASTM C618, as cinzas volantes são classificadas em duas categorias: cinzas volantes Classe C e Classe F. A cinza volante é um complexo material formado pela combinação de fases amorfas ou vítreas (60-90%) e fases cristalinas. Estas cinzas são compostas principalmente por silicatos (SiO_2 , 35-60%), alumina (Al_2O_3 , 10-30%), óxidos de ferro (Fe_2O_3 , 4-20%) e de cálcio (CaO , 1-35%). Quando a soma dos teores de sílica, alumina e óxido de ferro for superior a 70%, a cinza volante é classificada como de Classe F. Na cinza volante de Classe C esta soma precisa ser superior a 50%. Geralmente as cinzas de Classe C possuem teor de CaO maior que 20% (ACI 232.2R, 1996).

As cinzas volantes são constituídas de partículas esféricas Figura 1, que são basicamente de dois tipos, sólidas e ocas (cenosferas ou pleosferas), de acordo com a Figura 3. São essencialmente vítreas 80% em constituição, apresentando finura elevada. Alguns tipos de cinza volante apresentam partículas com geometrias irregulares. A maioria das partículas possui um diâmetro que está compreendido no intervalo de 1µm e 150µm, podendo apresentar uma elevada ou uma baixa granulometria do que as do cimento. Segundo os trabalhos de

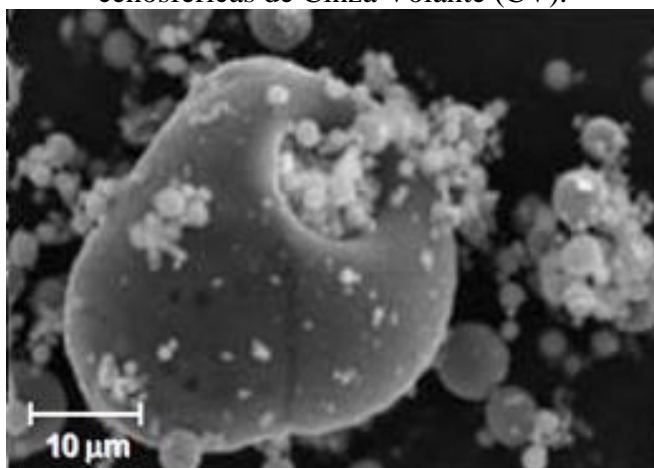
Alonso e Wesche, (1991), as superfícies específicas, calculadas pelo método de Blaine, apresentam variação entre 250m²/Kg a 550m²/kg

Figura1: Partículas esféricas de Cinza Volante (CV).



Fonte: Azevedo(2002).

Figura 2: Partículas pleosferas contendo partículas cenosféricas de Cinza Volante (CV).



Fonte: Azevedo (2002)

Segundo Jalali, (1991), apesar de não haver um acordo quanto a forma mais eficaz de medir a granulometria das cinzas, é consensual que a maioria das partículas finas possuem uma intensa atividade pozolânica. Como a maioria das reações químicas ocorrem com maior área específica é explicável que a atividade pozolânica seja dependente da área disponível para que ocorra a reação.

As cinzas volantes que apresentam a forma esférica possuem vantagem em relação ao teor de água incorporado, pela facilidade de hidratação das partículas e indica que esse material apresenta uma elevada reatividade com o hidróxido de cálcio (NEVILLE, 1997).

As propriedades químicas de cinzas volantes são influenciadas pelas propriedades do carvão mineral e das técnicas utilizadas para manuseio e armazenamento. Existem basicamente quatro tipos de carvões minerais, que variam de acordo com o seu poder calorífico, a sua composição química, teor de cinzas geradas e origem geológica. Os quatro tipos de carvão são antracite, betuminoso, sub-betuminoso e linhite. Além de serem classificadas em uma forma seca ou úmidas, as cinzas volantes são classificadas de acordo com o tipo de carvão que foi derivada (AHMARUZZAMAN, 2010).

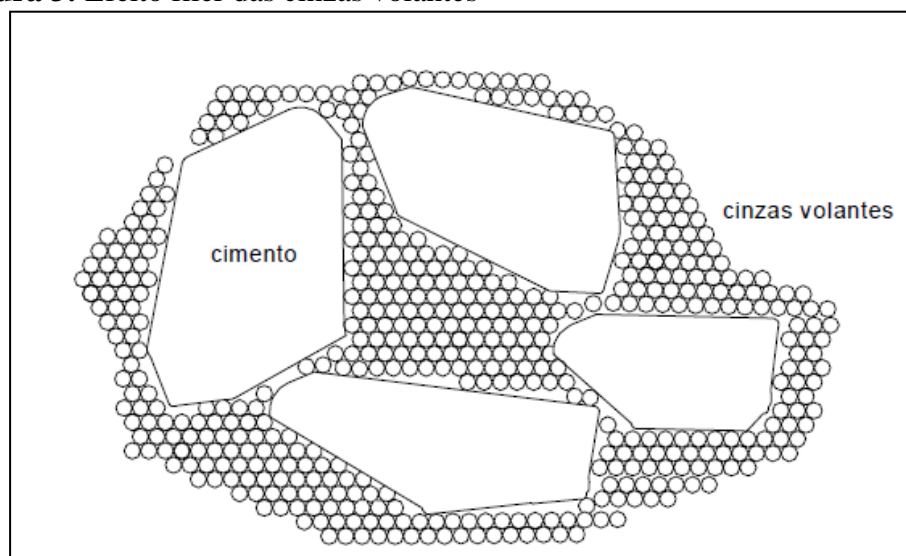
As características pozolânicas das cinzas volantes estão intimamente relacionadas com o teor de SiO_2 , a sílica amorfa que reage com a cal livre e água, a origem e quantidades suplementares de C-S-H. Para uma cinza volante ser inativa em relação às características pozolânicas elas devem possuir o teor de SiO_2 inferior a 35%, esses tipos de cinzas volantes são inviáveis para serem incorporadas em concretos e argamassas (ALONSO; WESCHE, 1991).

3.10 UTILIZAÇÃO DAS CINZAS VOLANTES EM CONCRETOS E ARGAMASSAS

O uso de cinza volante como adição mineral na produção de argamassas pode dar em misturas binárias ou ternárias, combinadas com outras pozolanas, ou ainda misturas com cinzas de ambas as categorias. Considerando o concreto no estado fresco as cinzas volantes possuem um papel muito importante, uma vez que ela melhora a coesão e a trabalhabilidade, diminuindo a exsudação e a segregação e aumentando o tempo de pega. Já no estado endurecido, a cinza volante contribui para a diminuição da temperatura devido às reações de hidratação que se apresentam inicialmente de forma mais lenta (AZEVEDO, 2002),

As cinzas volantes influenciam na grande maioria das propriedades do concreto endurecido, como a resistência mecânica e a durabilidade. É possível enumerar dois dos efeitos fundamentais associados à incorporação em argamassas: físico (efeito fíler) e químico (efeito pozolânico).

O efeito fíler é caracterizado pelo preenchimento com partículas de cinzas volantes dos vazios existentes entre as partículas de cimento, de dimensão superior, como mostra a Figura 3. Assim, é garantida uma maior compactidade e densidade da pasta, mesmo antes do desenvolvimento das ligações químicas quando da hidratação do cimento.

Figura 3: Efeito filer das cinzas volantes

Fonte: Azevedo(2002).

O efeito pozolânico é devido à presença de compostos siliciosos ou sílico-aluminosos que por si só apresentam pouco ou nenhum valor aglomerante, mas que, na presença de água, ficam aptos a se relacionarem quimicamente com o hidróxido de cálcio proveniente da hidratação do cimento, formando compostos com propriedades aglomerantes (AZEVEDO, 2002).

Os eventuais ganhos de resistência e durabilidade é consequência da maior ou menor efetivação destes dois efeitos. De um modo geral, as cinzas volantes contribuem para a diminuição das características mecânicas dos corpos de provas nas primeiras idades. No entanto, quando são atingidas idades mais avançadas, os corpos de prova com cinzas volantes podem apresentar resistências mecânicas semelhantes ou até mesmo superiores às determinadas em corpos de controle, sem adição de cinzas. Devido ao fato de a reação pozolânica ser lenta, mas prolongada, verifica-se uma recuperação dos níveis de resistência nos corpos com cinzas ao longo do tempo, caso estes sejam curados devidamente, uma vez que, a reação pozolânica só ocorre na presença de água (ACI COMMITTEE 232, 1996).

3.11 ARGAMASSA ADITIVADA COM POLÍMERO

A utilização de polímeros na substituição parcial ou total do cimento hidráulico como ligante em concretos e argamassas convencionais ou para melhoria de propriedades dos

produtos à base de cimento forma um grupo de materiais genericamente conhecido como compósitos de concretopolímero (concrete-polymercomposites) (OHAMA, 1998).

Os compósitos de concreto-polímero são geralmente classificados em três tipos conforme é possível ver na sequência.

3.11.1 Argamassas e Concretos Modificados com Polímeros

As argamassas e concretos modificados com polímeros são obtidos a partir de uma mistura de cimento, agregados, adições e monômeros/polímeros. Alguns autores (IRC, 1994) utilizam esta denominação para produtos que são fabricados com adição de 10% a 30% em peso do cimento por polímeros que podem ser monômeros, uma mistura de monômeros e pré-polímeros ou polímeros dispersados (látex). Uso das expressões argamassas e concretos modificados com polímeros é usualmente associada com argamassas e concretos nos quais um polímero é adicionado em quantidade relativa a massa do cimento. Os polímeros, neste caso também denominados modificadores do cimento (cementmodifiers), são polímeros em pó redispersíveis em água e polímeros líquidos (OHAMA, 1998). A grande vantagem destes compósitos está associada aos processos envolvidos serem bastante similares aos utilizados na fabricação de argamassas e concretos convencionais (IRC, 1994a; OHAMA, 1998).

3.11.2 Argamassas e concretos impregnados com polímeros

As argamassas e concretos impregnados com polímeros são obtidos pela impregnação sobre a superfície da argamassa ou concreto já na sua forma endurecida por um produto de cimento Portland pré-fabricado com monômeros ou mistura de monômeros e pré-polímeros que são polimerizados pela atuação de agentes físicos como radiação, calor ou por agentes químicos catalisador. Como os monômeros são introduzidos na porosidade aberta do material, após a polimerização, forma-se uma rede contínua de reforço. O material pode ser impregnado apenas na superfície ou em diferentes profundidades dependendo das propriedades desejadas. As principais desvantagens destes compósitos são o custo relativamente elevado e o processo de fabricação muito mais complicado que o dos materiais convencionais (IRC, 1994).

3.11.3 Argamassas e concretos de resina

Concretos e argamassas de resinas são compósitos em que o ligante consiste inteiramente de um ou mais polímeros. São obtidos, de modo geral, pela mistura de material de preenchimento mineral como areia, pedra britada, calcário, granito, quartzo, monômeros ou pré-polímeros termoplásticos ou termorrígidos, endurecedor (agente de ligações cruzadas), catalisador e aditivos antiespumante. A argamassa de resina não contém cimento Portland como aglomerante hidráulico, mas este pode ser utilizado como um agregado ou fíler. O uso do polímero em substituição completa ao cimento Portland resulta em um material de custo elevado em que 5% a 30% do peso total do material é representado pelo polímero, cujo uso deve ser justificado pela necessidade de propriedades superiores, pelo baixo custo de mão de obra e pelas baixas exigências de energia durante o processamento e manipulação (IRC, 1994b).

3.12 LATEX

Látex são dispersões de partículas de polímeros orgânicos em água. São fluidos leitosos que apresentam coloração branca. Sua consistência pode variar de fluido com baixa a alta viscosidade. (WALTERS, 1988).

Os principais látex usados com os aglomerantes hidráulicos são:

- Estireno-Butadieno
- Policloropropeno
- Polipropileno
- Poliacetato de Vinila
- Estireno Acrílico

Há muitos tipos de látex no mercado, mas aproximadamente 5% deles podem ser utilizados convenientemente com cimento portland. Os outros 95% poderão coagular quando combinados com aglomerante (AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, 1995).

3.13 FORMAÇÃO DE FILME POLIMÉRICO

O princípio de modificação do látex, quando adicionado a concretos e argamassas, é ainda bastante obscuro. Existem alguns modelos empíricos que tentam explicar tal fenômeno, dentre eles, o mais comumente aceito é aquele proposto por Ohama. A modificação dos concretos e argamassas de cimento Portland é governada por dois processos: a hidratação do cimento e a coalescência do látex polímero. Segundo Rossignolo (1998), a modificação dos concretos e argamassas é consequência da hidratação do cimento e da coalescência das partículas de polímero, formando um filme contínuo de polímero. A hidratação do cimento geralmente precede o processo de formação do filme de polímero. Geralmente, a hidratação do cimento ocorre primeiro e como as partículas hidratadas de cimento se estabilizam e a mistura endurece, as partículas do látex concentram-se nos espaços vazios (AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, 1995).

Segundo Walters (1988), o látex e o cimento formam uma co-matriz que une os agregados. Esta co-matriz apresenta maior eficiência no preenchimento de microfissuras em relação às misturas não modificadas com polímeros, resultando na maior resistência à percolação de fluidos no concreto e em melhores propriedades de resistência mecânica. Da

mesma forma que a matriz de látex e cimento aumenta a aderência entre os agregados na mistura, ela também aumenta a aderência entre a mistura e demais substratos. A estrutura das argamassas e concretos modificados com látex é tal que os microporos e cavidades normalmente presentes em matrizes de cimento Portland convencionais são parcial ou totalmente preenchidas com filmes poliméricos que se formam durante a cura (AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, 1995).

Segundo Ohama(1998), ocorrem três etapas principais durante o processo de modificação, e estão apresentadas nas etapas abaixo descritas. A Figura 4 apresenta o modelo de formação do filme proposto por Ohama.

3.13.1Primeira Etapa

Quando o látex é misturado ao concreto ou argamassa de cimento Portland, as partículas de látex são dispersas uniformemente na pasta de cimento. Na pasta de cimento e polímero, o gel de cimento é gradualmente formado pela hidratação do cimento e a parte líquida é saturada com hidróxido de cálcio formado durante a hidratação, enquanto aspartículas de polímero depositam-se parcialmente na superfície do gel já formado e das partículas ainda não hidratados de cimento (OHAMA, 1998).

3.13.2 Segunda Etapa

Com o desenvolvimento da estrutura do gel, as partículas de polímero são gradualmente confinadas nos poros capilares. Então, as partículas do polímero formam uma camada contínua que envolve o gel de cimento e as partículas de cimento não hidratadas e, simultaneamente, adere às camadas de silicatos formadas nas superfícies dos agregados. Os macroporos existente são preenchidos pelas partículas de polímero.

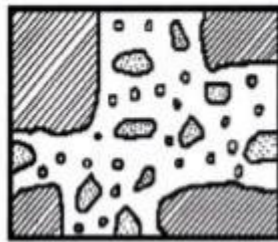
3.13.3Terceira Etapa

Com a contínua remoção de água devido à hidratação do cimento, evaporação ou ambos, as partículas do látex coalescem em filmes ou membranas, os quais entrelaçam

envolvendo o cimento hidratado (uma vez que o látex coalesce por perda de água), formando uma co-matriz que reveste os agregados e aloja-se nos vazios intersticiais.

Figura 4: Modelo de modificação apresentado por Ohama

(a) imediatamente após a mistura

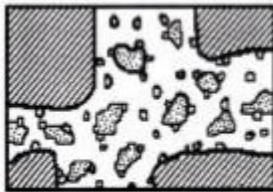


partículas de cimento não hidratadas

partículas de polímero

agregados
(a água ocupa os espaços intersticiais)

(b) primeira passo



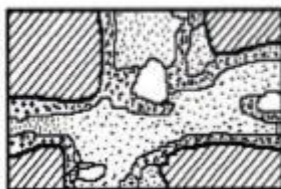
mistura de partículas não hidratadas de cimento, gel de cimento
(nesta fase, ocorre uma decomposição parcial das partículas de polímero)

(c) segundo passo



mistura de gel de cimento e partículas não hidratadas de cimento envolvidas com uma camada de partículas de polímero

(d) terceiro passo



partícula de cimento hidratado envolvida com filme de polímero

ar aprisionado

Segundo American Concrete Institute (1995), durante os estágios iniciais os concretos e argamassas modificados com látex são mais susceptíveis à fissuração por retração plástica do que concretos e argamassas não modificados por causa da influência do látex na redução da quantidade de água requerida na mistura. Este fenômeno é causado pela evaporação de água na superfície do elemento. Dois fenômenos podem acontecer, ambos contribuindo para

este problema: o látex pode coalescer antes de uma hidratação significativa do cimento, ou a pasta de cimento pode retrair antes de atingir resistência suficiente para evitar a fissuração. Cuidados devem ser tomados para restringir esta evaporação superficial através da utilização de sistemas de cobrimento com o intuito de vedar a superfície da argamassa.

3.14 PROPRIEDADES DOS CONCRETOS E ARGAMASSAS MODIFICADOS COM LÁTEX

Com relação às propriedades dos concretos e argamassas modificados com látex, foi analisada as principais propriedades físicas e mecânicas, no estado fresco e endurecido.

3.14.1 Resistência à Compressão

Praticamente não ocorrem alterações significativas de resistência à compressão quando há adição de polímeros. Na verdade, ganhos significativos podem ocorrer por causa da redução da água de amassamento, em virtude das propriedades plastificantes dos látex.

Segundo Storte(1991), no entanto, a resistência à compressão é muito influenciada pelo teor e pelo tipo de látex utilizado, bem como pela quantidade de monômeros que formam o polímero.

Segundo Kuhlmann(1987), a resistência à compressão geralmente não apresenta alterações significativas. Já Afridet al (1995) obtiveram ganhos de resistência à compressão de 30 a 60% em relação ao concreto de referência, em adições em massa de látex variando de 10 a 30% da massa de cimento.

3.14.2Retração por Secagem

A retração não aumenta com a adição de látex Estireno-Butadieno. Contudo, as argamassas e concretos modificados com estes látex são mais susceptíveis à retração inicial quando não submetidos processos eficazes de cura (AMERICAN CONCRETE INSTITUTE 1995). A adição de látex ao concreto não aumenta o valor de sua retração final. Isto foi

demonstrado por Ohama (1998), onde 3 porcentagens de látex foram utilizadas em corpos de prova de concretos de três diferentes tamanhos. O abatimento foi mantido constante através do ajuste do fator água cimento. A medida da retração após vários dias de cura demonstrou que a retração é governada pela quantidade de água, e não aumenta com a adição de látex.

3.14.3 Permeabilidade e Absorção

As modificações promovidas pela adição do látex reduzem as características de permeabilidade, em comparação a concretos e argamassas convencionais com mesmas características (KUHLMANN, 1987). A estrutura da argamassa modificada com polímero é tal que os microporos e vazios encontrados no concreto e na argamassa convencional são parcialmente preenchidos com o filme de polímero que se forma durante o período de cura. Este filme é responsável pela redução da permeabilidade e absorção de água. Esta propriedade tem sido exaustivamente estudada indiretamente por vários tipos de ensaios, tais como transmissão de vapor de água, absorção de água, resistência à carbonatação e permeabilidade a cloretos (AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, 1995).

3.14.4 Fluides

O emprego de aditivo comerciais com a função de aumentar a resistência mecânica é realizado com o intuito de diminuição do número de poros, no aumento da resistência mecânica à compressão e no comportamento reológico da argamassa no estado fresco. (Royer, 2005).

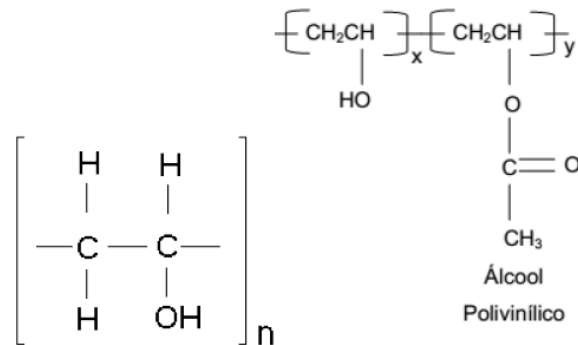
Aditivo redutores de água plastificantes melhoram a trabalhabilidade da argamassa, os que são a base de poliacetato de vinila e estearatos atuam por retenção de água com aumento de viscosidade da argamassa e diminuição da segregação (RODRIGUES, 1993).

3.15 ADITIVO POLIMÉRICO POLIACETATO DE VINILA – PVA

O poliacetato de vinila ou poli(álcool vinílico) (PVA) apresenta uma estrutura química relativamente simples com grupos hidroxilas laterais. O monômero, álcool vinílico, não existe em uma forma estável rearranjando para o seu tautômero, acetaldeído. Portanto, o PVA é

produzido pela polimerização do acetato vinílico para poli(acetato vinílico) (PVAc), seguido pela hidrólise do PVAc para PVA (Figura 5). A reação de hidrólise não é completa resultando em polímeros com certos graus de hidrólise dependendo da extensão da reação (PEPPAS, 2000).

Figura 5: Mero do PVA e molécula do PVA antes da hidrólise



Fonte: PEPPAS (2000).

O PVA é um polímero sintético, insolúvel derivado da polimerização do vinil acetato, somente tornando-se solúvel quando sofre hidrólise, permitindo a formação do PVA poli(vinil álcool). Este aditivo aumenta a resistência à compressão, à flexão e a aderência, além de reduzir a permeabilidade à argamassa. O PVA envolve os grãos do cimento tornando a argamassa mais densa e homogênea, aumentando sua flexibilidade e plasticidade, e pelo fato de possuir protetor coloidal em sua composição, retém um pouco a água, retardando a formação da película. (PÓVOAS; JOHN, 1999).

3.16 PROPRIEDADES DA ARGAMASSA NO ESTADO FRESCO

3.16.1 Plasticidade

É a propriedade que permite a argamassa se deformar sem que haja ruptura e mantenha a sua forma adquirida, entretanto questiona o termo “capacidade de se deformar” como pertinente à plasticidade. Para alguns autores não é necessário um material ser plástico para ser deformável, já que um material elástico é também perfeitamente deformável.

Pesquisadores na área de materiais relacionam o conceito “capacidade de se deformar” com capacidade de se espalhar (SANTOS, 2003).

3.16.2 Consistência

É a propriedade na qual as argamassas tendem a resistir às deformações impostas (RILEM, 1982). A consistência pode ser definida por algumas propriedades reológicas tais como:

- Viscosidade, que está relacionado ao escoamento de um fluido devido à ocorrência de deformação.
- Dilatância, que é a propriedade de um fluido definida quando há um incremento da viscosidade com o aumento da taxa de deformação (ou cisalhamento).
- Estruturação interna da argamassa, que é a recuperação elástica da argamassa pela sua reorganização interna.

A dilatância e a estruturação interna do material exercem influência preponderante, já que quanto maiores o efeito de dilatância e maior a estruturação interna do sistema, mais elevada também será a viscosidade e a consistência apresentadas pela argamassa. Uma forma de combater deslocamentos nos momentos iniciais pós-aplicação, quando da utilização de argamassas industrializadas, é a adição de finos com o intuito de incrementar 25 o efeito de dilatância (BAUER, 2005). Além disso, a consistência depende dentre outros fatores tais como: teor de água, teor de ar incorporado, formulação ou proporção dos materiais constituintes da argamassa e das características granulométricas e textuais do agregado constituinte.

Tanto a plasticidade quanto a consistência são influenciadas pelo teor e natureza dos finos, teor de ar incorporado, teor de água e processo de mistura. Muitos trabalhos têm estudado propriedades das argamassas com vistas na consistência e na plasticidade, dos quais pode-se citar Alves (2002), Santos (2003) e Do Ó (2003). A consistência pode ser medida através de ensaio em viscosímetro e reômetro.

3.16.3 Retenção de água

É uma propriedade que confere à argamassa à capacidade de não alterar seu comportamento reológico de modo a comprometer a trabalhabilidade, mantendo-se aplicável por um período máximo de tempo quando sujeita a situações que promovem perda de água seja por evaporação, sucção do substrato ou reações de hidratação (DO Ó,2004). Os aditivos retentores de água são polímeros, usualmente utilizados na forma de solução e pós redispersíveis, que quando solúveis em água, produzem um aumento considerável na viscosidade e na retenção de água no sistema que foi adicionado. Os principais polímeros desta categoria são: metil celulose (MC), carboximetil celulose (CMC), hidroxietil celulose (HEC),poliacetato de vinila (PVA), metil hidroxietil celulose (MHEC) e metil hidroxipropil celulose. (BAUER,2005).

3.16.4 Trabalhabilidade

A trabalhabilidade é considerada como a habilidade que a argamassa tem de fluir ou espalhar-se sob a superfície do substrato, por suas saliências, protuberâncias e fissuras, determinando a sua intimidade de contato entre a argamassa e o substrato, afetando a capacidade e extensão de aderência do revestimento. O conceito de trabalhabilidade se aplica à argamassa ainda no estado fresco, onde ela deve permanecer trabalhável durante todo o processo de execução do revestimento. Um exemplo disto é a argamassa manter uma consistência suficiente para que não segregue ao ser transportada, e nem agarre à colher do profissional da construção civil enquanto estiver sendo lançada sobre o substrato.

Bauer (2005) diz que a exigência de trabalhabilidade é intuitiva de uma relação qualitativa difícil de avaliar, que busca subsídios em outras propriedades das argamassas. Todo o empirismo associado ao tema deveria ser descartado em favor de parâmetros físicos mensuráveis, descritos nos estudos reológicos da argamassa.

3.17 PROPRIEDADES DA ARGAMASSA NO ESTADO ENDURECIDO

Araújo JR. (2004), em trabalho sobre o estudo de propriedades físico-mecânicas das argamassas, agrupou as propriedades das argamassas em dois grupos:

- Propriedades aglomerantes em que se refere aptidão da argamassa promover uma consolidação interna entre o aglomerante e o agregado, onde se desenvolvem as demais propriedades físico-mecânicas como: a resistência à compressão, permeabilidade e a capacidade de absorver deformações.
- Propriedades adesivas- que se referem à capacidade da argamassa aderir-se ao substrato, ou seja, promover a resistência de aderência.

3.17.1 Propriedades aglomerantes

As propriedades aglomerantes da argamassa estão relacionadas com o desenvolvimento das propriedades ligantes dos aglomerantes utilizados nas argamassas. Autores como o Mehtae Monteiro (1994) e Neville (1997) descrevem como se dá o processo de hidratação dos compostos cimentícios e os produtos gerados a partir destes. Numa matriz cimentícia os principais produtos de hidratação são os silicatos de cálcio hidratados (C-S-H), hidróxidos de cálcio (Ca(OH)_2) e aluminatos. Estes produtos possuem características de pega e endurecimento da pasta cimentícia, que vão gerar as propriedades físico-mecânicas das argamassas.

A principal fonte de resistência dos produtos de hidratação é proveniente das forças de atração de Van der Waals. Essa força de natureza física é responsável pela adesão entre duas superfícies sólidas. Cada composto hidratado possui uma força de atração diferente e o conjunto destas promovem todo o mecanismo de adesão da argamassa.

As propriedades mecânicas das argamassas podem ser influenciadas negativamente pela presença de vazios na pasta, que está relacionado com a quantidade de água presente na mistura e às condições de temperatura e umidade na qual a argamassa está exposta. Além disso, existe zona de transição entre o agregado e a pasta. Esta região é bastante porosa devido à elevada relação água/cimento na região que é gerada pela presença de uma película de água ao redor do agregado. Pode-se citar como propriedades aglomerantes das argamassas a resistência à compressão, a resistência de aderência à tração, resistência de aderência superficial e módulo de elasticidade.

3.17.2 Propriedades adesivas

As propriedades adesivas estão intimamente ligadas com aderência entre a argamassa e o substrato. Para tanto existem muitas teorias que tentam explicar este fenômeno de aderência e buscar parâmetros de como melhorá-lo. A aderência é a capacidade que confere à argamassa capacidade de resistir aos esforços de tração que ocorrem devido à movimentação da base, variação dimensional provocada por ciclos de molhagem e secagem, dilatações térmicas, entre outras. Estas solicitações poderão provocar fissuras ou falha na aderência entre a argamassa e a base ou entre as camadas de argamassa, que deverão ser combatidas pela resistência mecânica das argamassas.

O desenvolvimento da aderência é uma função que depende de três variáveis: a resistência de aderência à tração, a resistência de aderência ao cisalhamento e a extensão de aderência, sendo que todas estas são propriedades da região de contato entre dois materiais.

Para Scartezini(2002), além do fenômeno mecânico, podem contribuir para a aderência, porém em pequena proporção, as forças de adesão na superfície dos materiais, dadas pelas forças de Van der Waals e ligações polares covalentes entre as partículas na interface, e também a aderência química possivelmente proveniente da reação pozolânica entre a cal e a superfície dos blocos cerâmicos.

3.18 REOLOGIA

3.18.1 Reologia

A Reologia é uma Ciência que surgiu no início do século XX e tem como principal propósito o estudo das deformações e do escoamento dos materiais, como indicado pelos radicais de origem grega rheos(fluir) e logos(estudo). Seu objetivo consiste no estudo do comportamento mecânico da matéria, ou seja, no estabelecimento de relações entre as forças aplicadas e as deformações resultantes (MACOSKO, 1994).

Etimologicamente, o termo reologia vem do grego “rheos” (fluxo, corrente) e “logos” (ciência), ou seja, a reologia pode ser definida como o estudo da deformação e fluxo de material (BRETAS; D’ÁVILA, 2000).

Como ciência, a reologia tem importância para o entendimento da relação estrutura e propriedade dos materiais, tendo em vista que a variação das propriedades reológicas está intimamente relacionada às mudanças na estrutura, caso sejam mantidas as condições de teste. Já na indústria, o conhecimento do comportamento reológico de matérias-primas e produtos é importante para o projeto de equipamentos e controle dos processos (NASCIMENTO, 2008).

3.18.2 Tensão limite de escoamento

A tensão limite de escoamento de escoamento τ_0 pode ser definida como a tensão mínima com base na qual o material efetivamente flui, ou seja, o material se comporta como um sólido para valores de τ inferiores a τ_0 . Cremes, pastas, géis e uma infinidade de produtos são exemplos de fluidos que possuem τ_0 . Sabe-se que, no caso das suspensões, a existência de τ_0 está relacionada à presença de interações entre as partículas que propiciam a formação de uma rede contínua, cuja resistência está relacionada com força dessas interações (UHLHERR *et al.*,2005).

3.18.3 Viscosidade

A viscosidade representa a resistência do material ao fluxo, ou seja, quanto maior for a viscosidade de um fluido, maior será a energia necessária para a seu deslocamento através de dutos. A viscosidade de uma suspensão é função de fatores tais como a sua composição, distribuição do tamanho, carga superficial e formato das partículas, concentração, temperatura, pH e a presença de sais e outros aditivos. Portanto a variação destes parâmetros pode servir para a modificação da viscosidade (NASCIMENTO, 2007). Segundo Baldo (2005), o material particulado em suspensão afeta a viscosidade pelo formato das partículas e pela concentração. No primeiro é devido o impedimento fluidodinâmico do fluxo e no segundo devido o aumento do atrito interno.

3.18.4 Modelos reológicos

A viscosidade de um fluido é uma função da tensão de cisalhamento e da taxa de cisalhamento, sendo a relação entre elas estabelecida através de dados experimentais. O

comportamento reológico é visualizado em um gráfico de tensão versus taxa de cisalhamento e a curva resultante (curva de escoamento ou reograma) é modelada matematicamente utilizando-se várias relações funcionais. O tipo mais simples de fluido é o newtoniano, em que a tensão (τ) é diretamente proporcional à taxa de cisalhamento ($\dot{\gamma}$) e a relação entre elas é denominada viscosidade absoluta ou dinâmica de acordo com a Eq. (1), ou seja, a viscosidade absoluta mede a resistência de um fluido newtoniano ao escoamento. Ela é constante e independente da taxa de cisalhamento.

$$\tau = \eta \cdot \dot{\gamma} \quad (1)$$

Todos os fluidos que não apresentam este comportamento são denominados não-newtonianos. Uma relação geral que descreve o comportamento de fluidos não-newtonianos é o modelo de Herschel-Bulkley, representado na Eq. (2).

$$\tau = \tau_0 + K\dot{\gamma}^n \quad (2)$$

Onde:

K é o coeficiente de consistência,

n é o índice de comportamento do escoamento e

τ_0 a tensão limite de escoamento.

Os modelos Reológicos são apropriado para vários fluidos, pois descreve diferentes comportamentos: newtoniano, pseudoplástico, dilatante e de Bingham. O Quadro 05 mostra como estes comportamentos podem ser considerados casos especiais descritos pelo modelo de Herschel-Bulkley (BRAGANÇA, 2008).

Quadro 05: Fluidos de comportamento newtoniano, pseudoplástico, dilatante e Bingham como casos especiais do modelo de Herschel-Bulkley.

Modelo	K	n	τ_0
Herschel-Bulkley	> 0	$0 < n < \infty$	> 0
Newtoniano	> 0	1	0
Pseudoplástico	> 0	$0 < n < 1$	0
Dilatante	> 0	$1 < n < \infty$	0
Bingham	> 0	1	> 0

Para os modelos newtoniano e plástico de Bingham, o coeficiente K é normalmente denominado viscosidade (η) e viscosidade plástica (η_p), respectivamente. Uma característica importante dos fluidos que apresentam comportamento de acordo com os modelos de Herschel-Bulkley e plástico de Bingham é a presença da tensão limite de escoamento (τ_0), que representa uma tensão finita requerida para que haja escoamento.

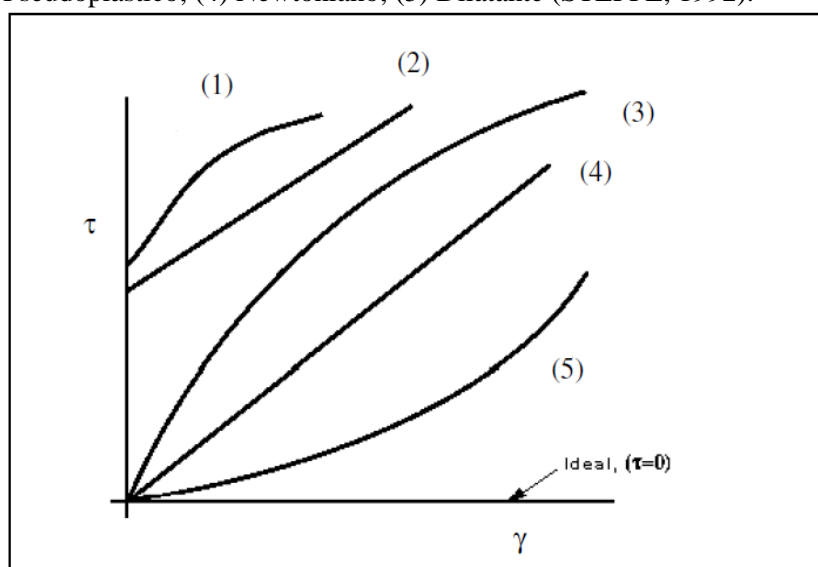
O Quadro 06 abaixo mostra os principais modelos reológicos descritos na literatura com suas respectivas equações e parâmetros.

Quadro 06: Modelos reológicos

MODELO	EQUAÇÃO	PARÂMETROS
Newtoniano	$\tau = \eta \cdot \dot{\gamma}$	Viscosidade dinâmica absoluta
Bingham	$\tau = \tau_0 + \eta_p \cdot \dot{\gamma}$	Viscosidade plástica e limite de escoamento
Herschel-Bulkley	$\tau = \tau_0 + K \cdot \dot{\gamma}^n$	Limite de escoamento índice de consistência e de fluxo
Ostwald	$\tau = K \cdot \dot{\gamma}^n$	Índice de consistência e de fluxo
Casson	$\tau = \sqrt[n]{\tau_0^n + (\dot{\gamma} \eta_p)}$	Viscosidade plástica, limite de escoamento e índice de fluxo

A Figura 6 apresenta os modelos reológicos apresentados na Tabela 03 de forma gráfica.

Figura 6: Modelos reológicos: (1) Herschel-Bulkley; (2) Plástico de Bingham; (3) Pseudoplástico; (4) Newtoniano; (5) Dilatante (STEFFE, 1992).

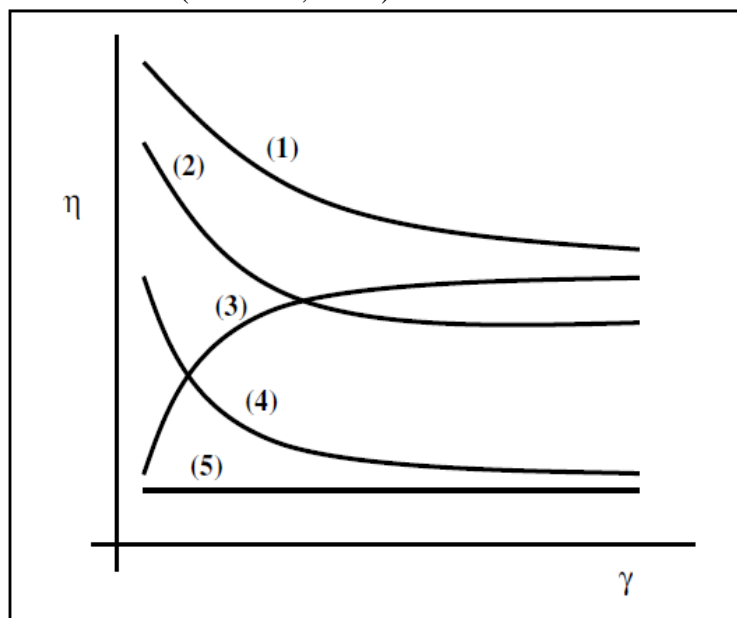


Para os modelos newtoniano e plástico de Bingham, o coeficiente K' é normalmente denominado viscosidade (μ) e viscosidade plástica (η_p), respectivamente. Uma característica importante dos fluidos que apresentam comportamento de acordo com os modelos de Herschel-Bulkley e plástico de Bingham é a presença da tensão limite de escoamento (τ_0), que representa uma tensão finita requerida para que haja escoamento. A existência de tal característica foi questionada com o argumento de que tudo escoava contanto que o tempo seja suficiente ou que o instrumento de medição seja suficientemente sensível (BARNES; WALTERS, 1988). Na prática, a tensão limite de escoamento é uma realidade e exerce forte influência nos cálculos de engenharia.

A viscosidade aparente mede a resistência ao escoamento para os fluidos não newtonianos.

A Figura 7 mostra as curvas de viscosidade aparente em função da taxa de cisalhamento para os diferentes modelos de escoamento.

Figura 7: Viscosidade aparente em função da taxa de cisalhamento para os modelos reológicos (1) Herschel-Bulkley ($0 < n < 1$), (2) Plástico de Bingham, (3) Dilatante, (4) Pseudoplástico e (5) Newtoniano (STEFFE, 1992).



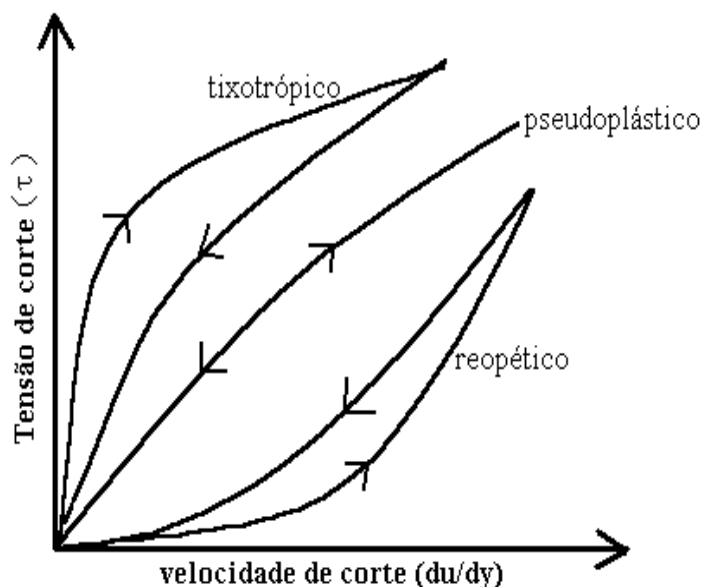
A viscosidade aparente decresce com a taxa de cisalhamento para fluidos com comportamentos representados pelos modelos pseudoplástico e plástico de Bingham. Para fluidos descritos pelo modelo Herschel-Bulkley, viscosidade aparente decresce com taxas de cisalhamento mais altas quando $0 < n < 1$, mas comporta-se de maneira oposta quando $n > 1$. A

viscosidade aparente é constante para fluidos newtonianos e aumenta com a taxa de cisalhamento para fluidos descritos pelo modelo dilatante (BORGE, 2002).

Há fluidos cujo escoamento é dependente do tempo de aplicação de uma taxa de cisalhamento. Estes são classificados como tixotrópico ou reopético. Os fluidos tixotrópicos apresentam uma diminuição da viscosidade aparente com o tempo até alcançar um equilíbrio. Já os reopéticos apresentam comportamento oposto: um aumento da viscosidade aparente com o tempo (BORGE, 2002).

Quando estes fluidos são sujeitos a velocidades de corte crescentes e posteriormente decrescentes, os respectivos reogramas apresentam ciclos de histerese ao contrário dos fluidos em que a viscosidade não depende do tempo como pode ser visto na Figura 8.

Figura 8: Ciclos de histerese de fluidos tixotrópicos e reopéticos.



3.19 REOLOGIA DAS ARGAMASSAS

Pastas de cimentos podem ser caracterizadas como suspensões coloidais em que as interações entre as partículas que as constituem podem provocar o aparecimento de várias microestruturas (JARNY, 2005). De acordo com a tensão de cisalhamento aplicada em conjunto com a taxa de deformação essas microestruturas podem apresentar diferentes comportamentos macroscópicos (COUSSOT, 1999).

De acordo com Chappuis e Tattersall (1991), os estudos reológicos das massas cimentícias possuem grande importância, pois na prática, a viscosidade plástica pode ter um

papel importante, na determinação das várias características do material, essas características podem ser verificadas no período de indução da hidratação do cimento, no processo de bombeamento do produto até determinadas distâncias e também, na verificação da facilidade de aplicação e acabamento da superfície do substrato (Trabalhabilidade). Quando estudadas no estado fresco, o seu comportamento, tem sido caracterizado através do conceito chamado de trabalhabilidade, uma vez que as características reológicas desse tipo de fluido e de não-newtoniano o mesmo requer uma metodologia sistemática para a formulação de argamassas baseada em conceitos micro estruturais/reológico, isto é, que a definição de trabalhabilidade, seja transformada em grandeza reológica mensurável (PILEGGI, 2006).

Para Rago (1999), concretos e argamassas podem ser considerados como sistema disperso composto por agregados, sendo que para concreto é usado o agregado graúdo e para argamassas o agregado miúdo, que estão inseridos em uma matriz de partículas finas, chamada de pasta de aglomerante cimento mais água, as suas características reológicas estão intimamente ligadas ao agregado (dimensão, forma e distribuição granulométrica), a pasta (características químicas, físicas e quantidades dos materiais constituintes e teor de água) e a interação pasta agregado.

O estudo reológico das argamassas está relacionado com a melhoria e facilidade de seu espalhamento e penetração nos poros dos substratos em que as mesmas são aplicadas, as argamassas devem apresentar características ótimas de viscosidade como tensão de escoamento ideal, para que as mesmas venham suportar o peso da placa cerâmica (lajota), além do seu próprio peso em que ocorra escorregamento após a sua aplicação.

De uma maneira geral, as argamassas são constituídas principalmente de cimento, agregado miúdo e água, esse material pode ser caracterizado como uma concentração de partículas sólidas em suspensão (agregados miúdos), envolto em um líquido viscoso (pasta de cimento), considera-se também que a própria pasta de cimento não é um líquido homogêneo, pois estas possuem partículas em seu sistema (grão de cimento), envolto também em água, porém considera-se que de uma forma macroscópica que esse sistema flui como um líquido (FERRARIS, 1996; 1999).

Para Otsubo (1980), o comportamento reológico das pastas cimentícias, é modificado de forma contínua de acordo com o tempo, em que os modelos reológicos mais comuns são o modelo de Bingham e Herschel- Bulckley, seguidos por Casson e Ellis.

Segundo Roussel e Le Roy (2005), considerando-se as pastas de cimento no estado fresco, diversos modelos empíricos e teóricos tem sido propostos para descrever o comportamento reológico desse material, entretanto os autores ressaltam que os modelos de

Bingham e Herschel-Bulkley, são os que mais representam o modelo de escoamento desse material, pois os mesmos levam em consideração o comportamento pseudoplástico dessas suspensões concentradas. Se no caso a suspensão apresentar uma tensão limite de escoamento pequeno, o modelo Bingham, será o suficiente para descrever o comportamento da pasta no estado fresco, dependendo do teor de água que compõe a suspensão, o comportamento do material pode ser do tipo viscoplástico, com pseudoplasticidade ou dilatação.

Matematicamente a maioria das equações usadas para explicar os modelos reológicos de sistemas particulados sólido-fluido, tenta fazer uma relação da concentração das partículas que estão em suspensão com a viscosidade, e a tensão de cisalhamento ou taxa de cisalhamento, assumindo que a viscosidade apresenta apenas um valor para o sistema que está sendo estudado (argamassa). A reologia das pastas cimentícias (concretos e argamassas) é bastante complexa devido a diversos fatores como, a composição e as mudanças estruturais devido às reações químicas que ocorrem. Diversos pesquisadores descreveram esses sistemas como fluidos não newtonianos complexos que possuem uma tensão limite de escoamento e uma viscosidade que depende da taxa de cisalhamento, sendo que ambos variam com o tempo à medida que endurecem, a tensão limite de escoamento e a viscosidade plástica aumentam.

Para Pileggi (2006), as argamassas apresentam um comportamento de fluido não newtoniano (pseudoplástico), e exibem uma viscosidade que varia com a tensão aplicada, e só há deformação significativa a partir de uma tensão crítica. As pastas de cimento (água mais cimento) apresentam propriedades reológicas bastante ajustáveis ao modelo reológico de Hershel-Bulkley, desde que sejam respeitados certos limites de proporção água/cimento.

Segundo Hu e Larrard (1995) e Antunes (2006), as argamassas no estado fluido são suspensões reativas, cuja consistência é modificada ao longo do tempo, sobretudo pela atuação do cimento.

O Quadro 07 apresenta os modelos reológicos aplicados às pastas de argamassa (PETROU, 2000).

Quadro07: Equações que relacionam a tensão e a taxa decisalhamento, que descreve o comportamento do escoamento de pastas cerâmicas (argamassa).

Modelo	Equação
Newton	$\tau = \mu \cdot \dot{\gamma}$
Bingham	$\tau = \tau_0 + \kappa \dot{\gamma}$
Herschel-Bulkley	$\tau = \tau_0 + \kappa \dot{\gamma}^n$
Lei das Potencias	$\tau = \Lambda \cdot \dot{\gamma}^n$ n=1, para fluido newtoniano n>1, para fluido dilatante n<1, para fluido psedoplástico
Vom Berg. Oswald-de-Waele	$\tau = \tau_0 + B \cdot \text{sen}^{-1}(\dot{\gamma}/C)$
Eyring	$\tau = a \cdot \dot{\gamma} + B \cdot \text{sen}^{-1}(\dot{\gamma}/C)$
Robertson-Stiff	$\tau = a \cdot (\dot{\gamma} + C)^b$
Atzeni et al.	$\dot{\gamma} = \alpha \cdot \tau^2 + \beta \cdot \tau + \delta$
Definição das variáveis: τ = Tensão de cisalhamento; τ_0 = Tensão de escoamento; $\dot{\gamma}$ = Taxa de cisalhamento; $\Lambda, a, B, b, C, \kappa, \alpha, \beta, \delta$ = constantes	

Fonte:Ferraris (1999).

3.20 INFLUÊNCIA DE PARÂMETROS NAS PROPRIEDADES REOLÓGICAS

3.20.1 Morfologia das partículas

A forma e a distribuição granulométrica das partículas desenvolvem uma forte influencia na reologia de materiais cimentícios no estado fresco, essa relação é estabelecida devido à ocorrência direta entre a fluidez e a granulometria do material (REIS, 2008).

Segundo Bonen e Sarkar (1995), a fluidez inicial de sistemas particulados tipo sólido/fluido, com concentrações de elevadas de sólidos depende de características físicas que são intimas do sistema que as constituem, tais como: distribuição granulométrica, fator de forma e textura superficial da partícula.

Devido os agregados inertes constituírem cerca de 70 a 80% do volume das argamassas, torna-se fácil compreender que suas características e qualidades seja importante nas suas propriedades intrínsecas, de modo que qualquer variação na sua qualidade implica um considerável efeito resultante na argamassa.(HEWLETT, 2001).

O empacotamento é definido como a máxima capacidade de uma mistura, cuja separação é difícil devido estarem em diferentes classes granulométricas um exemplo disso é a mistura de grãos de cimento e grãos sílica ativa (FORMAGINI, 2005).

O empacotamento das partículas pode ser alterado por diversos tipos de fatores, entre esses fatores destacam-se: a existência de diversas distribuições granulométricas que podem de forma geral, alterar a condição de dispersão inicial das partículas, a porosidade das partículas e o tamanho das mesmas, entre outros.

No que se refere ao fator de porosidade interna, as partículas podem apresentar duas características distintas, podem ser totalmente densas apresentando porosidade interna fechada ou porosidade aberta. Para o efeito de distribuição granulométrica, as partículas que apresentam porosidade interna fechada são semelhantes as densas, mais resultam em misturas com densidade menor. As partículas que apresentam porosidade aberta influenciam de forma negativa no empacotamento devido as mesmas apresentarem o formato irregular e também resultam em misturas com menores densidades, empacotamento com menor porosidade podem ser obtidos se os vazios existentes entre as partículas de uma dispersão forem preenchidos com partículas menores que os mesmos(PANDOLFELLI, 2000).

Devido os vários tipos de interações que ocorrem entre as partículas de cimento, agregado e água este sistema possui grande tendência a flocular, por diversos tipos de interações que ocorre entre eles, dentre as interações pode-se destacar as forças de Van der Wall entre as partículas e forças de origem eletrostática que ocorrem entre posições de sítios com cargas opostas e forte interação ou ligação, envolvendo as moléculas de água ou hidratos (AÏTCIN; JOLICOEUR; MCGREGOR, 1994). Geralmente as forças responsáveis pelas interações entre as partículas que constituem as massas cimentícias são bastante fracas e por consequência se quebram facilmente por cisalhamento, assim a tensão de cisalhamento aplicada ao sistema promove a quebra do conjunto floculado de maneira que o sistema inicie o escoamento, normalmente essa quebra não é completa e a medida que se aumenta a taxa de cisalhamento essa estrutura remanescente que ainda esta floculada é quebrada de maneira progressiva, levando a um comportamento pseudoplástico geralmente acompanhado de tixotropia (STRUBLE, 1998).

A eliminação dos flocos de partículas formados pode resultar em uma série de desvantagens com relação à reologia das suspensões. Pandolfelli et al (2000) citam que, foi verificado que a redução da distância de separação entre as partículas finas, provocadas pelo aprisionamento de água no interior dos aglomerados, eleva o número de colisões entre elas e, com isso, a viscosidade da suspensão.

De acordo com Pandolfelli (2000), existem três mecanismos básicos de interações entre as partículas são eles:

- Eletrostático: ocorre entre as partículas apresentam diferentes potenciais de cargas de sinais opostos que ocasionam a atração eletrostática e adesão entre as mesmas.
- Esférico: ocorre quando é adicionado um aditivo químico nas formulações, a adsorção superficial de um polímero de cadeia longa à superfície faz com que ocorra uma dificuldade mecânica de aproximação entre as partículas das argamassas.
- Eletro-esférico: ocorre adsorção específica de moléculas com grupos ionizáveis ou polieletrólitos nas superfícies das partículas, no qual os íons provenientes da dissociação desses grupos ionizáveis somam uma barreira eletrostática ao efeito esférico.

3.20.2 Influência da adição de agregados na reologia das Argamassas

Em se tratando de materiais cimentícios argamassas e concretos os seus comportamentos reológicos são extremamente dependentes de seus constituintes agregados grãos e miúdos as proporções que constituem suas misturas. Segundo Castro (2007), um estudo da natureza das mudanças que ocorrem na mistura pode fornecer informações que indicam o fator responsável por elas, um desses fatores é a tensão de escoamento que está relacionada com a capacidade de escoamento do material, no caso de uma tensão de escoamento baixa o material cimentício no estado fluido escoar sob seu peso próprio. O autor ainda afirma que a viscosidade está relacionada com a segregação dos materiais. No entanto esse material precisa ter suas propriedades de acordo com as necessidades de uso no campo, e são os materiais constituintes que vão proporcionar estas propriedades aos concretos e argamassas.

Aïtcin (2000), trabalhando as características do escoamento de concretos, afirma que suas propriedades reológicas são governadas por fatores físicos e químicos. E dentre os fatores físicos estão a granulometria e a forma dos agregados. É sabido que o formato dos agregados influencia na trabalhabilidade do concreto e que a granulometria influencia na porosidade e esqueleto granular do material no estado endurecido.

De acordo com os estudos de Struble(1998), onde foi adicionado agregado à pasta de cimento, foi observado um aumento tanto na viscosidade plástica quanto na tensão de escoamento desta mistura. Porém, esse mesmo estudo mostra que ambos os parâmetros são reduzidos quando a granulometria do agregado se torna mais densa. As adições químicas têm efeito muito grande sobre as propriedades do concreto.

Tattersall e Banfill (1983) dividiram em dois grupos: plastificantes super plastificantes, que possuem um efeito predominante sobre a tensão de escoamento do material e os agentes incorporadores de ar, cuja influência principal se dá sobre a viscosidade plástica do concreto.

Os resultados mostraram que a adições do primeiro grupo interagem com as partículas de cimento, introduzindo uma camada de adsorção que evita a aproximação entre elas por meio de uma combinação de repulsões eletrostática e estérica, enfraquecendo a estrutura que pode se formar quando a mistura permanece em repouso e, conseqüentemente, reduzindo a tensão de escoamento do material. Como as partículas estão dispersas, existe uma pequena mudança da viscosidade plástica, porém isso depende da distribuição granulométrica global da mistura. As adições do segundo grupo introduzem bolhas de ar esféricas na mistura de concreto que agem como esferas rolantes para permitir que as partículas maiores escoem mais facilmente sobre as demais partículas. Assim, essas bolhas de ar têm uma maior influência sobre a viscosidade plástica do que sobre a resistência da estrutura formada quando o material é deixado em repouso (CASTRO, 2007).

A sílica ativa que um resíduo oriundo das indústrias de ferro-ligas e silíciometálico, cuja suas propriedades químicas (teor de $\text{SiO}_2 > 85\%$) e físicas (superfície específica média de $20 \text{ m}^2/\text{g}$), é usada na otimização dos materiais cimentícios, pelo fato de ela ser muito fina com os grãos esféricos, alguns trabalhos comparam os efeitos das adições desse mineral, com pasta de cimento padrão com e sem adição da sílica(PARK,2005; BANFILL,1987)

As principais vantagens do uso da sílica ativa é que quando as minúsculas partículas esféricas estão bem dispersas no sistema cimento-água, elas podem deslocar moléculas de água da vizinhança dos grãos de cimento, dessa forma moléculas de água presas entre partículas de cimento floculadas podem ser liberadas e assim contribuir para fluidificar a

mistura. Isto provoca um aumento na tensão de escoamento e na viscosidade plástica do concreto (BACHE, 2000).

Porém, a substituição de parte do cimento por uma adição mineral também pode resultar em uma redução de ambos os parâmetros reológicos do concreto. A granulometria melhorada do aglomerante e o efeito lubrificante concedido pelas pequenas partículas de sílica possivelmente reduzem o atrito entre os agregados e, conseqüentemente, a tensão cisalhante de escoamento e a viscosidade plástica do material (NEHDI et al., 1998; ZHANG et al., 2000).

A incorporação de sílica ativa em substituição ao cimento até um determinado valor limite que depende do teor de cimento e que diminui com a redução do teor de água reduz a viscosidade plástica em até 50%; a tensão de escoamento é praticamente constante até que o valor limite para substituição de cimento por sílica ativa seja alcançado e, a partir daí, ela aumenta consideravelmente. (WALLEVIK, 1990).

3.20.3 Aditivos químicos modificadores de viscosidade

Atualmente em termos de estudos reológicos, os aditivos mais utilizados, tem sido os agentes plastificantes e os agentes retentores de água, também conhecidos como agentes modificadores de viscosidade (LACHEMI, 2004).

Outros agentes químicos têm sido menos estudados em termo de reologia, como os agentes introdutores de ar, o que talvez devido o fato de sua principal função seja direcionada para a modificação do produto na característica no estado endurecido(CHATTERJI, 2003; ZHANG,2000).

Em se tratando de agentes retentores de água num sistema cimentício, a sua principal função é reduzir a quantidade de água, que neste caso esta disponível para a lubrificação do material que constitui a argamassa, o que contribui para aumentar a viscosidade aparente e a tensão inicial de escoamento.

Nesse estudo, Khayat (1998) verificou que o crescente aumento desse agente, tornava simultânea a incorporação de um segundo agente retentor de água ou plastificante para que fosse possível se obter uma boa consistência através da fluidez, este resultado foi confirmado por Lachemi (2004).

Segundo Green (1999), ao analisar as características de retenção de água de diversas argamassas, observou-se que somente a partir de uma determinada concentração crítica deste tipo de agente químico retentor de água a retenção se torna mais efetiva.

Paralelamente a isso, principal ação dos agentes plastificantes é a redução da viscosidade, a tensão limite de escoamento, permitindo a redução da quantidade de água sem alterar a trabalhabilidade do material (BANFILL, 1991).

A dispersão de partículas de cimento devido a adsorção de moléculas deste agente químico é o principal mecanismo responsável pelo aumento de fluidez (FERRARIS, 1999).

De acordo com estudos de literatura, é verificado que, para além do aumento do teor de plastificantes, também a demora no tempo de adição deste agente plastificante era responsável pela diminuição dos parâmetros reológicos (viscosidade e tensão limite de escoamento), além de provocar o atraso do tempo de pega da argamassa. (UCHIKAWA, 1995).

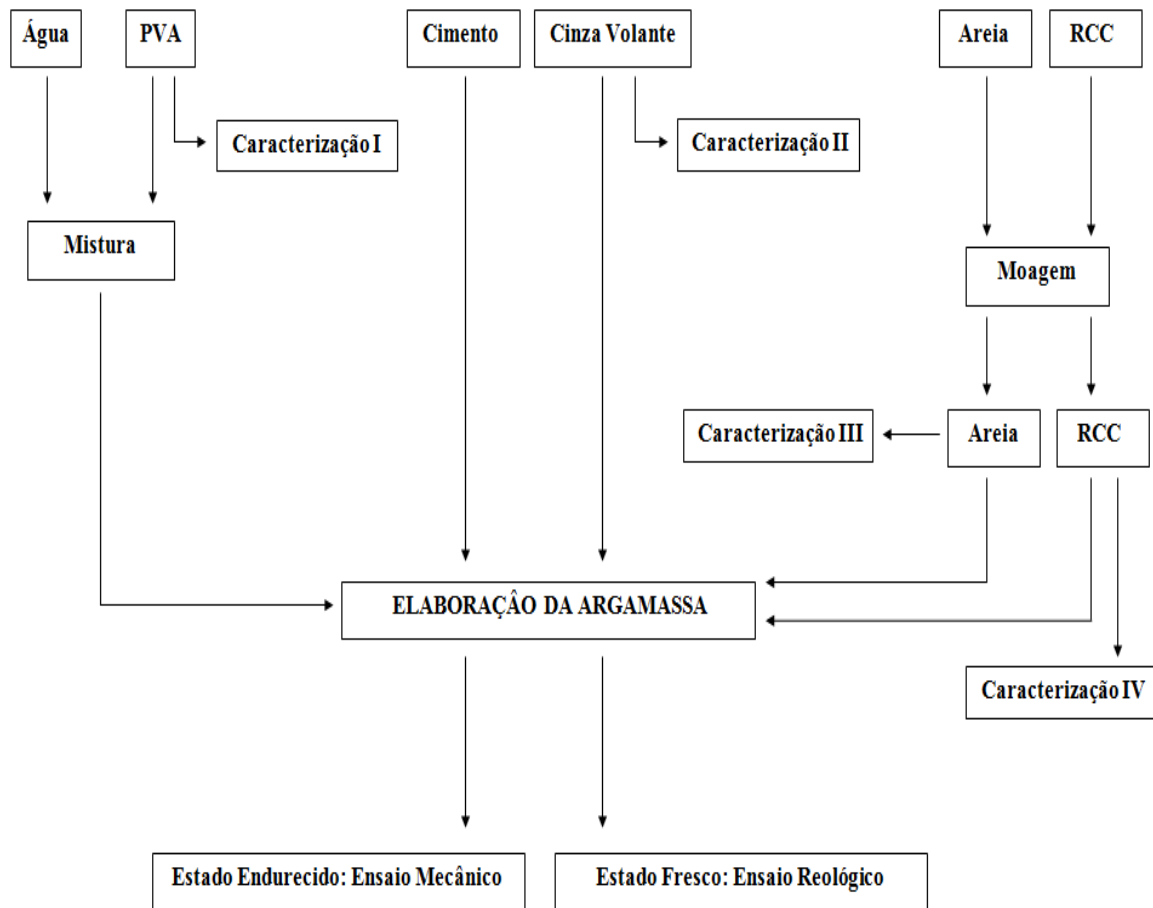
Segundo uchikawa (1995) alguns agentes plastificantes em concentrações elevadas podem apresentar um comportamento espessante, sob a ação do cisalhamento, devido à ocorrência de cadeias poliméricas longas, um exemplo disso é o poliacrilato que promove um ajuntamento das partículas.

Em relação aos agentes introdutores de ar, Banfill (1994, 1991) foi um dos poucos autores que avaliou os seus efeitos na reologia, o mesmo verificou que conforme a inserção de agente introdutor de ar ocorre um aumento da viscosidade das argamassas enquanto que a tensão limite de escoamento não apresentava variações significativas.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Os procedimentos experimentais foram realizados na usina de materiais (USIMAT), no laboratório de Reologia (LABREO) ambos da faculdade de Engenharia Química da Universidade Federal do Pará. Os procedimentos também foram realizados no laboratório de resistência de materiais da faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará. A Figura 9 apresenta de maneira sucinta as etapas realizadas durante o desenvolvimento do trabalho.

Figura 9: Fluxograma das etapas de desenvolvimento do trabalho



4.1 SELEÇÃO DE MATERIAIS

4.1.1 Cimento Portland

O cimento Portland utilizado foi classificado como tipo CP II – E 32, conforme a norma NBR11578/1991. A principal escolha desse material foi por ser um cimento com

poucas adições de pozolanas. A figura 10 demonstra o cimento utilizado na elaboração dos corpos de prova.

Figura 10: Cimento Portland CP II – E 32



4.1.2 Cinza Volante

A cinza volante (CV) utilizada neste trabalho foi proveniente da refinaria de alumina Hydro Alunorte SA, localizada no município de Barcarena-Pa. Devido à mesma possuir um tamanho médio de $92\mu\text{m}$, não necessitou de um tratamento prévio para o seu uso.

A figura 11 demonstra a cinza utilizada na elaboração dos traços da argamassa.

Figura 11: Cinza Volante (CV)



4.1.3 Rejeito da Construção Civil (RCC)

A amostra de agregado miúdo reciclado seguiu os requisitos empregados na norma ABNT NBR 7211, onde a matéria prima foi coletada no campus universitário de Belém-Pa,

da Universidade Federal do Pará (UFPA), o produto adquirido foi proveniente da reforma do laboratório de Engenharia Química (LEQ), como mostra a Figura 12.

Figura 12: Reforma do laboratório de Engenharia Química (LEQ)



A amostra coletada passou por um processo de separação de materiais indesejáveis de resíduos inorgânicos (metais e elementos graúdos de seixo), e resíduos orgânicos (resto de madeira, papel e sacos plásticos). Todos os materiais que passaram pelo processo de separação (alvenaria e reboco), foram conduzido à usina de materiais (USIMAT) para ser britado, moído e classificado através de curva de moagem. A figura 13 faz referência ao rejeito da construção civil cominuído e utilizado na elaboração dos traços de argamassa.

Figura 13: Rejeito da Construção Civil



Fonte: Pesquisa de campo (2015).

4.1.4 Areia

A amostra de agregado miúdo reciclado seguiu os requisitos empregados na norma ABNT NBR 7211, onde a matéria prima foi adquirida em estâncias de material de construção entorno da Universidade Federal do Pará.

A amostra coletada passou por um processo de separação de materiais indesejáveis de resíduos inorgânicos (metais e elementos graúdos de seixo), e resíduos orgânicos (resto de madeira, papel e sacos plásticos). Todos os materiais que passaram pelo processo de separação, foram conduzido à usina de materiais (USIMAT) para ser moído e classificado através de curva de moagem. A figura 14 faz referência a areia cominuida e utilizada na elaboração dos traços de argamassa.

Figura 14: Areia



4.1.5 Aditivo Polimérico PVA

Foi utilizado o poli-acetato de vinila PVA fornecido pela empresa GRACE RHEOSET, cujas especificações seguem na Tabela 04:

Tabela 04: Especificações do PVA

PVA / FICHA TÉCNICA	
Função principal	Adesivo
Aspecto e cor(visual)	Líquido de cor branco leitoso
pH(ABNT 10908)	4,0 +/- 1,0
Massa específica (ABNT 10908)	1,025 +/- 0,02 g/cm
Viscosidade dinâmica	0,00325 Pa.s

Fonte: GRACE/RHEOSETe Laboratório de Reologia FEQ/UFPA

4.2 CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA PRIMA

4.2.1 Caracterização I

Para a caracterização do aditivo PVA por espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier – FTIR, foi necessário uma preparação da amostra, a retirada da mesma da solução aquosa, pois a banda da água se sobrepõe às outras bandas no espectro do FTIR. Após, a amostra foi diluída em solução etanoica. Depois que esta foi posta no local do ensaio, esperou-se o solvente evaporar para iniciar o ensaio. A característica/parâmetro do ensaio estão descritos na tabela 05.

Tabela 05: Características do Ensaio

Característica de Ensaio de Espectrometria no Infravermelho	
Varredura	320
Resolução	8 cm ⁻¹
Estado do Sistema	Bom
Método	Usuário
Background Scans	32
Taxa	4,000.00-650.00
Apodização	Triangular
Data/Tempo	18/09/2014 10:48

Para a identificação das bandas e picos existentes no espectro, são utilizadas as tabelas das ligações excitadas em cada comprimento de onda e os espectros encontrados na literatura.

4.2.2 Caracterização II

A técnica de fluorescência de raios-X é bastante utilizada na análise química de matérias-primas minerais e cerâmicas (SERPA, 2007). No presente estudo a composição química da Cinza Volante foi realizada utilizando espectrômetro WDS sequencial, modelo AxiosMinerals (PANalytical), com tubo de raios-X cerâmico e anodo de ródio.

Classificação granulométrica do material de forma a se estudar o tamanho das partículas da cinza volante seguiram a metodologia prescrita segundo a norma ABNT NBR 7211. O objetivo dessa etapa foi obter essa matéria-prima nos tamanhos e em quantidades adequadas à formulação das argamassas.

4.2.3 Caracterização III

A técnica de fluorescência de raios-X é bastante utilizada na análise química de matérias-primas minerais e cerâmicas (SERPA, 2007). No presente estudo a composição química da Areia foi realizada utilizando espectrômetro WDS sequencial, modelo *AxiosMinerals* (PANalytical), com tubo de raios-X cerâmico e anodo de ródio.

A curva de moagem da Areia foi realizada utilizando um moinho de bolas de escala piloto com dimensões de 260 x 350 mm (diâmetro x comprimento). A moagem da Areia foi realizada para cinco tempos distintos (0, 5, 30, 60 e 90 minutos) sob condições operacionais especificadas (tabela 06). O moinho de bolas foi carregado com 1 kg de areia para aproximadamente 3 kg de bolas, e operou a uma velocidade de rotação igual a 87% de sua velocidade crítica, em cada ensaio de moagem realizado. Essa operação objetivou a cominuição do material a tamanhos adequados à produção dos Traços. Em seguida a matéria-prima cominuída foi submetida a uma análise granulométrica. Por fim, a partir dos dados da análise granulométrica, foi construída uma curva de moagem do material para a eventual caracterização de eficiência do equipamento de moagem para a areia.

Tabela 06: Condições de moagem estabelecidas para a etapa de cominuição.

CARACTERÍSTICAS DA CARGA DE BOLAS UTILIZADAS NO TESTE			
Nº de Bolas	Diâmetro (cm)	Peso (g)	Volume (cm ³)
8	3.676	1825.84	208
12	2.879	1021.2	150
9	1.563	211.5	18
Total		3058.54	376

Fonte: Pesquisa de campo (2015).

4.2.4 Caracterização IV

A técnica de fluorescência de raios-X é bastante utilizada na análise química de matérias-primas minerais e cerâmicas (SERPA, 2007). No presente estudo a composição química do Rejeito da Construção Civil (RCC) foi realizada utilizando espectrômetro WDS sequencial, modelo *AxiosMinerals* (PANalytical), com tubo de raios-X cerâmico e anodo de ródio.

A curva de moagem do Rejeito da Construção Civil (RCC) foi realizada utilizando um moinho de bolas de escala piloto com dimensões de 260 x 350 mm (diâmetro x comprimento). A moagem do RCC foi realizada para os tempos de 0 a 210 minutos sob condições operacionais especificadas na tabela 06. O moinho de bolas foi carregado com 1 kg

de RCC para aproximadamente 3 kg de bolas, e operou a uma velocidade de rotação igual a 87% de sua velocidade crítica, em cada ensaio de moagem realizado. Essa operação objetivou a cominuição do material a tamanhos adequados à produção dos traços. Em seguida a matéria-prima cominuída foi submetida a uma análise granulométrica. Por fim, a partir dos dados da análise granulométrica, foi construída uma curva de moagem do material para a eventual caracterização de eficiência do equipamento de moagem para o RCC.

4.3 EQUIPAMENTOS

A figura 15 mostra o britador de mandíbula da marca MARCONI Modelo MA700 série 10690037, usado na britagem do RCC.

Figura 15: Britador de Mandibula Modelo MA700



Fonte: Pesquisa de campo (2015).

A figura 16 mostra o moinho de disco da marca marconi, modelo MA700 – Série 10 0690037.

Figura 16: Moinho de disco Marconi



Fonte: Pesquisa de campo (2015).

A figura 17 mostra o moinho de bolas da marca CIMAQ Modelo Work Index série 005 usado na cominuição.

Figura 17: Moinho de bolas CIMAQ



Fonte: Pesquisa de campo (2015).

No trabalho de pesquisa foi usado Rot-up modelo Telasten.

A figura 18 mostra o conjunto de peneiras granulométricas, para a classificação da matéria prima.

Figura 18: Peneiras granulométricas



Fonte: Pesquisa de campo (2015).

Foi usado balança analítica da marca GEHAKA – modelo BK 400 II.

A figura 19 mostra a prensa Emic SSH300 usado nos ensaios de resistência à compressão dos traços de argamassa do presente trabalho de pesquisa.

Figura 19: Prensa Emic SSH300



Fonte: Pesquisa de campo (2015).

A figura 20 mostra o viscosímetro rotacional modelo Haake VT 550, acoplado ao sistema de configuração de cilindros coaxiais copo SV e cilindros SV₁ ver Figura 20 e Figura 21.

Figura 20: Viscosímetro rotacional Modelo Haake VT 550



Fonte: Pesquisa de campo (2015).

Figura 21: Cilindros coaxiais copo SV e cilindros SV₁



Fonte: Pesquisa de campo (2015).

Softwares usados na análise reológica:

- ReowinJob Manager: É um sequenciador de medição, os trabalhos são nomeados nessa plataforma, e são definidas no gerenciador de tarefas.
- Reowin Data Manager: Programa de avaliação em que os dados de medição podem ser guardados separadamente apresentado e processado.

4.4 COMPOSIÇÃO DOS TRAÇOS DE ARGAMASSA

A tabela 07 apresenta a composição dos traços sem adição de PVA

Tabela 07: Composição dos corpos de prova sem PVA

Traços	Rejeito(%)	Sílica(%)	Cimento (CP)(%)	Cinza (CV) (%)	H ₂ O(%)
01	40	15	5	40	36
02	30	25	5	40	36
03	30	35	5	30	35
04	40	25	5	30	35
05	20	45	5	30	35
06	20	25	5	50	37
07	20	40	10	30	35
08	40	20	10	30	35
09	10	50	10	30	35

Fonte: Pesquisa de campo (2015).

Os traços apresentados na tabela 07 possuem a seguinte relação água/aglomerante:

- Traços 07, 08 e 09 sem PVA possuem a relação água/aglomerante igual 0,875.
- Traços 03, 04 e 05 sem PVA possuem a relação água/aglomerante igual a 1,0.
- Traços 01 e 02 sem PVA possuem a relação água/aglomerante igual a 0,8.
- Traço 06 sem PVA possui a relação água/aglomerante igual a 0,672.

A tabela 08 apresenta a composição dos traços com adição de PVA igual a 20% da massa de aglomerante.

Tabela 08: Composição dos corpos de prova com PVA

Traços	Rejeito(%)	Sílica(%)	Cimento (CP)(%)	Cinza(CV) (%)	PVA (%)	H ₂ O(%)
01	40	15	5	40	20	36
02	30	25	5	40	20	36
03	30	35	5	30	20	35
04	40	25	5	30	20	35
05	20	45	5	30	20	35
06	20	25	5	50	20	37
07	20	40	10	30	20	35
08	40	20	10	30	20	35
09	10	50	10	30	20	35

Fonte: Pesquisa de campo (2015).

Os traços apresentados na tabela 08 possuem a seguinte relação água mais PVA/aglomerante:

- Traços 07, 08 e 09 com aditivo apresentam a relação água mais PVA/ aglomerante igual à 0,875 sendo que a quantidade de PVA corresponde a 20% da quantidade de aglomerante.

- Traços 03, 04 e 05 com aditivo apresentam a relação água mais PVA/aglomerante igual à 1,0 sendo que a quantidade de PVA corresponde a 20% da quantidade de aglomerante.

- Traços 01 e 02 com aditivo apresentam a relação água mais PVA/aglomerante igual à 0,8 sendo que a quantidade de PVA corresponde a 20% da quantidade de aglomerante.

- Traço 06 com aditivo apresenta a relação água mais PVA/aglomerante igual à 0,672 sendo que a quantidade de PVA corresponde a 20% da quantidade de aglomerante.

A tabela 09 apresenta a composição dos traços em proporção, com 5 e 10% de cimento sendo que na composição o aglomerante é constituído de cimento portland e cinza volante. Foi usado como agregado miúdo a areia em conjunto com o rejeito da construção civil devido o custo de cominuição do RCC ser mais elevado que o da areia.

Tabela 09: Composição dos traços em proporção, com 5 e 10% de cimento.

Cimento : Cinza : Agregado	Cimento: Cinza: RCC: Areia
Traço 1 – 1:8:11	Traço 1 – 1:8:8:3
Traço 2 – 1:8:11	Traço 2 – 1:8:6:5
Traço 3 – 1:6:13	Traço 3 – 1:6:6:7
Traço 4 -1:6:13	Traço 4 – 1:6:8:5
Traço 5 – 1:6:13	Traço 5 – 1:6:4:9
Traço 6 – 1:10:9	Traço 6 – 1:10:4:5
Traço 7 – 1:3:6	Traço 7 – 1:3:2:4
Traço 8 – 1:3:6	Traço 8 – 1:3:4:2
Traço 9 – 1:3:6	Traço 9 – 1:3:1:5

Fonte: Pesquisa de campo (2015).

4.5 PRODUÇÃO DOS CORPOS DE PROVAS

Para a confecção dos corpos de prova, figura 22, utilizaram-se formas cilíndricas de policloreto de vinila (PVC) com dimensões de 10 cm de altura e 5 cm de diâmetro. As proporções utilizadas na composição dos corpos de prova constam na tabela 07, 08 e 09. Os corpos de prova de argamassa com e sem PVA ficaram em processo de cura por um período

de 28 dias, sendo que no 14º dia os mesmos foram dês moldados NBR 5738. Após esses dias foram realizados os ensaios físicos-mecânico de acordo com a ABNT NBR 9778, 13280 e 13279, com o objetivo de avaliar as propriedades das argamassas.

Figura 22: Corpos de prova dos traços de argamassa com e sem PVA



4.6 ENSAIO FÍSICO-MECÂNICO DOS CORPOS DE PROVA

Após o tempo de cura dos corpos de prova de argamassa, foram executados os ensaios físico-mecânico de absorção aparente, porosidade aparente, massa específica e resistência à compressão, para avaliar as propriedades mecânicas e verificar como se comportavam com diferentes teores de cinza volante. Estes ensaios foram realizados na Usina de Materiais do Laboratório de Engenharia Química de acordo com a ABNT NBR 9778 e 13280.

4.7 ABSORÇÃO APARENTE

É representada pelo quociente da massa absorvida de água pelo corpo de prova saturado de água pela massa seca do corpo de prova. Calcula-se em %, de acordo com a Equação 3.

$$Aa \% = \frac{Mu - Ms}{Ms} \times 100(3)$$

Onde:

Aa - Absorção aparente

Mu- Massa úmida (g)

Ms - Massa seca (g)

4.8 POROSIDADE APARENTE

É representada pelo quociente do volume de poros abertos, de cada corpo de prova, pelo volume aparente do mesmo. Calcula-se em %, de acordo com a Equação 4.

$$Pa \% = \frac{Mu - Ms}{Mu - Mi} \times 100(4)$$

Onde:

Pa - Porosidade aparente

Mu - Massa úmida (g)

Ms - Massa seca (g)

Mi - Massa imersa (g)

4.9 MASSA ESPECÍFICA (MEA)

É representada pelo quociente da massa, de cada corpo de prova seco, pela diferença da massa úmida com a massa imersa de cada corpo de prova. A massa específica foi calculada através da equação 5.

$$MEA = \frac{Pa}{Aa}(5)$$

4.10 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Os ensaios de resistências à compressão dos corpos de provas de argamassas foram realizados após 28 dias de cura em uma máquina universal Emic SSH300 de acordo com a norma ABNT NBR 13279, no Laboratório de Resistência dos Materiais do Laboratório de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará. Na figura 23 é mostrado o ensaio de resistência à compressão e na figura 23 o equipamento utilizado no ensaio de resistência à compressão.

Figura 23: Ensaio de resistência à compressão



4.11 ENSAIO REOLÓGICO

Os procedimentos da análise reológica foram realizadas em viscosímetro coaxial do tipo SV1 (spindle) a temperatura ambiente de 28 °C

Programação para curva de Histerese:

- Rampa de aumento de taxa cisalhante ($\dot{\gamma}$) de 0 s⁻¹ a 600 s⁻¹ em 120 s
- Permanência a 600 s⁻¹ por 30 s
- Rampa de diminuição de taxa de cisalhante ($\dot{\gamma}$) de 600 s⁻¹ a 0 s⁻¹ em 120 s

Programação para a curva de tensão versus taxa cisalhante e viscosidade aparente versus taxa cisalhante:

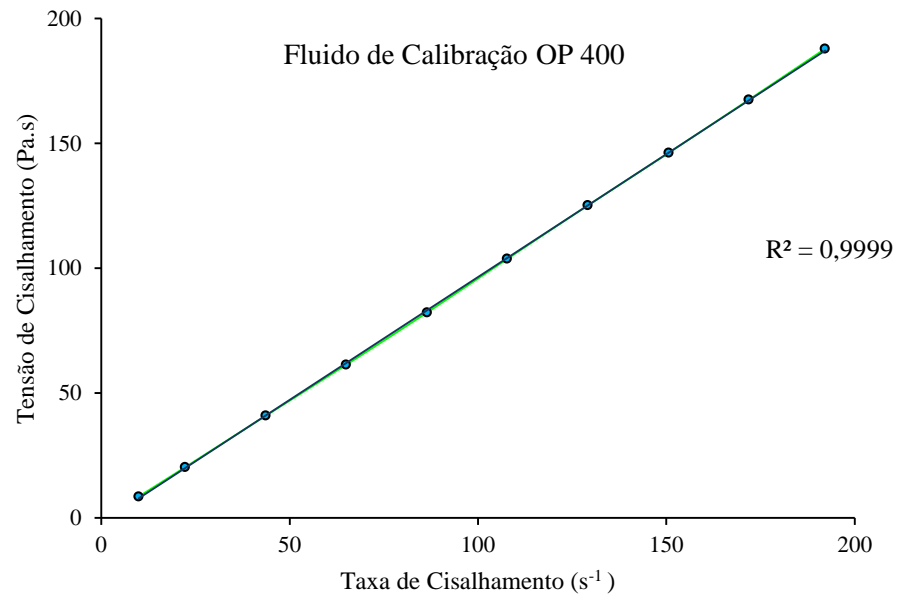
- Rampa de aumento de taxa cisalhante ($\dot{\gamma}$) de 0 s⁻¹ a 600 s⁻¹ em 120 s

Programação para a elaboração da curva Torque versus Tempo representada na tabela 10.

Tabela 10: Programação para a elaboração da curva Torque versus Tempo

Sensor: SV 1	
A-factor: 25300.000 Pa/Nm	
M-factor: 8.499 (1/s)/(rad/s)	
Gap: 1.000 mm	
CR- Controlled Rap	
- CR , 53.40 1/s, t 5.00 s, #100,T 28.00 °C	- CR , 0.00 1/s, t 900.00 s, #100, T 28.00 °C
- CR , 53.40 1/s, t 5.00 s, #100,T 28.00 °C	- CR , 0.00 1/s, t 900.00 s, #100, T 28.00 °C
- CR , 53.40 1/s, t 5.00 s, #100,T 28.00 °C	- CR , 0.00 1/s, t 900.00 s, #100, T 28.00 °C
- CR , 53.40 1/s, t 5.00 s, #100,T 28.00 °C	- CR , 0.00 1/s, t 900.00 s, #100, T 28.00 °C
- CR , 53.40 1/s, t 5.00 s, #100,T 28.00 °C	- CR , 0.00 1/s, t 900.00 s, #100, T 28.00 °C
- CR , 53.40 1/s, t 5.00 s, #100,T 28.00 °C	- CR , 0.00 1/s, t 900.00 s, #100,T 28.00 °C
- CR , 53.40 1/s, t 5.00 s, #100,T 28.00 °C	- CR , 0.00 1/s, t 900.00 s, #100, T 28.00 °C
- CR , 53.40 1/s, t 5.00 s, #100,T 28.00 °C	- CR , 0.00 1/s, t 900.00 s, #100, T 28.00 °C
- CR , 53.40 1/s, t 5.00 s, #100,T 28.00 °C	- CR , 0.00 1/s, t 900.00 s, #100, T 28.00 °C
- CR , 53.40 1/s, t 5.00 s, #100,T 28.00 °C	- CR , 0.00 1/s, t 900.00 s, #100, T 28.00 °C

Para a confiabilidade das respostas das análises, surge a necessidade de verificar a confiabilidade do aparelho, para isso é necessário à realização da sua calibração, como fluido de calibração OP 400, cujas características são de fluido newtoniano como mostrada na figura 24.

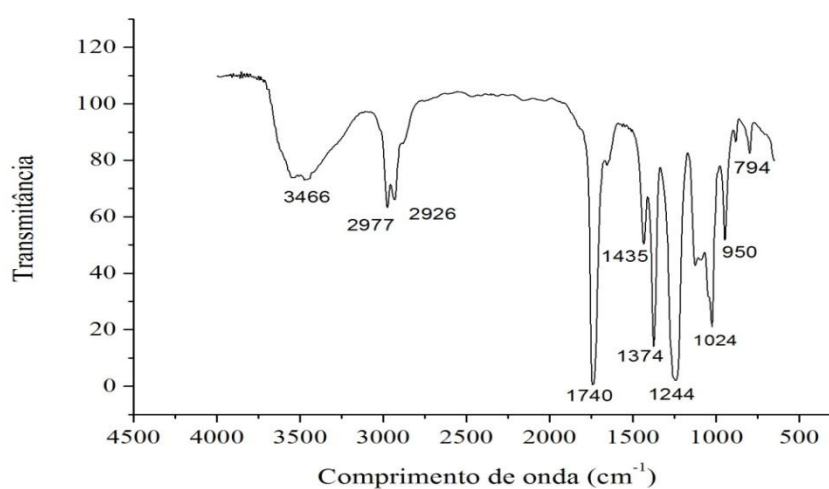
Figura 24: Curva de Calibração do viscosímetro VT550

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 PVA

A figura 25 corresponde ao espectro no infravermelho para a amostra de aditivo orgânico polimérico a base de PVA usado na pesquisa.

Figura 25:Espectro no infravermelho (FTIR) experimental do PVA



A tabela 11 representa os grupos funcionais presentes no espectro experimental do PVA.

Tabela 11: Grupos funcionais presentes no espectro do PVA

Identificação	Grupo Característico	Numero de onda cm ⁻¹
I	O-H da ligação hidrogênio intermolecular	v 3550-3200
II	C-H dos alcanos	v 2840-3000
III	C=O	1750-1735
IV	C-H do CH ₃	δ próximo a 1450
V	C-O (cristalinidade)	v 1141
VI	C-O-C	v 1150-1085

O espectro do PVA com os dados presentes na tabela 11 identificam o aditivo modificador da argamassa usado na pesquisa, pois confirma a presença dos grupos funcionais da carbonila e hidroxila com numero de onda respectivamente de 3466 e 1740.

5.2 CINZA VOLANTE

A tabela 12 representa a caracterização do material por fluorescência de raio x, mostrando que a cinza é composta em sua maioria por sílica (42,53%), calcário(19,00%) e alumina(16,39%) o que caracteriza segundo Joshi (1997) como um material pozolânico, pois o teor de oxido de silício é superior a 35%.

Tabela 12: Análise química da cinza volante

Elemento	Concentração (%)
Al ₂ O ₃	16,399
SiO ₂	42,531
CaO	19,005
Na ₂ O	0,941
MgO	1,836
K ₂ O	1,61
TiO ₂	0,897
Fe ₂ O ₃	7,081
MnO	0,073
BaO	0,095
ZnO	0,014
SO ₃	9,208
SrO	0,046

A tabela 13 e a figura 26 apresentam a análise granulométrica da cinza volante.

Figura 26: Análise granulométrica da cinza volante.

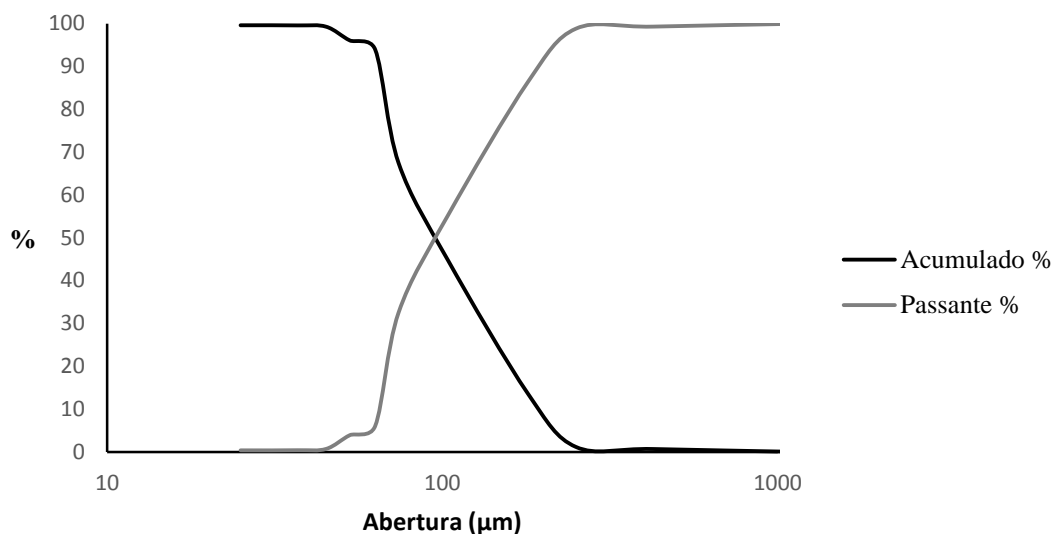


Tabela 13: Análise granulométrica da cinza volante.

# Tyler	Abertura (μm)	RA (%)	PA (%)
14	1200	0	100
35	425	0,701	99,299
60	250	1,197	98,803
80	180	13,603	86,397
150	104	44,700	55,300
200	74	67,474	32,526
250	63	93,963	6,037
270	53	96,053	3,947
325	45	99,271	0,729
400	37	99,580	0,420
500	25	99,608	0,392

RA* - Retido Acumulado

PA* - Passante Acumulado

Pelos resultados da figura 26 e da tabela 13 observa-se que a cinza volante possui um d_{50} de 91,8 μm .

5.3 REJEITO DA CONSTRUÇÃO CIVIL (RCC)

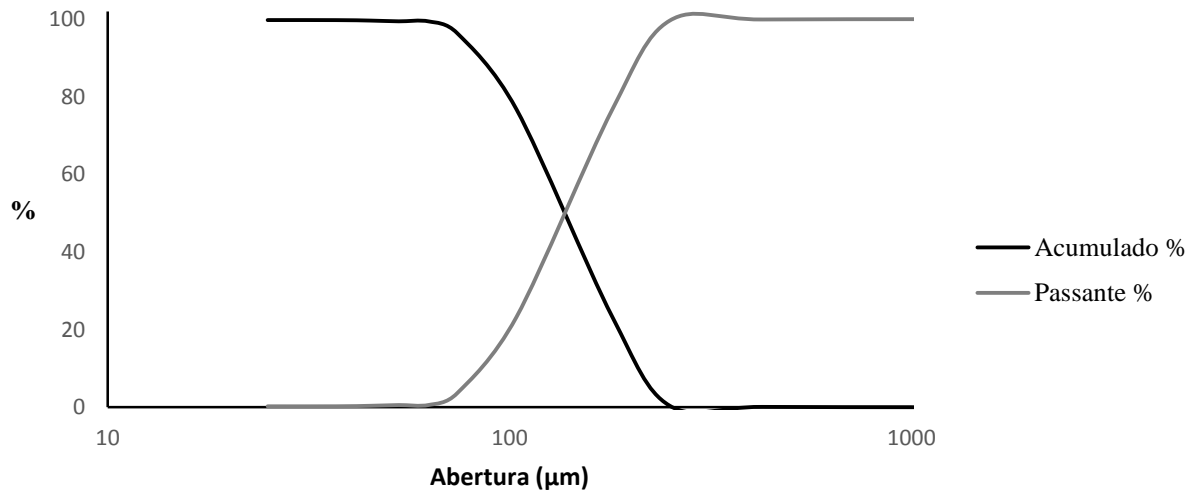
A Tabela 14 apresenta os teores de óxidos encontrados no rejeito da construção civil. Observou-se que o RCC é composto em sua maioria (93,41%) por óxidos de silício, e em sua minoria por óxidos de alumínio (0,59%), ferro (0,32%) e potássio (0,19%) o que o caracteriza como agregado miúdo para produção de argamassas.

Tabela 14: Análise química do Rejeito da Construção Civil.

Elemento	Concentração (%)
Al_2O_3	0,59
SiO_2	93,41
Fe_2O_3	0,32
K_2O	0,19
PF*	5,49

PF*Perda ao Fogo

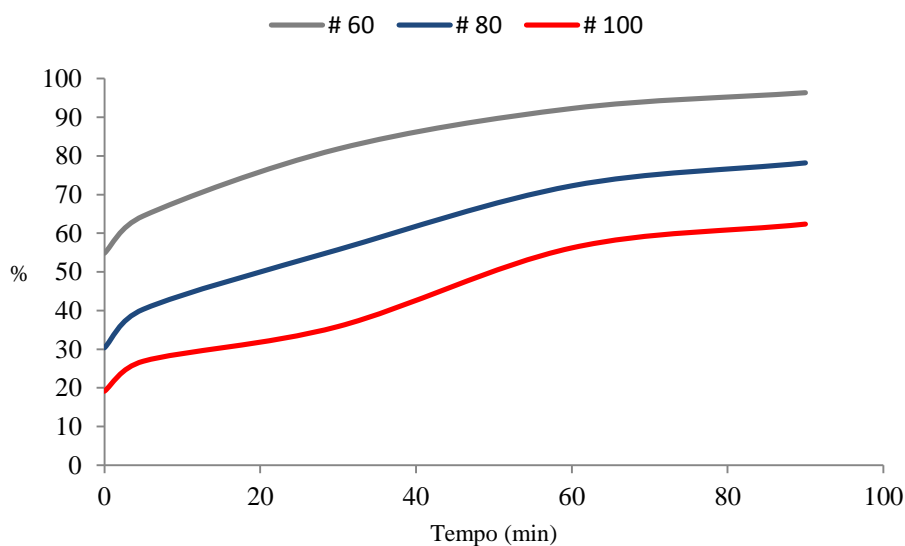
A tabela 15 e a figura 27 mostram a análise granulométrica do RCC usado na elaboração da argamassa.

Figura 27: Análise granulométrica do rejeito da construção civil.**Tabela 15:** Análise granulométrica do rejeito da construção civil

# Tyler	Abertura (μm)	RA (%)	PA (%)
14	1200	0	100
35	425	0,092	99,908
60	250	0,415	99,585
80	180	23,350	76,650
150	104	76,774	23,226
200	74	96,422	3,578
250	63	99,405	0,595
270	53	99,437	0,563
325	45	99,629	0,371
400	37	99,748	0,252
500	25	99,756	0,244

Pelos resultados da figura 27 e da tabela 15 observa-se que o rejeito da construção civil possui um d_{50} no valor de 138,9 μm , deste resultado conclui-se que de acordo com a norma NBR 7211, o mesmo se enquadra como agregado miúdo podendo ser utilizado nas composições das argamassas.

A figura 28 mostra a curva de moagem para o RCC no tempo de 0 a 90 min

Figura 28: Curva de moagem do rejeito da construção civil

A tabela 16 apresenta os valores usados na construção da curva de moagem mostrada na figura 28 (anterior).

Tabela 16: Curva de Moagem

Tempo (min)	14#	32#	60#	80#	100#
0	99,87	96,590	54,824	30,351	19,131
5	99,99	98,591	64,484	40,343	26,897
30	100	99,927	81,817	55,754	35,874
60	100	100	92,271	72,265	56,209
90	100	100	96,357	78,203	62,368

Pela análise granulométrica do RCC, usado na elaboração dos traços de argamassa o d_{50} é de 138,9 μm , possuindo pela tabela 15 um passante de 76,65% na peneira de 80 tyler, logo pela curva de moagem da figura 28 e pela tabela 16 a areia atinge esse passante no tempo de moagem de aproximadamente de 60 minutos, estes ensaios serviram para avaliar o tempo do processo de moagem, influenciando assim, o rendimento do processo de beneficiamento do RCC.

5.4 SÍLICA (AREIA)

A Tabela 17 apresenta os teores de óxidos encontrados na areia Observou-se que a areia é composta em sua maioria (96,73%) por óxidos de silício, e em sua minoria por óxidos

de alumínio (0,67%), ferro (0,37%) e potássio (0,21%) o que o caracteriza como agregado miúdo para produção de argamassas.

Tabela 17: Análise química da areia

Elemento	Concentração (%)
Al ₂ O ₃	0,67
SiO ₂	96,73
Fe ₂ O ₃	0,37
K ₂ O	0,21
PF*	2,02

PF*Perda ao Fogo

A tabela 18 e a figura 29 mostram a análise granulométrica da sílica usada na elaboração da argamassa.

Figura 29: Análise granulométrica da sílica.

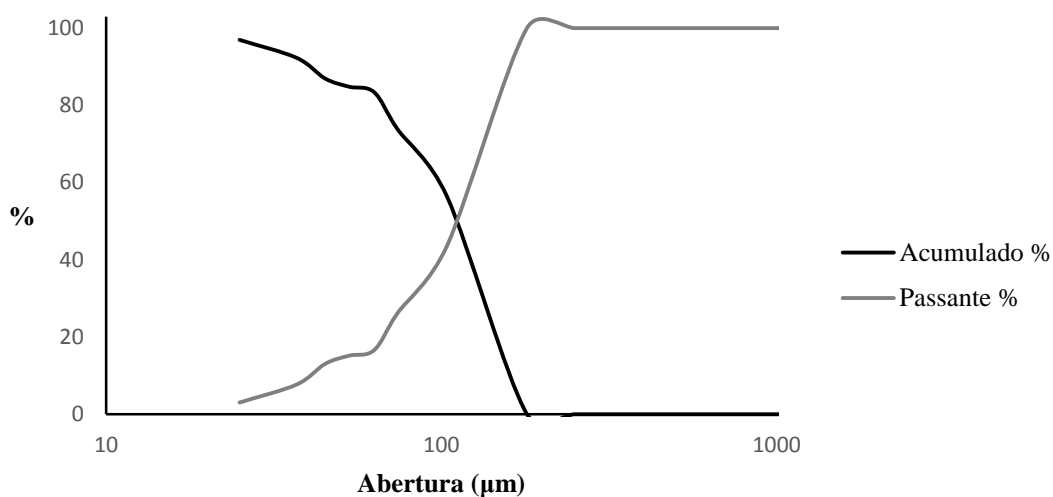
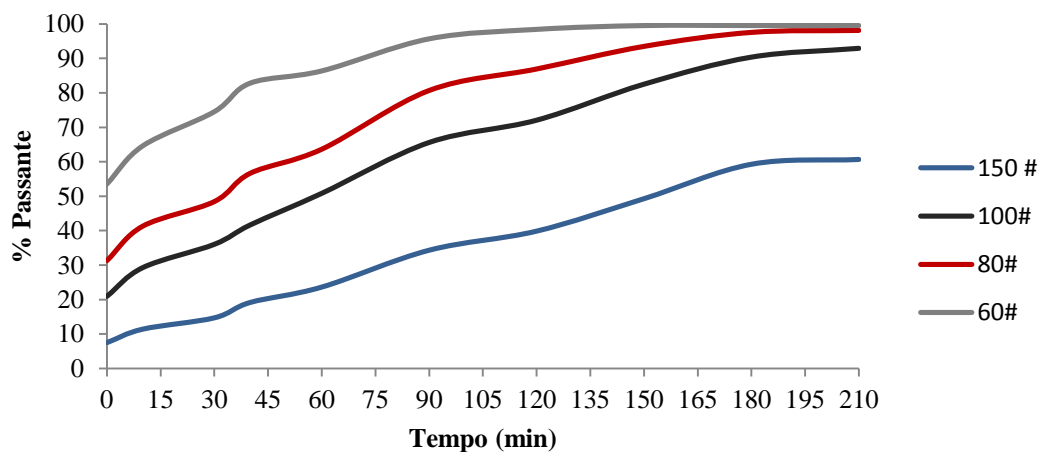


Tabela 18: Análise granulométrica da sílica.

# Tyler	Abertura (μm)	RA (%)	PA (%)
14	1200	0	100
35	425	0	100
60	250	0	100
80	180	0	100
150	104	56,322	43,678
200	74	73,803	26,197
250	63	83,392	16,608
270	53	84,829	15,171
325	45	86,938	13,062
400	37	92,298	7,702
500	25	96,954	3,046

Pelos resultados da figura 29 e da tabela 18, observa-se que a areia (sílica) possui o d_{50} de 111,6 μm . Deste resultado conclui-se que de acordo com a norma NBR 7211, o mesmo se enquadra como agregado miúdo podendo ser utilizado nas composições dos traços de argamassas.

A figura 30 mostra a curva de moagem para a areia no tempo de 0 a 210 min.

Figura 30: Curva de moagem para da areia

A tabela 19 apresenta os valores usados na construção da curva de moagem mostrada na figura 30 (anterior).

Tabela 19: Curva de Moagem

Tempo (min)	60 #	80 #	100 #	150 #
0	53,53	31,305	20,94	7,4885
10	64,6	41,296	29,262	11,4018
30	74,53	48,438	36,03	14,6899
40	82,81	56,631	41,64	19,1467
60	86,36	63,635	50,83	23,6124
90	95,68	80,69	65,6	34,3205
120	98,422	86,919	72,063	39,857
150	99,526	93,488	82,512	49,277
180	99,538	97,544	90,365	59,269
210	99,539	98,12	92,921	60,66

Pela análise granulométrica da areia usada na elaboração dos traços de argamassa o d_{50} é de 111,6 μ m, possuindo pela tabela 18 um passante de 100% na peneira de 80 tyler, logo pela curva de moagem da figura 30 e pela tabela 19 a areia atinge esse passante no tempo de moagem de aproximadamente de 150 min.

5.5 PROPRIEDADES MECÂNICAS

A tabela 20 apresenta os resultados de resistência à compressão, absorção aparente, porosidade aparente e massa específica para os traços sem PVA.

Tabela 20: Propriedades Mecânicas para os traços sem PVA.

TR	Cimento (%)	CV(%)	RCC(%)	Areia(%)	Absorção (%)	Porosidade (%)	Massa Específica	Resistência à Compressão (MPa)
1	5	40	40	15	40,52	47,69	1,176	1,005
2	5	40	30	25	39,86	47,45	1,190	0,98
3	5	30	30	35	38,1	45,56	1,195	1,13
4	5	30	40	25	38,3	46,04	1,202	1,03
5	5	30	20	45	35,46	43,81	1,235	1,13
6	5	50	20	25	41,6	48,75	1,171	0,91
7	10	30	20	40	28,73	39,187	1,364	5,11
8	10	30	40	20	29,31	40,79	1,392	4,86
9	10	30	10	50	28,17	39,01	1,381	5,504

A tabela 21 apresenta os resultados de resistência à compressão, absorção aparente, porosidade aparente e massa específica para os traços com PVA.

Tabela 21: Propriedades Mecânicas para os traços com PVA.

TR	Cimento (%)	CV (%)	RCC (%)	Areia (%)	Absorção (%)	Porosidade (%)	Massa Específica	Resistência à Compressão (MPa)
1	5	40	40	15	38,79	43,7	1,126	1,18
2	5	40	30	25	36,67	41,36	1,128	1,33
3	5	30	30	35	33,09	41,61	1,257	1,23
4	5	30	40	25	33,9	42,68	1,259	1,38
5	5	30	20	45	32,53	41,38	1,272	1,47
6	5	50	20	25	40,99	46,84	1,142	1,43
7	10	30	20	40	24,35	34,24	1,405	7,912
8	10	30	40	20	25,43	35,95	1,414	7,421
9	10	30	10	50	24,65	34,73	1,408	8,65

Analisando os resultados, observa-se que os traços com PVA tiveram maior resistência à compressão que os traços sem PVA como é exemplificado na figura 6, além de obterem menores valores de absorção e porosidade aparente mantendo valores de massa específica.

A tabela 22 apresenta os valores de massa específica para os traços de argamassa no estado fresco com e sem aditivo.

Tabela 22: Massa específica da argamassa no estado fresco

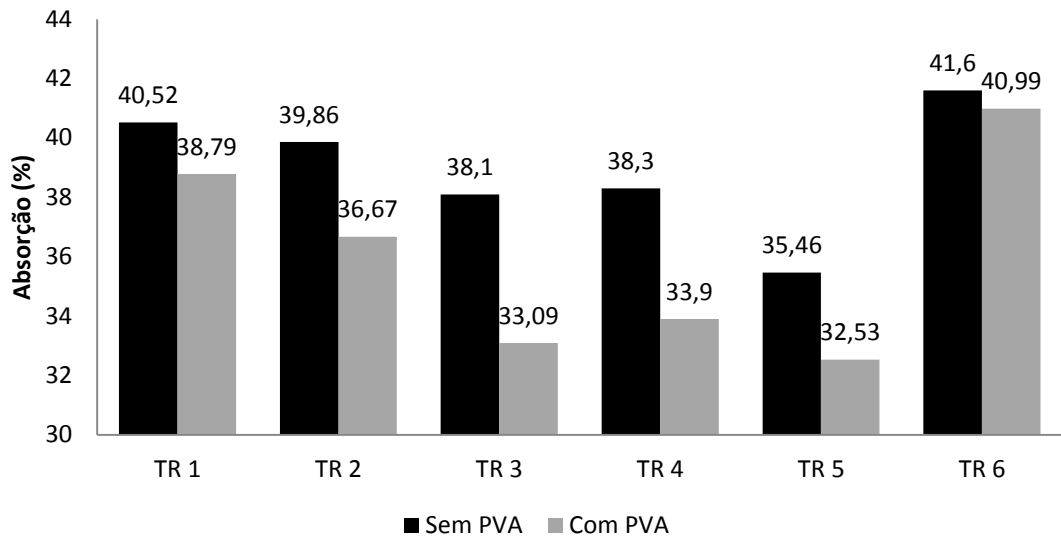
Massa Específica no Estado Fresco kg/m ³			
Sem PVA		Com PVA	
TR 01	1977	TR 01	2065
TR 02	1986	TR 02	2134
TR 03	1860	TR 03	1923
TR 04	1810	TR 04	1902
TR 05	1891	TR 05	1952
TR 06	2036	TR 06	2188
TR 07	1871	TR 07	1926
TR 08	1820	TR 08	1880
TR 09	1903	TR 09	1951

Pela tabela 22 observa-se que os traços aditivados com polímeros apresentaram um aumento da massa específica. Os traços com maior teor de cinza apresentaram um aumento no valor de massa específica devido o aumento no teor de finos incorporado.

Todos os traços com e sem PVA apresentam valores de massa específica dentro da faixa expressa pela NBR 13278 para argamassa de revestimento e assentamento.

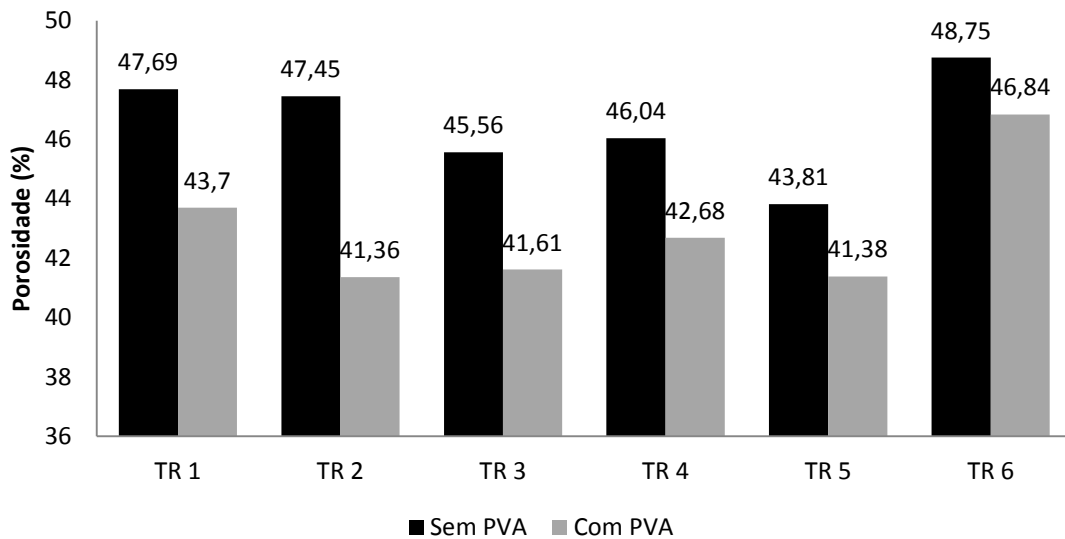
A figura 31 apresenta os resultados do ensaio de absorção aparente para os traços de argamassa 01, 02, 03, 04, 05, e 06 com e sem PVA.

Figura 31: Gráfico referente à absorção aparente para os traços 01, 02, 03, 04, 05 e 06 com e sem PVA.



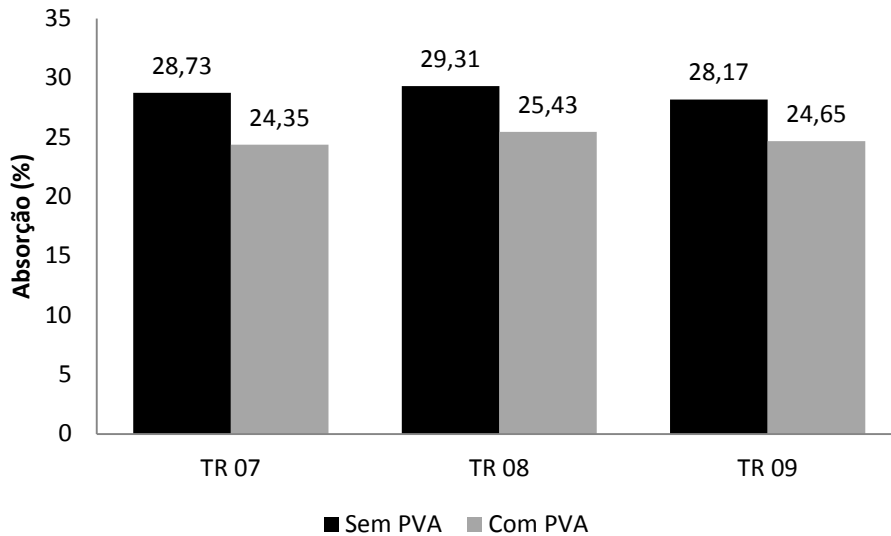
A figura 32 apresenta os resultados do ensaio de porosidade aparente para os traços de argamassa 01, 02, 03, 04, 05, e 06 com e sem PVA.

Figura 32: Gráfico referente à porosidade aparente para os traços 01, 02, 03, 04, 05 e 06 com e sem PVA.



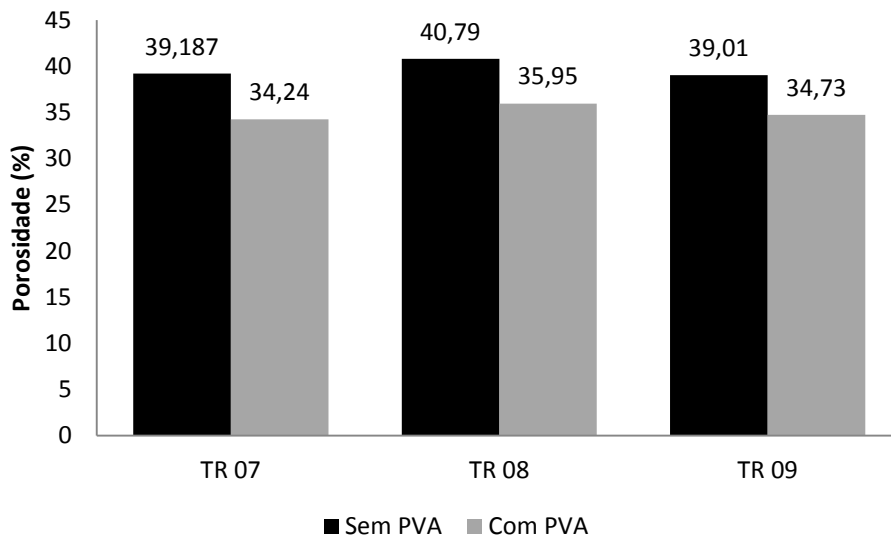
A figura 33 apresenta os resultados do ensaio de absorção aparente para os traços 07, 08 e 09 com e sem PVA

Figura 33: Gráfico referente à absorção aparente para os traços 07, 08 e 09 com e sem PVA.



A figura 34 apresenta os resultados do ensaio de porosidade aparente para os traços de argamassa 07, 08 e 09 com e sem aditivo.

Figura 34: Gráfico referente a porosidade aparente para os traços 07, 08, 09 com e sem PVA.



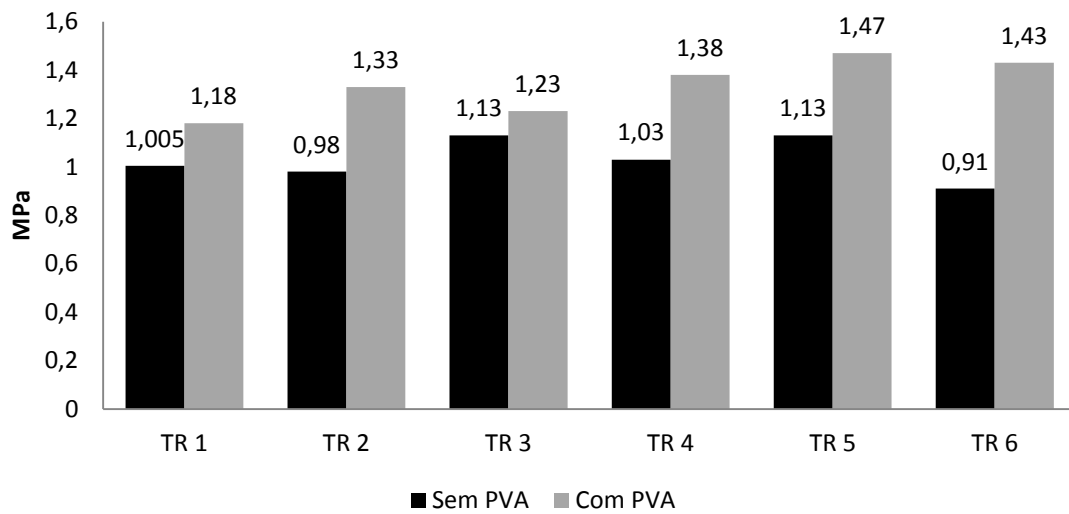
Os traços 07, 08 e 09 apresentaram menor valor de absorção e porosidade aparente que os traços 01, 02, 03, 04, 05 e 06, devido apresentarem maior efeito pozolânico. Os traços com teores de cinza volante superiores a 30% apresentaram aumento nessas propriedades devido o aumento do número de finos nos traços o que requer maior quantidade de água para obtenção de argamassa com boa trabalhabilidade.

Os traços com PVA obtiveram uma menor porosidade e absorção aparente em comparação aos traços sem PVA. Isso se deve ao efeito polimérico que preenche totalmente ou parcialmente os poros da argamassa.

Entende-se que a durabilidade da argamassa está relacionada à sua porosidade. Como as argamassas modificadas com aditivo polimérico apresentam menor porosidade aparente, logo possuem maior durabilidade que os traços sem PVA, pois são mais protegidas a ações abrasivas de substâncias e das condições ambientais.

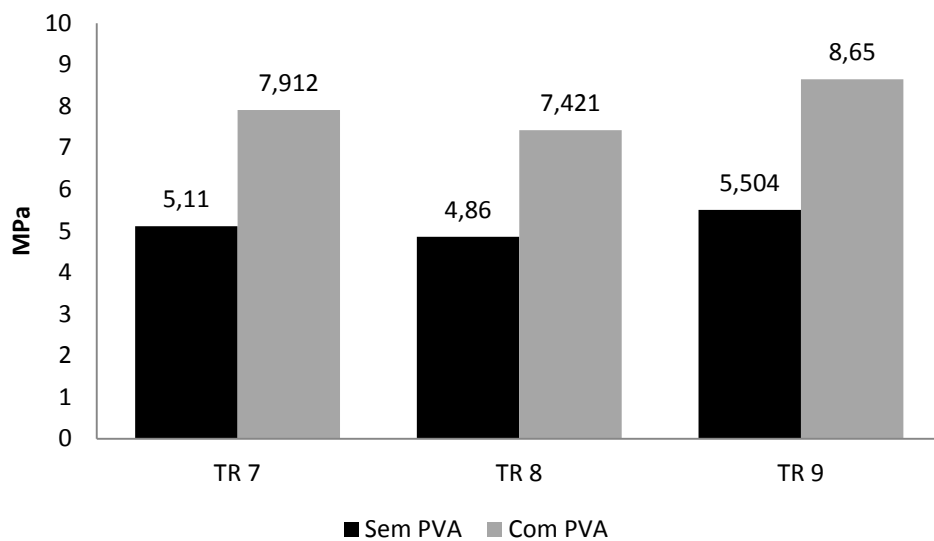
A figura 35 apresenta os resultados do ensaio de resistência à compressão para os traços de argamassa 01, 02, 03, 04, 05 e 06 com e sem aditivo.

Figura 35: Gráfico da resistência à compressão em MPa para os traços 01, 02, 03, 04, 05 e 06 com e sem PVA.



A figura 36 apresenta os resultados do ensaio de resistência à compressão para os traços de argamassa 07, 08 e 09 com e sem aditivo.

Figura 36: Gráfico da resistência à compressão em MPa para os traços 07, 08 e 09 com e sem PVA.



Os traços 07, 08 e 09 de argamassa com PVA apresentaram um aumento de resistência à compressão mais significativo que o dos traços 01, 02, 03, 04, 05 e 06, esse aumento é devido à formação do filme polimérico se intensificar com o aumento da atividade pozolânica. Como os traços 07, 08 e 09 apresentam 10 % de cimento, no processo de hidratação ocorre um aumento na formação de cristais distribuídos o que leva a uma intensificação da adsorção do polímero na superfície dos grãos de cimento.

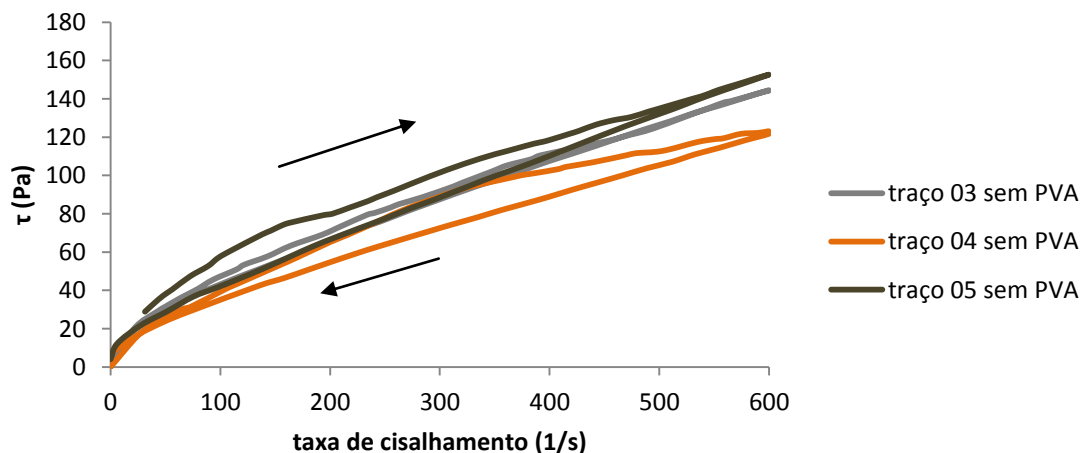
A partir dos resultados os traços com PVA obtiveram melhorias significativas em suas propriedades mecânicas comparado aos traços sem PVA, estando os resultados mecânicos de acordo com as faixas de valores presentes na ABNT NBR 13280 de argamassa de revestimento e assentamento.

A melhoria que os traços com PVA tiveram em suas propriedades mecânicas se deve ao efeito polimérico, em que o PVA preencheu totalmente ou parcialmente os poros da argamassa, através da formação do filme polimérico o que segundo Ohama (1998), aumenta a área de suporte de carga da argamassa. As melhorias nas propriedades mecânicas dos traços com PVA comparado aos traços sem PVA é um indicio da boa formação do filme polimérico.

5.6 ANÁLISE DE HISTERESE

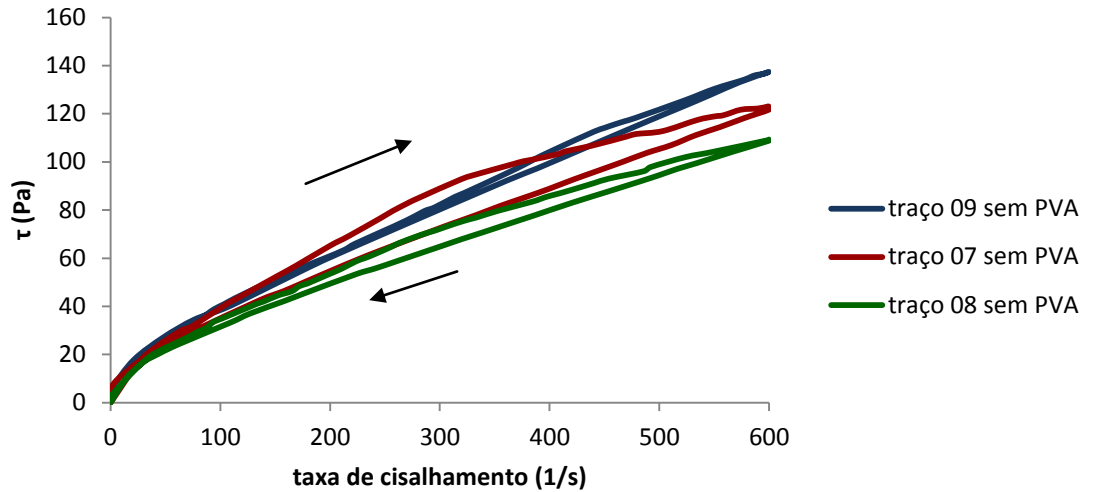
A figura 37 apresenta o resultado do ensaio de histerese para os traços de argamassa 03, 04 e 05 sem PVA.

Figura 37: Traços de argamassa 03, 04 e 05 sem PVA



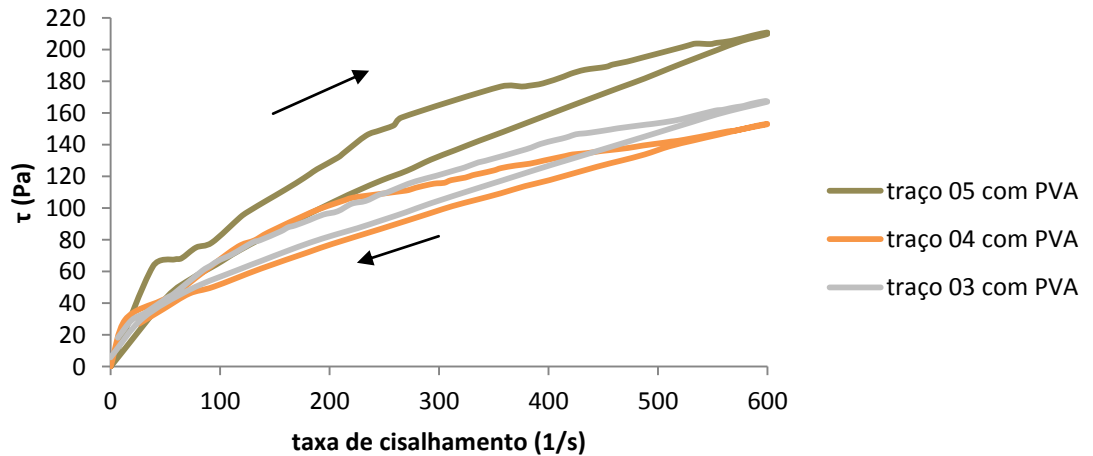
A figura 38 apresenta o resultado do ensaio de histerese para os traços de argamassa 07, 08 e 09 sem PVA.

Figura 38: Traços de argamassa 07, 08 e 09 sem PVA

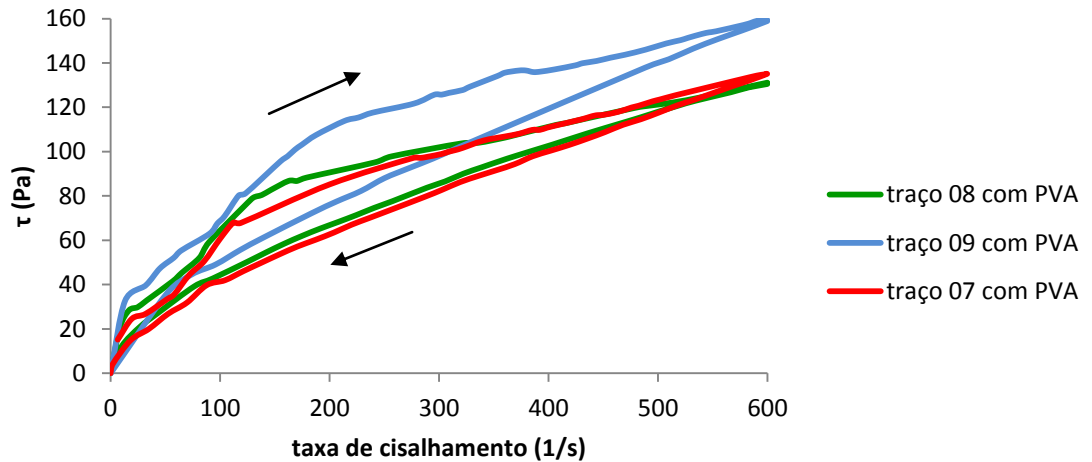


A figura 39 apresenta o resultado do ensaio de histerese para os traços de argamassa 03, 04 e 05 modificadas com PVA.

Figura 39: Traços de argamassa 03, 04 e 05 modificadas com PVA.



A figura 40 apresenta o resultado do ensaio de histerese para os traços de argamassa 07, 08 e 09 modificadas com PVA.

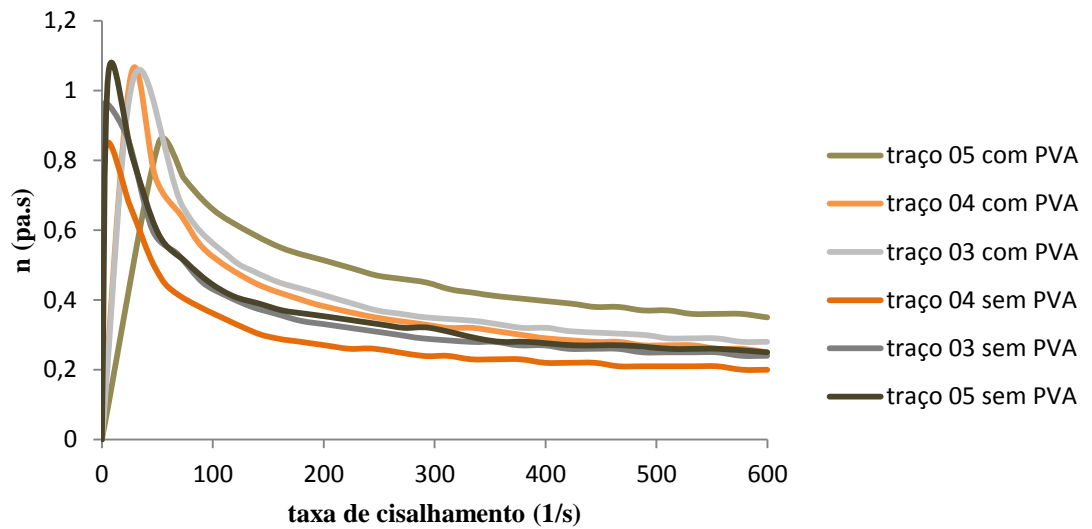
Figura 40: Traços de argamassa 07, 08 e 09 modificadas com PVA

Uma argamassa que possui boa trabalhabilidade e consistência, apresenta comportamento tixotrópico (CINCOTTO,1995). A tixotropia garante a diminuição da viscosidade aparente quando a argamassa está sendo aplicada, o que favorece o espalhamento e a trabalhabilidade. Segundo Pandolfelli (2009) a formação do filme polimérico nos momentos iniciais retarda a evaporação de água presente na argamassa.

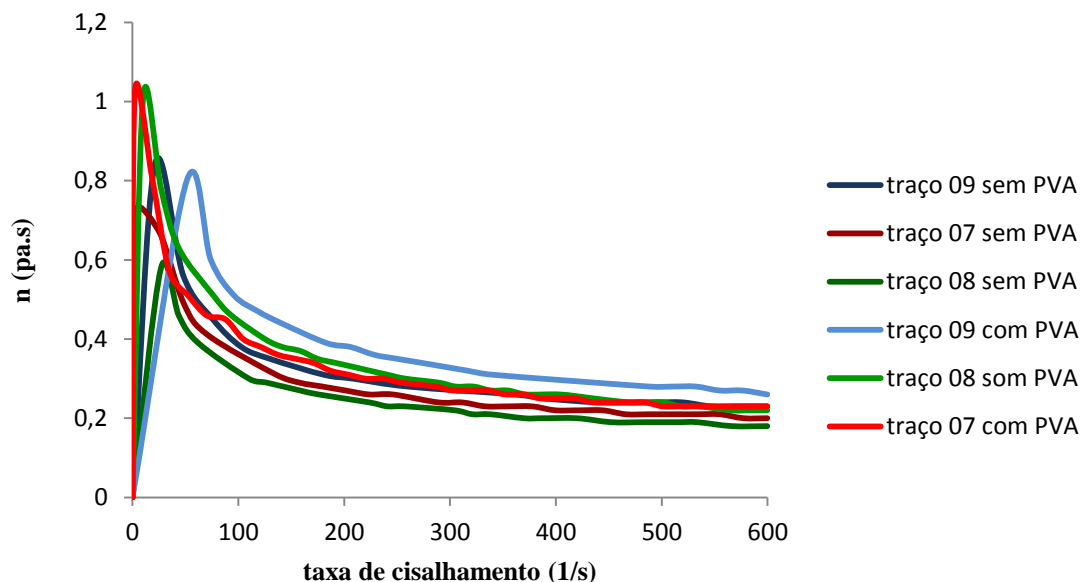
Pelos resultados, os traços com e sem aditivo apresentaram comportamento tixotrópico, porém os traços modificados com PVA apresentaram aumento da área de histerese em relação aos traços sem aditivo. Esta característica pode ser devida ao tempo de reestruturação da composição da argamassa, pela formação do filme polimérico. Esse tempo pode favorecer o espalhamento do material quando aplicado, conferindo aos traços com o aditivo polimérico melhoria na trabalhabilidade.

5.7 COMPORTAMENTO ADESIVO DA ARGAMASSA

A figura 41 apresenta os resultados comparativos para os traços 03, 04 e 05 com e sem PVA. Mostrando o comportamento da viscosidade aparente da argamassa quando submetida a uma taxa cisalhante de 0 a 600 s⁻¹.

Figura 41: Traços 03, 04 e 05 com e sem PVA

A figura 42 apresenta os resultados comparativos para os traços 07, 08, e 09 com e sem PVA. Mostrando o comportamento da viscosidade aparente da argamassa quando submetida a uma taxa cisalhante de 0 a 600 s^{-1} .

Figura 42: Traços 07, 08 e 09 com e sem PVA

Pela análise dos resultados da figura 41 e 42 se observa que os traços com PVA obtiveram um aumento na viscosidade aparente em relação aos traços sem PVA.

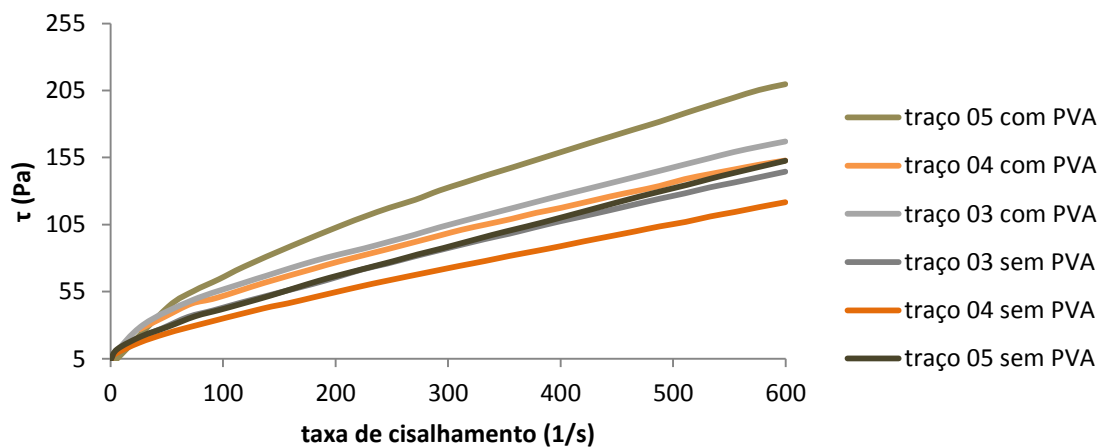
O aumento de viscosidade ocorre devido principalmente o aditivo ter a característica de diminuir a quantidade de água de amassamento sem comprometer a hidratação do cimento, pois parte dessa água é substituída pelo látex. (ROYER, 2005).

A adição de PVA como agente modificador proporcionou um caráter adesivo colante à argamassa, o que é evidenciado pelo aumento de viscosidade, mantendo o comportamento tixotrópico favorecendo a aplicação da argamassa no sentido de reduzir a perda do material por reflexão em superfícies verticais.

5.8 MODELO REOLÓGICO

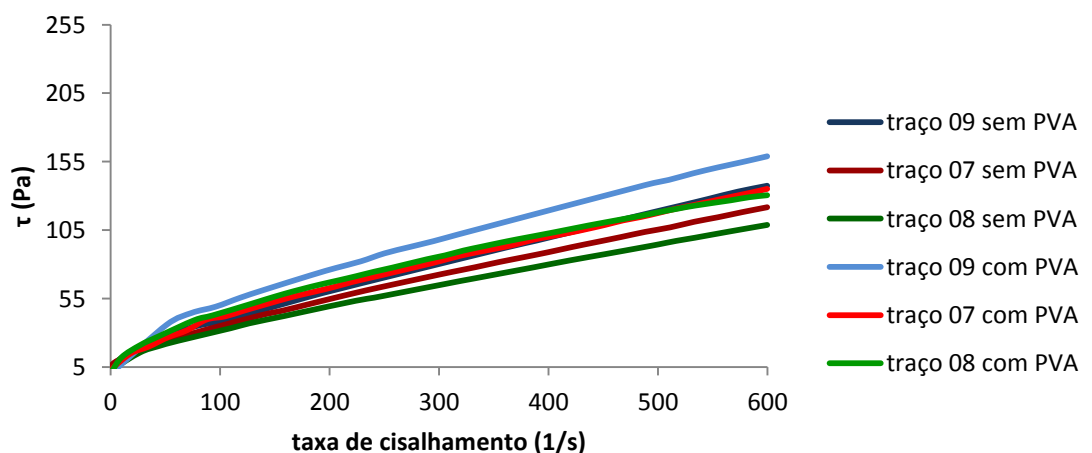
A figura 43 apresenta as curvas de fluxo em que os modelos reológicos foram ajustados para os traços 03, 04 e 05 com e sem PVA.

Figura 43: Curva de fluxo para os traços 03, 04 e 05 com e sem PVA



A figura 44 apresenta as curvas de fluxo em que os modelos reológicos foram ajustados para os traços 07, 08 e 09 com e sem PVA.

Figura 44: Curva de fluxo para os traços 07, 08 e 09 com e sem PVA



A tabela 23 mostra os modelos reológicos, com seus respectivos parâmetros, que representaram o comportamento de escoamento dos traços da argamassa sem PVA.

Tabela 23: Modelo reológico para os traços sem PVA

ARGAMASSA SEM PVA							
(35%) H2O	BINGHAM			HERSCHEL-BULKLEY			
	τ_0 (Pa)	η_p (Pa.s)	R ²	τ_0 (Pa)	K	n	R ²
Traço 03	18,01	0,2199	0,9939	6,305	1,129	0,7507	0,9997
Traço 04	14,07	0,1854	0,9950	5,408	0,8305	0,7710	0,9997
Traço 05	16,49	0,2336	0,9966	7,988	0,7832	0,8147	0,9996
Traço 07	13,85	0,1635	0,9952	4,905	0,7814	0,7630	0,9996
Traço 08	13,98	0,1487	0,9961	5,301	0,8205	0,7721	0,9997
Traço 09	15,92	0,2069	0,9972	8,226	0,7118	0,8122	0,9996

A tabela 24 mostra os modelos reológicos, com seus respectivos parâmetros, que representaram o comportamento de escoamento dos traços da argamassa com PVA.

Tabela 24: Modelo reológico para os traços com PVA

ARGAMASSA COM PVA							
(35%) H2O	BINGHAM			HERSCHEL-BULKLEY			
	τ_0 (Pa)	η_p (Pa.s)	R ²	τ_0 (Pa)	K	n	R ²
Traço 03	29,28	0,2399	0,9901	8,714	1,884	0,6917	0,9994
Traço 04	25,09	0,226	0,9899	5,701	1,961	0,6717	0,9997
Traço 05	31,11	0,3078	0,9902	5,589	2,622	0,6804	0,9999
Traço 07	26,84	0,2365	0,9928	8,678	1,648	0,7084	0,9995
Traço 08	13,46	0,0651	0,9868	7,259	0,678	0,6481	0,9953
Traço 09	25,83	0,2138	0,9911	6,357	1,713	0,7009	0,9995

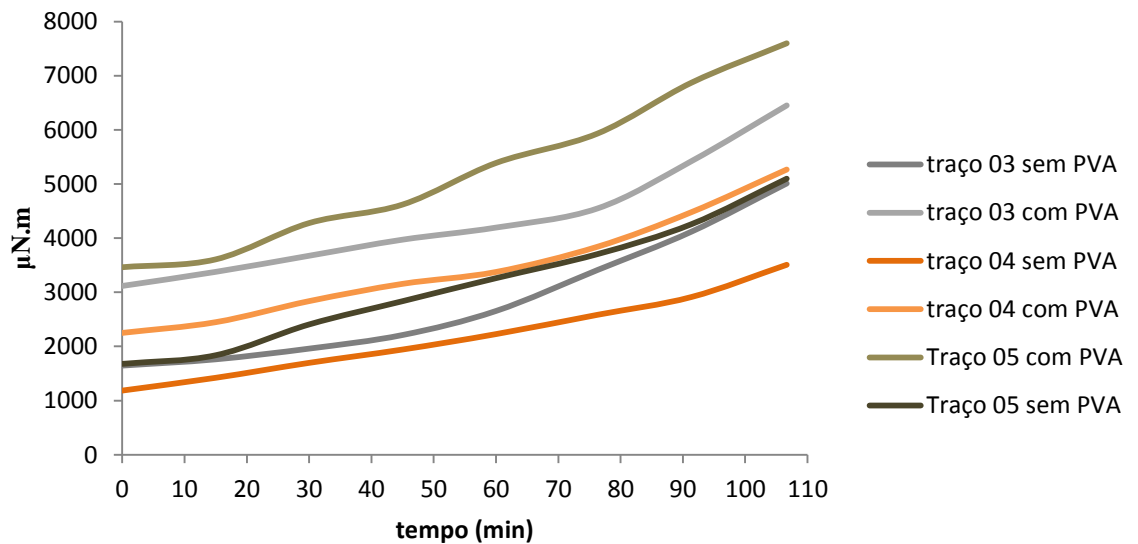
Pelos resultados ambos os modelos de Bingham quanto o de Herschel – Bulkley se ajustam ao comportamento reológico dos traços de argamassa com e sem PVA, sendo que o modelo de Herschel – Bulkley é o que melhor se adéqua quando a argamassa no estado fresco escoar sujeito a valores baixos ou altos de cisalhamento.

O modelo de Herschel – Bulkley rege o escoamento dos traços da argamassa para aplicações em que o fator tempo pode ser desprezado ou não é significativo. Caso o fator tempo, seja representativo do fenômeno físico o fator tixotrópico deve ser incorporado ao modelo.

5.9 CURVA DE TRABALHABILIDADE

A figura 45 mostra as curvas de trabalhabilidade para o ensaio reológico dos traços 03, 04 e 05 com e sem aditivo.

Figura 45: curvas de trabalhabilidade para os traços 03, 04 e 05 com e sem PVA

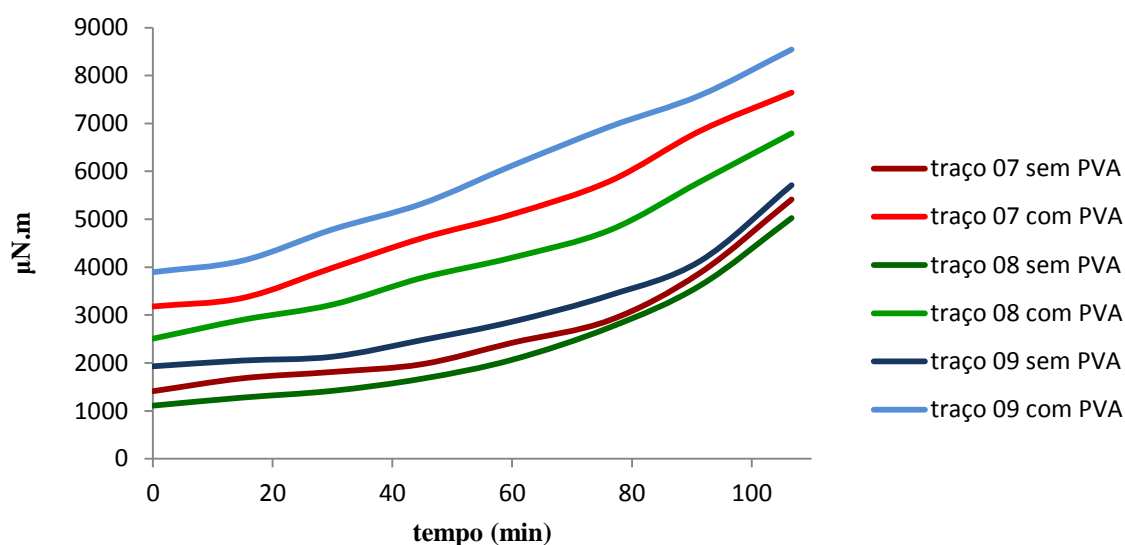


A tabela 25 exemplifica valores da curva de trabalhabilidade da figura 45.

Tabela 25: Valores da curva de trabalhabilidade para os traços 03, 04 e 05 com e sem PVA

Tempo (min)	Traços sem PVA			Traços com PVA		
	3	4	5	3	4	5
0	1646	1185	1678	3117	2250	3463
15	1762	1421	1837	3377	2448	3608
30	1960	1697	2406	3675	2837	4278
45	2211	1943	2836	3972	3156	4620
60	2655	2228	3261	4195	3375	5388
76,28	3411	2584	3705	4548	3841	5931
91,38	4120	2913	4258	5422	4480	6871
106,66	5010	3508	5098	6451	5267	7598

A figura 46 mostra as curvas de trabalhabilidade para o ensaio reológico dos traços 07, 08 e 09 com e sem aditivo.

Figura 46:Curvas de trabalhabilidade para os traços 07, 08 e 09 com e sem PVA

A tabela 26 exemplifica os valores da curva de trabalhabilidade da figura 46.

Tabela 26:Valores da curva de trabalhabilidade para os traços 07, 08 e 09 com e sem PVA

Tempo (min)	Traços sem PVA			Traços com PVA		
	7	8	9	7	8	9
0	1410	1108	1930	3179	2507	3895
15	1680	1277	2050	3357	2901	4136
30	1812	1418	2130	3986	3218	4788
45	1975	1672	2479	4607	3779	5327
60	2421	2066	2861	5103	4199	6119
76,28	2892	2742	3413	5794	4772	6932
91,38	3881	3615	4127	6843	5783	7587
106,66	5413	5024	5711	7643	6793	8543

Pelas curvas de trabalhabilidade da figuras 45 e 46, obtém-se como resultado o aumento do torque em relação ao tempo de ensaio, esse aumento do torque se deve ao efeito pozolânico do cimento e da cinza volante, atividade pozolânica que acarreta numa elevada absorção de água com formação de cadeia cristalina de produtos hidratados tendo como consequência o aumento do torque na cura do material.

O uso em excesso de PVA leva a uma remoção em excesso da água de amassamento, pela curva de trabalhabilidade das figuras 45 e 46, observa-se que o emprego do aditivo em quantidade de 20% em relação a massa aglomerante removeu parte da água de amassamento sem comprometer a hidratação do cimento e da cinza, o que é evidenciado pelo aumento do torque necessário para cisalhar a argamassa ao longo da cura, analisada do tempo de 0 a 106,6 minutos.

6 CONCLUSÕES

A metodologia de avaliação da influencia do emprego de aditivo orgânico polimérico PVA nas propriedades da argamassa elaborada a partir de rejeito industriais usado neste trabalho de pesquisa forneceu valores de desempenho satisfatório.

A resistência à compressão, aos 28 dias de cura, dos traços com PVA atingiram valores maiores que os encontrados nos traços não aditivados. Houve diminuição na absorção e na porosidade aparente para os traços 01, 02, 03, 04, 05, 06, 07, 08, 09 com PVA em relação aos traços sem PVA.

A melhoria nas propriedades mecânicas dos traços de argamassa aditivada com PVA se deve ao efeito polimérico que preencheu os poros, aumentando a área de carga dos traços aditivados, o que propicia um aumento de resistência à compressão além de conferir maior durabilidade.

Os traços 07, 08 e 09 com PVA apresentaram desempenho mecânico mais acentuado que os traços 01, 02, 03, 04, 05 e 06 com PVA. O efeito polimérico do aditivo se intensifica com o aumento da atividade pozolana.

Os traços com PVA apresentaram melhoria na adesividade e na trabalhabilidade no estado fresco, em relação aos traços sem PVA.

Os dados experimentais para os traços elaborados com e sem aditivo foram melhores representados pelo modelo de Herschel – Bulkley.

Os ensaios mostraram que a produção de argamassas contendo cinza de carvão mineral e rejeito da construção civil são interessantes para a indústria não só no aspecto tecnológico como também em relação à questão ambiental, visto que, a cinza e o rejeito da construção civil possui pouco ou nenhum valor comercial.

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Avaliar a influencia outros aditivos poliméricos no comportamento mecânico e reológico das argamassas produzidas com rejeito da construção civil e cinza volante

- Avaliar a concentração de PVA para outros valores entre 10 % e 30%.

- Avaliar modelos reológicos dependentes do tempo no estudo das argamassas produzidas com rejeitos industriais

- Realizar o estudo econômico da utilização das argamassas produzidas para revestimento e assentamento.

- Realizar o estudo para a implantação de unidade de seleção, em escala piloto, de RCC para a separação e obtenção de reboco.

REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR13279. **Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à compressão.** Rio de Janeiro.1995

_____. NBR 9778. **Argamassa e concretos endurecidos – Determinação da absorção de água por imersão.** Rio de Janeiro. 1987.

_____. NBR 13280. **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da massa específica aparente no estado endurecido.** Rio de Janeiro. 1995.

_____. NBR 13278. **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da massa específica e do teor de ar incorporado.** Rio de Janeiro. 1995.

_____.NBR 13281. **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos.**Rio de Janeiro. 1995.

_____. NBR 13529. **Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Terminologia.** Rio de Janeiro, 1995.

_____. NBR 13530. **Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Classificação.** Rio de Janeiro, 1995.

_____. NBR 5738. **Concreto – procedimento para moldagem e cura de corpos de prova.** Rio de Janeiro. 2008.

_____. NBR 7211. **Agregados – especificação.** Rio de Janeiro. 2005.

_____. NBR 13749 – **Limite de Resistência de aderência à tração.** Rio de Janeiro 1996.

_____.CB2. 02:136.01.004. **Desempenho de edifícios habitacionais de até cinco pavimentos- Parte 4: fachadas e paredes internas.** Rio de Janeiro, 2006

ABCP- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Guia Básico de Utilização do Cimento Portland.** 7ed. São Paulo, 2002. 28p.

ACI Committee 232.**Use of fly ash in concrete.**ACI committee report 232.2R-96, ACI, pp. 34, April, 1996.

AFRIDI, M.U.K. et al. Water retention and adhesion of powdered and aqueous polymer-modified mortars.**Cement & Concrete Composites**, v.17, n.4, p.113-8, 1995.

AHMARUZZAMAN, M. A. **Review on the utilization of fly ash.** Progress in Energy and Combustion Science 36, p. 327-363, 2010.

AÏTCIN, P. C. **Concreto de alto desempenho.** Tradução de Geraldo G. Serra. SãoPaulo: PINI, 2000. 667p. (4)

AITCIN, P.C.; JOLICOEUR, C.; MacGREGOR, J. G. Superplasticizers: how they work and why they occasionally don't. **Concrete International**, v. 16, n. 5, p. 45-52, May. 1994.

ALONSO, J. L.; WESCHE, K. Characterization of fly ash, Fly ash in concrete: properties and performance. **Report of technical committee 67-FAB** – use of fly ash in building, RILEM, K. Wesche ed. , E&FN SPON, pp. 3-23, 1991.

ALVES, N. J. D. **Avaliação dos aditivos incorporadores de ar em argamassas de revestimento**. Brasília, 2002. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil)– Programa de pós-graduação em Estrutura e Construção Civil, Universidade de Brasília.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI 548.3R - State-of-the-art report on polymer-modified concrete**. Detroit: ACI, 1995.

ANTUNES, R. P. N. **Influência da reologia e da energia de impacto na resistência de aderência de revestimentos de argamassa**. São Paulo, 2005. Tese de Doutorado – Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da USP.

ARAÚJO JR., J.M. **Contribuição ao Estudo das propriedades Físico-Mecânicas das Argamassas de Revestimento**. Brasília, 2004. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) – Programa de pós-graduação em Estrutura e Construção Civil, Universidade de Brasília.

ARAÚJO, M. S.; FRANÇA, S. C. A.; BARBATO C. N. Estudo Reológico de polpa de Bauxita da Região Nordeste do Pará. In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTIFICA DO CETEM/MCT, 17. **Anais...** 2010, p.22-28

AZEVEDO, A.F.F.L.C. **Betões de elevado desempenho com incorporações de Cinzas Volantes**. 2002. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Braga, Portugal.

BACHE, H. H. Densified cement/ultrafine particle-based materials. In: AITCIN, P. C. **Concreto de alto desempenho**. Tradução Geraldo G. Serra. São Paulo: PINI, 2000. 667p.

BANFILL, P.G. **The rheology of fresh mortar**. Magazine of Concrete Research, v. 43, pp. 13-21, 1991.

BARNES, H. A.; HUTTON, J. F.; WALTERS, K. **An introduction to rheology**. 1. ed. New York: Elsevier, 1989. 199 p. (Rheology Series, 3).

BAUER, Elton (Editor). **Revestimento de argamassa: características e peculiaridades**. Brasília: LEM – UnB; Sinduscon, 2005.

BAUER, Elton. **Resistência a penetração da chuva em fachadas de alvenaria de materiais cerâmicos – Uma análise de desempenho**. Porto Alegre, 1987. Dissertação (Mestrado) - Universidade federal do Rio Grande do Sul.

BONEN, D.; SARKAR, S. L. The superplasticizer adsorption capacity of cement pastes, pore solution composition, and parameters affecting flow loss. **Cement and Concrete Research**, v.25, n.7, p. 1423-1434, Oct. 1995.

BORGES, A. F. **Modelagem Numérica de Fluxo Bifásico e Transporte em Meio Poroso Com Transferência de Massa e Co-Solvência**. 203 f. Tese (Doutorado) - Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro/RJ, 2002.

BRAGANÇA, A.; **Avaliação de reagentes alternativos para substituição da cal em sistema de bombeamento de longa distância de polpa de minério de ferro**. Dissertação de (Mestrado), 2008.

BRETAS, R.; D'AVILA; **Reologia dos Polímeros Fundidos**. São Carlos, SP, Brasil, 2000.

CARDOSO, D. N. P. **Influência do teor de cinza volante na reologia de argamassa de assentamento**. Fabricado com reciclagem de resíduos. Dissertação (Mestrado em Engenharia em Engenharia Química). Universidade Federal do Pará. Belém/Pará, 2014.

CASTRO, Alessandra L. **Aplicação de conceitos reológicos na tecnologia dos concretos de alto desempenho**. Tese Doutorado – EESC – USP. São Carlos, 2007.

CETEM/MCT. **Reologia e Reometria Aplicada ao estudo de polpas Minerai**s, 2008.

CINCOTTO, M. A. et al. Argamassas de revestimento:Características, propriedades, e métodos de ensaios.**Boletim 68 IPT** - Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo, 1995.

COUSSOT, PHILIPPE. **Rheometry of pastes, suspensions, and granular materials: applications in industry and environment**.1999.

CRUZ, A. A. F. **Estudo sobre a utilização do resíduo da queima da biomassa emargamassas**. 2002, 101p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais e Processos Avançados) - Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville.

DO Ó, S. W. **Análise da retenção de água em argamassas de revestimento aditivadas**. Brasília, 2004. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) – Programa de pós-graduação em Estrutura e Construção Civil, Universidade de Brasília.

FERRARIS, C. F. **Measurement of rheological properties of high performance concrete: state of the art report**.NISTIR 5869, July. 1996.

FERRARIS, C. F.; Measurement of rheological properties of hig performance concrete: state of the art report.**Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology**, v.104, n. 5, p. 461-478, Sept.-Oct. 1999.

FERREIRA, H. C., et al. **Estudo da durabilidade de argamassas alternativas contendo resíduos**. Cerâmica, v. 57, n. 344, p 395-403, 2011

FORMAGINI, Sidiclei. **Dosagem Científica e Caracterização Mecânica de Concretos de Altíssimo Desempenho**, 2005. Tese (Doutorado em ciências emengenharia civil) – COPPE - Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro/RJ. 2005.

GOMES, C.E.M.;FERREIRA, O.P.;FERNANDES, M.R .Influence of Vinyl Acetate VersaticVinylester Copolymer.**Materials Research**, Brasil, v. 8, n.1, p. 51-56, 2005.

HEWLETT .P.C., **Lea's Chemistry of Cement and Concrete**. Oxford: Ed. Butterworth-Heinemann, 2001.

HU, C.; De LARRARD, F.; GJ.RV, O. E. Rheological testing and modeling of fresh high performance concrete. **Materials and Structures**, v. 28, n. 175, p. 1-7, Jan.-Feb. 1995.

HU, C.; DE LARRARD, F.; The rheology of fresh high-performance concrete. **Cement and Concrete Research**, v. 26, n. 2, p. 283-294, Feb. 1996.

IRC - Institute for Research in Construction. **Polymer Concrete**. Em: < <http://irc.nrcnrc.gc.ca/cbd/cbd242e.html> >. Acesso em: 14/08/04b.

IRC - Institute for Research in Construction. **Polymer Modified Concrete**. Em: < <http://irc.nrcnrc.gc.ca/cbd/cbd241e.html> >. Acesso em 14/08/04a.

JALALI, Said. A study of factors affecting the mechanical behaviour of lime-fly ash mixtures. **Coventry Polytechnic**, Ph.D. Thesis, February, pp. 411, 1991.

JARNY, S.; ROUSSELB, N.; RODTSA, S.; BERTRANDA, F.; LE ROYB, R.; COUSSOTA, P. Rheological behavior of cement pastes from MRI velocimetry. **Cement and concrete Research**, v.35, p. 1873-1881, mar. 2005.

JOSHI, R. C.; LOHITA, R. P. **Fly ash in concrete**: production, properties and uses. *Advances in Concrete Technology*, Volume 2, V. M. Malhotra ed., Gordon and Breach Science Publishers, Ottawa, Ontario, Canada, pp. 269.1997.

KIHARA, Yushiro. **Estudo Técnico-Aptidão à Clinquerização de Farinhas de cimento**, São Paulo, 1983, 2 edição

KUHLMANN, L.A. Application of styrene-butadiene latex modified concrete. **Concrete International**, v.XX, n.XX, p.48-53, dec., 1987.

LACHEMI, et al. **Performance of new viscosity modifying admixtures in enhancing the rheological properties of cement past**, *Cement and Concrete Research*, 34, 185-193, (2004).

MACOSKO, Christopher W. **Rheology: principles, measurements and applications**. New York: Wiley-VCH, 1994, 550 p.

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

NASCIMENTO, C. R. **Ensaio em Reômetro Rotacional Tipo Cilindros Coaxiais**.

NASCIMENTO, C. R. **Reologia e Reometria Aplicadas ao Estudo de Polpas Minerai**s. Rio de Janeiro, Brasil: CETEM/MCT, 2008. 53 pp. (Séries Rochas e Minerais Industriais, v. 11).

NEHDI, M.; MINDESS, S.; AİTCIN, P.C.. Rheology of high-performance concrete: effect of ultrafine particles. **Cement and Concrete Research**, v. 28, n. 5, p. 687-697, May. 1998.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. São Paulo: Pini, 1982.

- NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. São Paulo: Pini, 1997. 738 p.
- OHAMA, Y. Polymer-based admixtures. **Cement and Concrete Research**, v.20, p.189-212, 1998.
- OHAMA, Y.; DEMURA, K. Pore size distribution and oxygen diffusion resistance of polymer-modified mortars. **Cement and Concrete Research**, v.21, n.2/3, p.309-15, 1991.
- OTSUBO, Y.; MIYAI, S.; UMEYA, K. Time-dependent flow of cement pastes. **Cement and Concrete Research**. v. 10, p.-638, 1980.
- PAES, I.N.L. **Avaliação do transporte de água em revestimentos de argamassa nos momentos iniciais pós-aplicação**. Brasília, 2004. Tese (Doutorado). Programa de pós-graduação em Estrutura e Construção Civil, Universidade de Brasília
- PANDOLFELLI, V. C. et al. **Dispersão e empacotamento de partículas: princípios e aplicações em processamento cerâmico**. São Paulo: Fazendo Arte, 2000. 195p.
- PANDOLFELLI, V. C, CASTRO, S. L. ; **Conceitos de dispersão e empacotamento de partículas para a produção de concretos especiais aplicados na construção civil**. Cerâmica, n . 55, p. 18-32, 2009.
- PARK C.K.; NOHB, M.H.; PARKB, T.H. **Rheological properties of cementitious materials containing mineral admixtures**. Cement and Concrete Research, v. 35, n. 5, pp. 842– 849, 2005.
- PASTES. **Cement and Concrete Research**. v. 10, p.-638, 1980.
- PEPPAS, N. A. **Structure and Applications of Poly(vinyl alcohol) Hydrogels Produced by Conventional Crosslinking or by Freezing/Thawing Methods**. Advanced in Polymer Science, v.153, p.38-65, 2000b.
- PETROU, M. F. et al. **Influence of mortar rheology on aggregate settlement**. ACI Materials Journal, v. 97, n. 4, p. 479-485, July.-Aug. 2000b
- PILEGGI, R. G., et al. **Técnicas de caracterização reológica de argamassas e-mat** - Revista de Ciência e Tecnologia de Materiais de Construção Civil, [S.n], v. 3, n. 2, p. 103-120, Novembro 2006.
- PÓVOAS, Y. V.; JOHN, V. M. **Tempo em Aberto da Argamassa Colante: Influência dos Aditivos HEC e PVA**. Boletim Técnico Escola Politécnica USP. São Paulo, 1999.
- RAGO, F.; **Características reológicas de pastas de cales hidratadas normalizadas e de cimento**. 1999. 207p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo/SP. 1999.
- REIS, J. F. A. **Determinação de Parâmetros Reológicos de Concretos Através do Ensaio de Abatimento de Tronco de Cone Modificado**: Estudo de Caso. São Paulo, 2008.

Dissertação (Mestrado) Universidade Estadual Paulista “Júlio De Mesquita Filho” Campus De Ilha Solteira; Ilha Solteira - SP, 2008.

RILEM.MR-3. **The Complex Workability – Consistence – Plasticity**. France, 1982.
Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2007.

RODRIGUES, M. P. S. F. F. **Revestimento de impermeabilização de paredes à base de ligantes minerais**. Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa – Instituto Superior Técnico (IST), 1993, 278 p.

ROSSIGNOLO, J.A. **Propriedades da argamassa de cimento Portland modificada com látex Estireno-Butadieno para revestimento de fachadas**. São Carlos, 107p. Dissertação (mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1999.

ROUSSEL, N. & Le ROY, R. **The Marsh cone: a test or a rheological apparatus?** Cement and Concrete Research, v. 35, n. 5, p. 823-830, May. 2005.

ROYER, B. et al. **Poliestireno sulfonado como aditivo em argamassas e concretos**. Polimeros: Ciência e tecnologia, vol. 15, nº 1, p. 63-67, 2005.

SANTOS, C. C. N. **Critérios de projetabilidade para as argamassas industrializadas de revestimento utilizando bomba de argamassa com eixo helicoidal**. Brasília, 2003. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) – Programa de pós-graduação em Estrutura e Construção Civil, Universidade de Brasília.

SCANDOLARA, J. P. **Propriedades de argamassas obtidas pela substituição parcial de cimento Portland por rejeitos particulados de tijolo**. Dissertação (Mestrado em Ciencia e Engenharia de Materiais) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciencias Tecnologicas – CCT, Joinville. 2010

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

SOFRÁ, F.; BOGER, D. V. Environmental rheology of waste minimisation in the minerals industry. **Chemical Engineering Journal**, v. 89, p. 319-330, 2002.

STEFFE, J. F. Rheological methods in food process engineering. 2a ed. East Lansing: 1992.

STORTE, M. **Látex estireno-butadieno – aplicação em concretos de cimento e polímero**. São Paulo: Técnica, 1991.

STRUBLE, L. et al. Rheology of cement paste and concrete. **Cement, Concrete and Aggregates**, v. 20, n. 2, p. 269-277, Dec. 1998.

TATTERSAL, G.H.; BANFILL, P.F.G. **The rheology of fresh concrete**. London: Pitman 1983, 347p.

TATTERSALL, G. H. **workability and quality control of concrete**. London: E & FN Spon, 1991b. 262p.

TAYLOR, H. F. W. **Cement Chemistry**. 2ed. London: Thomas Telford Publishing, 2003.

TAYLOR, H. F. W. **Cement Chemistry**. 2nd ed. London: Thomas Telford, 1998. 113 p.

UCHIKAWA, H; SAWAKI, D; HANEHARA, S. **Influence of kind and added timing of organic admixture on the composition, structure and property of fresh cement paste**, *Cement and Concrete Research*, 25(2), 353-364, (1995).

UHLHERR, P. H. T. et al. **The shear-induced solid-liquid transition in yield stress materials with chemically different structures**. In: *Journal of NonNewtonian Fluid Mechanics*, vol. 125, 2005, p.101-119.

WALLEVIK, O. H.; GJ.RV, O. E.; **Development of a coaxial cylinders viscometer**. 1990.

WALTERS, G. Latex hydraulic cement additives. **Transportation Research Record** 1204, p.71-6, 1988.

WALTERS, G. What are latex?. **Concrete International**, v.9, n.12, p.44-7, dec., 1987.

ZHANG, X.; HAN, J.; The effect of ultra-fine admixture on the rheological property of cement paste. **Cement and Concrete Research**, v. 30, n. 5, p. 827-830, May, 2000.