

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

Poliana Bellei

**ANÁLISE DO TEMPO DE UTILIZAÇÃO POR VISCOSIMETRIA DE
ARGAMASSAS COLANTES**

**Santa Maria, RS
2016**

Poliana Bellei

**ANÁLISE DO TEMPO DE UTILIZAÇÃO POR VISCOSIMETRIA DE
ARGAMASSAS COLANTES**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação Profissional em Engenharia Civil, Área de Concentração em Construção Civil e Preservação Ambiental, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Civil**.

Orientador: Prof. Dr. Gihad Mohamad
Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Larissa Kirchhof

Santa Maria, RS
2016

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Bellei, Poliana
ANÁLISE DO TEMPO DE UTILIZAÇÃO POR VISCOSIMETRIA DE
ARGAMASSAS COLANTES / Poliana Bellei.-2016.
111 p.; 30cm

Orientador: Gihad Mohamad
Coorientadora: Larissa Degliuomini Kirchhof
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil, RS, 2016

1. Argamassa Colante 2. Reologia da Argamassas
Colantes 3. Ensaios I. Mohamad, Gihad II. Degliuomini
Kirchhof, Larissa III. Título.

© 2016

Todos os direitos autorais reservados a Poliana Bellei. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

E-mail: polianabellei@gmail.com

Poliana Bellei

**ANÁLISE DO TEMPO DE UTILIZAÇÃO POR VISCOSIMETRIA DE
ARGAMASSAS COLANTES**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação Profissional em Engenharia Civil, Área de Concentração em Construção Civil e Preservação Ambiental, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Civil**.

Aprovado em 17 de fevereiro de 2016:

Gihad Mohamad, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Larissa Kirchhof, Dr^a. (UFSM)
(Coorientadora)

Eduardo Rizzatti, Dr. (UFSM)


Filipe Sehn Febras, Dr. (UCEFF)

Santa Maria, RS
2016

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais que sempre com dificuldades nunca deixaram de proporcionar incentivo ao meu estudo.

AGRADECIMENTOS

Inicialmente gostaria de agradecer a Deus por permitir o dom da vida e a oportunidade da conclusão de mais esta etapa.

Ao meu orientador Prof. Gihad Mohamad pelo incentivo de sempre em querer a evolução do meu conhecimento profissional. À minha coorientadora Profa. Larissa Kirchof e ao colega Luís Eduardo Modler pela dedicação na revisão do trabalho.

Aos meus colegas de Mestrado, em especial Ana Cláudia e Marcelo, pois juntos sempre conseguimos realizar um belo trabalho, adquirindo conhecimento, experiências e amizade para toda a vida.

À UFSM pela disponibilidade do uso dos laboratórios e dos materiais para os ensaios, bem como o auxílio dos técnicos sempre prestativos em relação às dúvidas sobre os procedimentos de ensaios.

Agradeço ao meu irmão Fabiano por todo apoio e ajuda financeira quando precisei.

Em especial aos meus pais, estes são os verdadeiros merecedores desta conquista.

*O maior inimigo do conhecimento não é a
ignorância, mas a ilusão do
conhecimento.*

(Stephen Hawking)

RESUMO

ANÁLISE DO TEMPO DE UTILIZAÇÃO POR VISCOSIMETRIA DE ARGAMASSAS COLANTES

AUTORA: Poliana Bellei
ORIENTADOR: Gihad Mohamad

A norma NBR 14081-1 (ABNT, 2012), estabelece parâmetros para os ensaios de tempo em aberto, resistência de aderência e deslizamento das argamassas colantes. Porém, as normas de procedimento de execução de revestimento de pisos e paredes com placas cerâmicas (NBR 13755 e NBR 13754) estabelecem 2 h e 30 min como tempo limite de utilização da argamassa colante. Com isso, para evitar os problemas de descolamento do revestimento cerâmico ao longo do tempo, faz-se necessário uma análise do comportamento reológico das argamassas colantes. A pesquisa apresenta o emprego de métodos para avaliação reológica de argamassas colantes dos tipos AC-I, AC-II e AC-III, por parâmetros de viscosidade nos tempos de 30, 180 e 300 minutos, a qual influencia diretamente na segurança ao escorregamento e na insuficiência da resistência de aderência das placas cerâmicas. Para alguns casos, a metodologia de ensaio conseguiu determinar o tempo de consolidação das argamassas colantes, indicando diferença de viscosidade com o passar do tempo. Na maioria das argamassas foi observado que as mesmas apresentam uma tendência nos tempos de 30 até 180 minutos, mas a partir disso, aos 300 minutos, suas características de comportamento são alteradas. Isso poderá causar dificuldades nas etapas de assentamento das placas cerâmicas e, posteriormente, problemas no seu desempenho e durabilidade.

Palavras-chave: Argamassa colante. Viscosidade. Tempo de utilização.

ABSTRACT

ANALISYS OF THE USAGE TIME BY VISCOMETRY OF ADHESIVE MORTAR

**AUTHOR: POLIANA BELLEI
ADVISOR: GIHAD MOHAMAD**

The Brazilian standard NBR 14081-1 (ABNT, 2012), establishes parameters for the open time test, tensile bond strength and slip resistance for adhesive mortars. However, the standards for wall and floor tiling (NBR 13755 and NBR 13754) establish 2h30min as the limit time for the adhesive mortar application. Thus, to avoid detachment of the ceramic tiles through time, an analysis of the rheological behavior of the adhesive mortars is necessary. This research evaluates the rheology of adhesive mortars types AC-I, AC-II and AC-III by viscosity parameters in the times of 30, 180 to 300 minutes, which directly influences the slip resistance and bond strength of the ceramic tiles. In some cases, the test method was able to determine the time of consolidation of adhesive mortars, indicating difference in viscosity in the course of time. Most mortars showed a tendency at the times from 30 to 180 minutes, but beyond that, at 300 minutes their performance characteristics changed. This may cause problems in the settlement stages of ceramic tiles and later in its performance and durability.

Keywords: Adhesive mortar. Viscosity. Usage time.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	Variação da retenção de água para diferentes argamassas	22
Figura 2 -	Funil de Büchner modificado	23
Figura 3 -	Forças atuantes no deslizamento das argamassas colantes	25
Figura 4 -	Força de cisalhamento aplicada em um fluido	29
Figura 5 -	Comportamento das suspensões coloidais por tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação por cisalhamento.....	30
Figura 6 -	Comportamento das suspensões coloidais por tensão de cisalhamento em função do tempo para taxa constante de cisalhamento	31
Figura 7 -	Representação da microestrutura da argamassa colante no estado fresco	34
Figura 8 -	Proposta de ensaios.....	36
Figura 9 -	Misturador mecânico (capacidade de 5 litros)	40
Figura 10 -	Aparelho Viscosímetro de <i>Brookfield</i> e componentes para ensaio	46
Figura 11 -	Sentido da imprimação do substrato padrão	50
Figura 12 -	Preparação para o ensaio de deslizamento	51
Figura 13 -	Colocação das massas-padrão sobre as placas cerâmicas.....	52
Figura 14 -	Posição vertical da placa durante 20 minutos	52
Figura 15 -	Exemplo de colocação das placas cerâmicas.....	54
Figura 16 -	Posicionamento da placa cerâmica sobre os cordões de argamassa colante.....	54
Figura 17 -	Tipos de ruptura	56
Figura 18 -	Retenção de água das argamassas colantes ACI.....	61
Figura 19 -	Retenção de água das argamassas colantes.....	62
Figura 20 -	Relação entre a viscosidade e a taxa de cisalhamento para o percurso inicial e final das argamassas colantes ACI conforme seu tempo de utilização	63
Figura 21 -	Relação entre a viscosidade e a taxa de cisalhamento para o percurso inicial e final das argamassas colantes ACII conforme seu tempo de utilização	64
Figura 22 -	Relação entre a viscosidade e a taxa de cisalhamento para o percurso inicial das argamassas colantes ACIII conforme seu tempo de utilização	66
Figura 23 -	Aplicação da velocidade controlada para o percurso inicial e final das argamassas colantes ACI de cada fabricante conforme seu tempo de utilização	68
Figura 24 -	Aplicação da velocidade controlada para o percurso inicial e final das argamassas colantes ACII de cada fabricante conforme seu tempo de utilização	69
Figura 25 -	Aplicação da velocidade controlada para o percurso inicial e final das argamassas colantes ACIII de cada fabricante conforme seu tempo de utilização	70
Figura 26 -	Relação entre a viscosidade e a taxa de cisalhamento para o percurso inicial e final das argamassas colantes ACI aos 30, 180 e 300 minutos.....	72

Figura 27 - Relação entre a viscosidade e a taxa de cisalhamento para o percurso inicial e final das argamassas colantes ACII aos 30, 180 e 300 minutos.....	73
Figura 28 - Relação entre a viscosidade e a taxa de cisalhamento para o percurso inicial e final das argamassas colantes ACIII aos 30, 180 e 300 minutos.....	74
Figura 29 - Aplicação da velocidade controlada para o percurso inicial e final das argamassas colantes ACI para os tempos de 30,180 e 300 minutos.....	75
Figura 30 - Aplicação da velocidade controlada para o percurso inicial e final das argamassas colantes ACII para os tempos de 30, 180 e 300 minutos...	76
Figura 31 - Aplicação da velocidade controlada para o percurso inicial e final das argamassas colantes ACIII para os tempos de 30,180 e 300 minutos...	77
Figura 32 - Viscosidade pela taxa de cisalhamento para todos os tipos e fabricantes com todos os tempos de ensaios.....	79
Figura 33 - Torque pela velocidade para todos os tipos e fabricantes com todos os tempos de ensaios	80

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Programa de rotações adotado para o ensaio de viscosidade da pasta	47
Gráfico 2 - Teor de finos passante na peneira 200	58
Gráfico 3 - Porcentagens retidas em cada peneira	59
Gráfico 4 - Ensaio de deslizamento – 30 minutos.....	82
Gráfico 5 - Ensaio de deslizamento para os tempos de 30, 180 e 300 minutos das argamassas colantes ACI, ACII e ACIII	83
Gráfico 6 - Ensaio de resistência de aderência à tração - 30 minutos	86
Gráfico 7 - Ensaio de resistência de aderência à tração para os tempos de 30, 180 e 300 minutos das argamassas colantes ACI, ACII e ACIII.....	87

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Propriedades fundamentais para argamassas colantes.....	21
Quadro 2 - Propriedades opcionais para argamassas colantes	21

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tipos de argamassa, seus fornecedores e porcentagem de água/materiais secos para cada argamassa colante	40
Tabela 2 - Parâmetros adotados para o ensaio das pastas utilizando o Viscosímetro de Brookfield.....	47
Tabela 3 - Relação de ensaios de viscosidade por diferentes autores	48
Tabela 4 - Resultados dos ensaios de massa específica, massa aparente, teor de finos e índice de vazios	57
Tabela 5 - Resultados dos ensaios de densidade de massa real e teor de ar das argamassas colantes	60
Tabela 6 - Resultado ensaio de deslizamento – 30 minutos	81
Tabela 7 - Resultado ensaio de deslizamento para os tempos de 30, 180 e 300 minutos.....	82
Tabela 8 - Resultado ensaio de resistência de aderência à tração - 30 minutos	86
Tabela 9 - Resultado ensaio de resistência de aderência à tração para os tempos de 30, 180 e 300 minutos	87

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AC	Argamassa Colante
ACI	Argamassa Colante do Tipo I
ACI-A	Argamassa Colante do Tipo I do Fabricante A
ACI-B	Argamassa Colante do Tipo I do Fabricante B
ACI-C	Argamassa Colante do Tipo I do Fabricante C
ACII	Argamassa Colante do Tipo II
ACII-A	Argamassa Colante do Tipo II do Fabricante A
ACII-B	Argamassa Colante do Tipo II do Fabricante B
ACII-C	Argamassa Colante do Tipo II do Fabricante C
ACIII	Argamassa Colante do Tipo III
ACIII-A	Argamassa Colante do Tipo III do Fabricante A
ACIII-B	Argamassa Colante do Tipo III do Fabricante B
ACIII-C	Argamassa Colante do Tipo III do Fabricante C
Bla	Absorção
cm	Centímetros
cm ³	Centímetros Cúbicos
cP	CentiPoise
D	Deslizamento Reduzido
d/cm ²	Deci por Centímetro Quadrado
EVA	Etil Vinil Acetílico
E	Tempo em Aberto Estendido
g	Gramas
g/cm ³	Gramas por Centímetro Cúbico
h	Hora
HEC	Hidroxietil Celulose Enxertada
kg	Kilo Grama
LMCC	Laboratório de Materiais de Construção Civil
min	Minuto
ml/kg	MiliLitros por Kilo Grama
mm	Milímetros
MPa	Mega Pascal
mPa.s	MiliPascal vezes Segundo
n°	Número
NBR	Norma Regulamentadora Brasileira
NM	Normas Mercosul
N/s	Newton por Segundo
rpm	Rotação Por Minuto
s	Segundo
sec ⁻¹	Segundo na menos um
UFSM	Universidade Federal de Santa Maria
USP	Universidade de São Paulo
°C	Graus Celsius
µm	Microns
%	Porcentagem
#	Peneira ou <i>mash</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	OBJETIVOS	18
1.1.1	Objetivo Geral.....	18
1.1.2	Objetivos Específicos	18
1.2	JUSTIFICATIVA	18
2	REVISÃO DE LITERATURA	20
2.1	ARGAMASSA COLANTE.....	20
2.1.1	Retenção de água.....	22
2.1.2	Adesão Inicial	23
2.1.3	Deslizamento	25
2.1.4	Resistência à aderência.....	26
2.1.5	Tempo em aberto	26
2.1.6	Tempo de Utilização.....	27
2.2	REOLOGIA DAS ARGAMASSAS COLANTES	28
2.2.1	Conceitos básicos sobre a reologia	28
2.2.2	Medidas de Caracterização Reológicas dos Materiais	33
2.2.3	Comportamento reológico das argamassas colantes	34
3	METODOLOGIA	36
3.1	ENSAIOS A SECO	37
3.1.1	Massa Específica.....	37
3.1.2	Densidade de massa aparente	38
3.1.3	Granulometria.....	38
3.1.4	Teor de Finos.....	39
3.2	ENSAIOS NO ESTADO FRESCO	39
3.2.1	Densidade de massa fresca e teor de ar incorporado	41
3.2.2	Retenção de água.....	42
3.3	ENSAIOS FÍSICOS E MECÂNICOS	44
3.3.1	Viscosidade	45
3.3.2	Ensaio de deslizamento.....	49
3.3.3	Ensaio de resistência de aderência à tração	53
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	57
4.1	CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS A SECO	57
4.1.1	Massa específica aparente e teor de finos.....	57
4.1.2	Análise granulométrica.....	58
4.2	ENSAIOS NO ESTADO FRESCO	59
4.2.1	Densidade de massa fresca e teor de ar incorporado	59
4.2.2	Retenção de água.....	60
4.2.3	Ensaio de Viscosidade da pasta em relação ao tempo de utilização	62
4.2.4	Ensaio de deslizamento.....	81
4.2.5	Resistência de aderência à tração.....	85
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	90
5.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	92
	BIBLIOGRAFIA	93
	APÊNDICE	98

1 INTRODUÇÃO

Ao analisar o progresso do Brasil no setor imobiliário nos últimos anos é importante relatar as oportunidades disponíveis à população, por meio de programas sociais, como o “Minha Casa Minha Vida” desenvolvida pelo governo federal para a obtenção da casa própria. Impulsionada por isso, ocorreu uma explosão na indústria da construção civil e, conseqüentemente, a comercialização dos materiais envolvidos nos processos construtivos. Em 2013, por exemplo, o Brasil se tornou o segundo maior produtor e consumidor de revestimentos cerâmicos. Em janeiro de 2015, apesar da retração nas vendas típica nesse período do ano, foram apresentados resultados mais favoráveis que em janeiro de 2014 para o mesmo material (ANFACER, 2015).

Atrelado ao avanço das construções, estimulado pelo mercado cerâmico, o interesse não só se faz na comercialização desse material, mas nos demais que agregam a realização desse serviço. Um dos materiais que fortaleceu muito o processo de industrialização do mercado cerâmico, em termos de controle e tecnologia em sua fabricação, é a argamassa colante utilizada no assentamento de placas cerâmicas.

Segundo Carasek (2010), as argamassas colantes possuem a função de unir a peça cerâmica ao substrato e suportar deformações naturais que, possivelmente, ocorrerão no revestimento cerâmico. Para isso, o material necessita atender os requisitos de trabalhabilidade, aderência e capacidade de absorver deformações.

Na obra, o aplicador determina por meio de aspectos sensoriais a mistura ideal e tempo de aplicabilidade do produto, classificando as argamassas em: leve, pesada, macia, áspera, com liga, entre outras (KUDO, 2012). Essas definições são subjetivas e não determinam a capacidade de aplicação do produto, por se tratar de uma avaliação empírica, sujeita a erros, considerando que cada aplicador tem uma concepção sobre o produto.

Tendo seu uso baseado na experiência do aplicador, alguns erros recorrentes parecem acarretar o desenvolvimento de manifestações patológicas. Um exemplo bem comum para se avaliar esse fenômeno é o deslocamento entre a cerâmica e a argamassa cola, devido à perda de aderência nessa interface.

Segundo Just e Franco (2001), a falta de aderência na interface argamassa cola/placa cerâmica pode ser causada por problemas executivos ou de ruptura nesta

região. O deslocamento ainda pode acontecer na interface argamassa cola/substrato, onde as ligações não conseguem resistir às tensões geradas nesse local.

A falta de capacidade aderente do material pode ser justificada por diversos fatores, entre eles: desempenho insuficiente do material; aplicação incorreta do operário; execução de painéis muito amplos de argamassa desrespeitando o seu tempo em aberto; utilização do material por um longo período após a mistura da argamassa com a água; e, ainda, a fluidez da argamassa influenciada pela quantidade de água adicionada à mistura, a qual conseguirá ou não resistir e aderir à placa cerâmica, sem escorregar (COSTA, 2006).

Para evitar os problemas de deslocamento do revestimento cerâmico ao longo do tempo, faz-se necessária uma análise do comportamento reológico das argamassas colantes. Essa verificação é fundamental para analisar a facilidade de aplicação e formação dos cordões do material, já que o mesmo é utilizado em seu estado fresco, para execução dos revestimentos (COSTA, 2006).

A argamassa colante, classificada pela norma NBR 14081-1 (ABNT, 2012), estabelece parâmetros para os ensaios de tempo em aberto, resistência de aderência e deslizamento. Em relação ao ensaio de deslizamento, pode-se ressaltar que este é o único ensaio realizado no estado fresco, seu estudo se torna importante, uma vez que o método de ensaio não se apresenta eficaz e é realizado de forma manual, principalmente nas leituras dos eventuais deslocamentos que a placa cerâmica pode sofrer. Para melhorar a avaliação do deslizamento, de acordo com Silva (2003), é importante que estudos abordem propriedades reológicas da argamassa.

Com isso, a pesquisa a seguir apresenta o emprego de métodos para avaliação reológica de argamassas colantes, por parâmetros de viscosidade, a qual influencia diretamente na segurança ao escorregamento e na insuficiência da resistência de aderência das placas cerâmicas, conforme seu tempo de utilização.

1.1 OBJETIVOS

A seguir serão apresentados o objetivo geral e os específicos que deram rumo a essa pesquisa.

1.1.1 Objetivo geral

Relacionar os requisitos de desempenho das argamassas colantes ACI, ACII e ACIII, com o seu comportamento reológico por viscosimetria, obtendo como parâmetro o tempo de utilização.

1.1.2 Objetivos específicos

- Avaliar o comportamento reológico por viscosidade de cada argamassa colante ao longo do tempo de utilização;
- Analisar a relação entre o ensaio de deslizamento e de resistência de aderência à tração com a viscosidade apresentada pelas argamassas colantes com o passar do tempo de utilização;

1.2 JUSTIFICATIVA

A proposição deste trabalho se justifica em procurar entender o comportamento reológico por viscosimetria, usando como parâmetro o tempo de utilização das argamassas colantes do tipo ACI, ACII e ACIII, de diferentes fornecedores existentes no mercado. Como as argamassas são aplicadas em seu estado fresco, conhecer seus parâmetros reológicos são fundamentais para o meio técnico.

No entanto, poucas pesquisas são encontradas sobre a reologia e estudos que analisam os diferentes tipos comerciais de argamassas, classificadas conforme os ambientes a serem construídos. Alguns autores como Silva (2003), Costa (2006), Cardoso (2009), Kudo (2012), Petit; Wirquin (2013) e Mechtchrine, *et al* (2015) realizaram ensaios sobre a reologia dos materiais, mas não relacionaram seus resultados com o desempenho dos produtos.

Outro aspecto importante a ser avaliado é o tempo de utilização da argamassa, sendo contado a partir do início da mistura do material com a água e avaliado por meio do comportamento reológico. Dessa forma, propõe-se a metodologia da realização do ensaio de viscosidade da pasta das argamassas, juntamente com os resultados dos ensaios de deslizamento e de resistência de aderência ao longo do tempo, com o intuito de entender melhor o fenômeno existente entre as interfaces, para as diferentes argamassas colantes propostas no trabalho.

2 REVISÃO DE LITERATURA

A seguir será apresentada a fundamentação teórica que embasa essa pesquisa.

2.1 ARGAMASSA COLANTE

As argamassas colantes são constituídas basicamente por agregados minerais (areia), aglomerantes (cimento), água e aditivos. Os agregados constituem a parte sólida da argamassa, envolvidos por um líquido viscoso composto por cimento, aditivos e por frações menores de 0,075 mm dos agregados, formando a pasta ou matriz. Isso se torna importante para entender o complexo comportamento reológico, tanto pela relação de materiais constituintes no processo de mistura, como também, pelas solicitações que devem atender durante seu preparo e aplicação no estado fresco e, posteriormente, em idades mais avançadas, no estado endurecido (COSTA, 2006).

Diferente das argamassas tradicionais, as argamassas colantes utilizam aditivos especiais em sua composição, entre eles os látex poliméricos de Etil Vinil Acetílico (EVA) e éteres de celulose Hidroxietil Celulose Enxertada (HEC), no intuito de que se obtenham melhorias em suas propriedades físicas tanto no estado fresco como endurecido. A trabalhabilidade e a retenção de água são modificadas pela presença de éteres de celulose HEC, já o aumento da adesividade ao revestimento cerâmico e a capacidade de deformação da argamassa no estado endurecido, são responsabilidades do aditivo látex poliméricos de EVA (SILVA; ROMAN, 2002).

A principal função da argamassa colante é servir de adesivo para o assentamento de revestimentos em pisos e paredes, de materiais, tais como, cerâmica, porcelanato, granitos e mármore. Esses materiais, geralmente, são aplicados sobre um determinado tipo de substrato, entre eles concreto, cerâmica e gesso acartonado (*drywall*) (KUDO, 2012).

As argamassas colantes (AC) industrializadas para assentamento de placas cerâmicas são classificadas a partir da NBR 14081-1 (ABNT, 2012). Elas podem ser do tipo, AC-I, AC-II, AC-III e ainda acrescidas das letras E (em função do tempo em aberto estendido) e/ou D (em função do deslizamento reduzido). A argamassa do tipo ACI é indicada para o uso em locais internos, não sujeitos ao tráfego de cargas,

vibrações e variações térmicas. Já a argamassa do tipo ACII é utilizada em ambientes internos e externos, sujeitos à chuva e sol ou cargas geradas pelo movimento de pessoas ou máquinas e equipamentos leves. A argamassa do tipo ACIII é recomendada para ambientes externos e apresenta aderência superior em relação às outras argamassas, pois possui em sua composição a adição de polímeros vinílicos, acrílicos, entre outros, que auxiliam na melhoria do seu desempenho.

Conforme a norma NBR 14081-1 (ABNT, 2012), no Quadro 1 estão descritas as propriedades fundamentais e no Quadro 2 as propriedades opcionais para argamassas colantes.

Quadro 1 - Propriedades fundamentais para argamassas colantes

Requisito	Método de ensaio	Unidade	Critério		
			ACI	ACII	ACIII
Tempo em Aberto	ABNT NBR 14081-3	min	≥ 15	≥ 20	≥ 20
Resistência de aderência a tração aos 28 dias, função do tipo da cura	Cura normal Cura submersa Cura em estufa ABNT NBR 14081-4	MPa	≥0,5 ≥0,5	≥0,5 ≥0,5 ≥0,5	≥ 1,0 ≥ 1,0 ≥ 1,0

Fonte: Adaptado da NBR 14081-1 (ABNT, 2012).

Quadro 2 - Propriedades opcionais para argamassas colantes

Requisito	Método de ensaio	Critério
Tempo em Aberto estendido (E)	ABNT NBR 14081-3	Argamassa do Tipo I, II e III, com tempo em aberto estendido no mínimo 10 min além do especificado como propriedade fundamental.
Deslizamento reduzido (D)	ABNT NBR 14081-5	Argamassa do Tipo I, II e III, com deslizamento menor ou igual a 2mm
As siglas "E" e "D" relativas respectivamente às propriedades opcionais de "tempo em aberto estendido" e "deslizamento reduzido", devem estar marcadas nas embalagens das argamassas colantes destinadas a atender a tais propriedades, conforme seção 6.		

Fonte: Adaptado da NBR 14081-1 (ABNT, 2012).

A propriedade no estado fresco da argamassa, que determina a facilidade com que ela pode ser misturada, transportada e aplicada em condição homogênea é denominada trabalhabilidade. Atreladas a essa propriedade a retenção de água,

adesão inicial, deslizamento e tempo em aberto são as demais características que afetam o desempenho das argamassas colantes.

Desse modo, a partir do conhecimento do comportamento das argamassas colantes no estado fresco, é possível identificar maneiras de melhorar sua aplicação, e influenciar no seu estado endurecido, minimizando patologias nos revestimentos, como problemas de aderência. Além disso, as propriedades do material possuem grande importância no processo de execução dos revestimentos, em questões estéticas e na vida útil do revestimento final (CARDOSO; JOHN; PILEGGI, 2009).

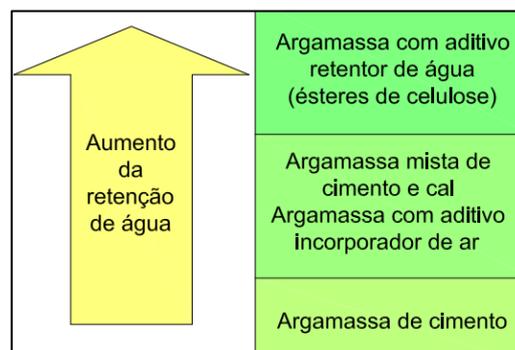
2.1.1 Retenção de água

O comportamento reológico das argamassas é influenciado diretamente pela quantidade de água presente nos processos de mistura e endurecimento. Além de promover as reações de hidratação dos aglomerantes, a água afeta a viscosidade e as propriedades de trabalhabilidade, além da capacidade de aderência entre o substrato e a argamassa (KHAYAT, 1998).

A capacidade de retenção de água das argamassas colantes no estado fresco é um dos mais importantes requisitos desse material, pois permite manter sua trabalhabilidade e consistência, até mesmo em situações que provocam perda de água de amassamento, tanto pela absorção do substrato como pela evaporação (CINCOTTO *et. al.*, 1995; CARASEK, 2010).

Na Figura 1, está ilustrado o aumento da retenção de água para diferentes argamassas que, segundo Carasek (2010), é influenciada pela composição do material.

Figura 1 - Variação da retenção de água para diferentes argamassas



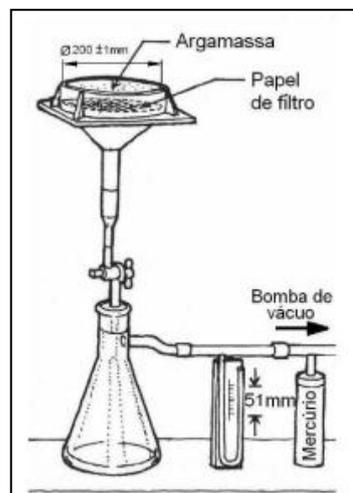
Fonte: Adaptado de CARASEK (2010).

A influência dos aditivos na capacidade de retenção de água das argamassas pode ser explicada por alguns fatores que atuam em conjunto na mistura. Conforme se aumenta a quantidade de aditivo na composição, a viscosidade do material também irá aumentar. Através da ação do aditivo na mistura, a saída da água é impedida pela formação de um filme polimérico que produz um efeito selante sobre os poros da argamassa, isso acaba influenciando diretamente na aderência dos revestimentos, no seu estado endurecido (MANSUR, 2007; OHAMA, 1995).

Sem a adição de um polímero que possua capacidade de reter água e que garanta coesão, a formação dos cordões da argamassa colante acaba sendo dificultada, bem como os espaços para a movimentação dos agregados na lubrificação do sistema (COSTA, 2006).

A NBR 13277 (ABNT, 2005) possui as recomendações para a determinação da retenção de água de argamassas convencionais. O processo é realizado por meio de um funil de filtragem (funil de Büchner modificado), o qual recebe uma amostra de argamassa que sofre sucção através de uma bomba de vácuo à baixa pressão. O equipamento utilizado para o ensaio está ilustrado na Figura 2.

Figura 2 - Funil de Büchner modificado



Fonte: (CARASEK, 2010).

2.1.2 Adesão Inicial

Para Carasek (2010), a adesão inicial pode ser chamada de "pegajosidade", ou seja, é a capacidade da argamassa em seu estado fresco de aderir a um certo

tipo de substrato. Essa característica é de grande importância por estar diretamente vinculada aos parâmetros reológicos da pasta, principalmente em relação à tensão superficial. Dessa forma, quanto menor for a tensão superficial da pasta, menor será o ângulo de contato entre as superfícies e, por consequência, melhor será "molhada" a área da base. Com isso, ocorre um aumento na adesão, pois maior será o contato físico entre as partículas de agregado e a pasta e o substrato.

Inclusive quanto mais próximo a zero for o ângulo de contato entre os componentes da argamassa colante e a placa, melhores serão desempenhadas suas propriedades de trabalhabilidade e plasticidade para o espalhamento do material sobre a superfície (ALMEIDA, 2005).

Através do lançamento manual ou mecânico da argamassa no estado fresco, a argamassa deve permanecer unida ao substrato, esse fenômeno recebe o nome de adesão inicial e é gerado pela soma de interações intermoleculares nas superfícies de contato, resultando em uma força de atração entre moléculas distintas, entre elas: força capilar; força de Van der Waals e força eletrostática (CARASEK, 1997; PÓVOAS, 2005; PEREIRA, 2012).

Segundo Moreno Júnior e Selmo (2007), os princípios do desenvolvimento da aderência do material se concretizam em dois pontos diferentes, contínuos e associados, sendo eles: a adesão inicial e a aderência. O que diferencia uma da outra, é que a adesão inicial acontece no lançamento da argamassa fresca sobre o substrato e a aderência ocorre durante o processo de hidratação dos aglomerantes contidos na argamassa, o que prevalecerá durante a sua vida útil.

A aderência instantânea (adesão) da argamassa acontece pelo vácuo que se forma no processo de deformação, após a projeção do material sobre a superfície do substrato. Esse fator é condicionado basicamente por características de coesão e de plasticidade do material aplicado (RECENA, 2008).

Os preenchimentos insuficientes nas interfaces da placa cerâmica, argamassa colante e substrato podem acarretar descolamentos do revestimento durante o seu tempo de utilização (COSTA, 2006). Por isso, a importância no momento da execução de uma adesão inicial adequada, pois, posteriormente essas falhas acarretarão no aparecimento de patologias no revestimento.

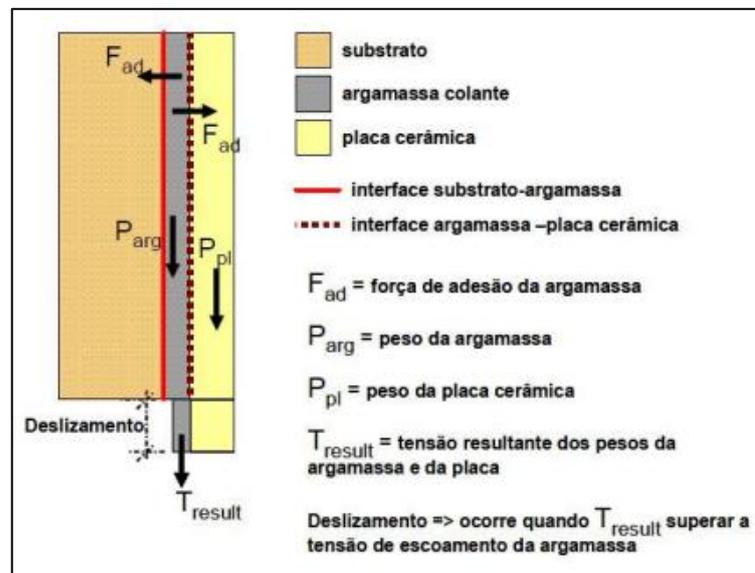
2.1.3 Deslizamento

Segundo a NBR 14081-1 (ABNT, 2012), a ocorrência do deslizamento de uma placa cerâmica é a medida do deslocamento vertical que ela sofre por ação do seu peso próprio, quando é aplicada sobre a argamassa colante, ainda no estado fresco.

Para definir a ocorrência do deslizamento, basta relacioná-lo com a tensão de escoamento do material. Quando a tensão de escoamento da argamassa é inferior à tensão resultante dos pesos da argamassa e da placa cerâmica, essa ação irá ocorrer. A velocidade com que a argamassa sofrerá o escorregamento dependerá diretamente da viscosidade que ela possui (COSTA, 2006).

Na Figura 3, observa-se as forças atuantes no deslizamento da argamassa colante.

Figura 3 - Forças atuantes no deslizamento das argamassas colantes



Fonte: (COSTA, 2006).

A NBR 14081-5 (ABNT, 2012) possui as recomendações para o ensaio de deslizamento, o qual é realizado sobre um substrato padrão, com a aplicação da argamassa cola sobre ele e formados cordões no sentido paralelo à menor dimensão do substrato. São assentadas sobre os cordões três placas cerâmicas de 100x100x8,9 mm, com 195 g e, em seguida, colocado o conjunto formado pelo substrato/argamassa cola/placa cerâmica na posição vertical, para verificação do

deslizamento. De acordo com a norma, o deslizamento máximo especificado para todas as classes de argamassa colante é de 0,7 mm.

Para Costa (2006), esse valor de deslizamento máximo, estabelecido para todas as classes de argamassa colante, apresenta certa deficiência, sendo necessária uma análise mais aprofundada sobre o comportamento do material. Com isso, a utilização de técnicas para caracterização das argamassas no estado fresco, baseado em conceitos reológicos, como o ensaio de viscosidade e *squeeze flow*, contribuem para um melhor entendimento e controle do fenômeno do deslizamento.

2.1.4 Resistência à aderência

O revestimento cerâmico deve apresentar desempenho adequado durante a sua vida útil. Essa característica depende de questões executivas, onde é necessária a utilização da argamassa colante entre o substrato e a placa cerâmica para realizar o assentamento do revestimento, de modo a formar interfaces distintas, que apresentem aderência entre si.

Segundo Costa (2006), a facilidade de formação dos cordões de argamassa no tardo da placa depende da viscosidade do material, porém não se garante que a argamassa preencherá toda a extensão do tardo da placa, sendo importante, nesse caso, a pressão exercida pelo aplicador na placa, colocada sobre a argamassa, no momento da execução.

Nem sempre, na prática, consegue-se produzir argamassas com viscosidade adequada para garantir aderência e evitar o deslizamento da placa cerâmica. Isso acontece, pois as argamassas colantes produzidas possuem pouca ou muita viscosidade (COSTA, 2006).

A NBR 14081-4 (ABNT, 2012) possui as especificações para determinar a resistência de aderência, por meio do arrancamento à tração simples das argamassas colantes industrializadas, as quais contribuem para o assentamento de placas cerâmicas em pisos e paredes.

2.1.5 Tempo em aberto

Para análise da propriedade do tempo em aberto de uma argamassa colante, é necessário entender o maior intervalo entre a aplicação do material sobre o

substrato e o assentamento da placa cerâmica. Nesse intervalo analisado, deve-se levar em consideração, os parâmetros necessários para uma adequada resistência de aderência.

Após a passagem do tempo em aberto do material, ocorre a formação de uma película que interfere na adesão inicial da argamassa colante com a placa, diminuindo a sua aderência e, conseqüentemente, podendo levar ao descolamento. Para Póvoas (1999), essa película é formada pela separação superficial da água da argamassa por evaporação e sucção. Entre os fatores que podem influenciar na velocidade de geração dessa película, estão: velocidade do vento, temperatura, umidade relativa, quantidade de água e quantidade de aditivos poliméricos presentes na composição da argamassa (SILVA, 2003).

A norma NBR 14081-3 (ABNT, 2012) possui as especificações para realização do ensaio do tempo em aberto das argamassas colantes, a qual não menciona procedimento algum de rompimento da película superficial. Já as normas de procedimento de execução de revestimentos de pisos e paredes com placas cerâmicas, NBR 13753; 13754; 13755 (ABNT, 1996), estabelecem que as placas cerâmicas devem ser assentadas ligeiramente fora da posição correta e arrastadas perpendicularmente sobre os cordões de argamassa até a posição desejada, gerando o rompimento da película e promovendo a aderência.

2.1.6 Tempo de Utilização

O tempo decorrido, a partir do contato da argamassa anidra com a água de amassamento, é denominado tempo de utilização do material ao substrato. Esse tempo útil é dependente de fatores derivados da composição do material e de condições ambientais de preparação, até a sua aplicação. Se o tempo de pega for relacionado ao tempo de utilização, pode-se dizer que, quanto menor for o tempo de pega do cimento que compõe as argamassas, menor será seu tempo de utilização (SILVA, 2003).

O tempo de utilização das argamassas não é especificado pela norma NBR 14081-1 (ABNT, 2012). Entretanto, as normas NBR 13753, 13754 e 13755 (ABNT, 1996) descrevem o procedimento de execução de revestimentos de pisos e paredes com placas cerâmicas e estabelece o tempo limite de utilização como 2h30min. O

tempo útil da argamassa colante ainda pode estar indicado na embalagem e catálogos dos fabricantes dos produtos, no intervalo de tempo entre 2h e 3h.

2.2 REOLOGIA DAS ARGAMASSAS COLANTES

2.2.1 Conceitos básicos sobre a reologia

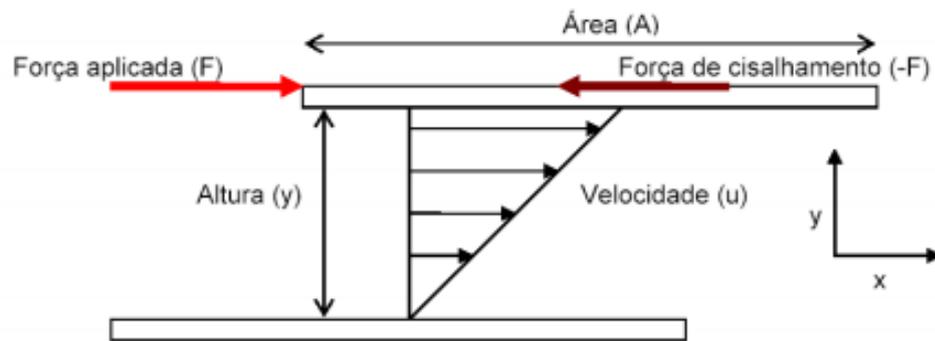
A reologia é a ciência que estuda a deformação ou fluxo de um material, quando submetido a esforços externos, relacionando a tensão de cisalhamento aplicada e a deformação em um determinado tempo (GLATHOR; SCHWEIZER, 1994).

De acordo com Machado (2002), a característica dos materiais *elásticos*, *viscosos* e *viscoelásticos*, são:

- Elástico: o sólido elástico ideal se deforma elasticamente, ou seja, toda energia aplicada na deformação é recuperada quando o esforço externo é retirado;
- Viscoso: o fluido viscoso ideal, líquidos e gases, a energia requerida para a deformação é dissipada sob forma de calor e não pode ser recuperada pela remoção da tensão, ou seja, se deformam irreversivelmente;
- Viscoelástico: apresenta comportamento viscoso e elástico, a energia pode ser acumulada e dissipada.

Um conceito importante, no caso da reologia, é o cisalhamento. Um sólido elástico apresenta deformação proporcional à tensão aplicada, já um fluido viscoso sofre cisalhamento, em que o escoamento de suas camadas possui velocidades que variam em função da distância entre elas (ANDRADE, 2007). De acordo com Andrade (2007), para tentar analisar essa propriedade, que relaciona a tensão e a taxa de cisalhamento (deformação), pode-se admitir um determinado fluido presente entre duas placas planas e paralelas, com área igual a "A" e separadas por uma distância "y". Na placa superior se aplica uma força "F", a qual é deslocada por uma velocidade "u", enquanto a placa inferior permanece fixa. A Figura 4 ilustra essa ocorrência.

Figura 4 - Força de cisalhamento aplicada em um fluido



Fonte: (ANDRADE, 2007).

Após a aplicação da força "F", será gerada uma força de mesma intensidade, mas com sentido contrário (-F), que corresponde à força de cisalhamento existente, devido ao atrito causado pela coesão do fluido com as paredes da placa. Por sua vez, a força de cisalhamento ocasiona um gradiente de velocidade ou taxa de cisalhamento (du_x/dy) entre as placas.

A constante que relaciona as variáveis tensão e taxa de cisalhamento é chamada de viscosidade de um fluido e indica a facilidade de um material escoar continuamente, sob a ação de uma tensão necessária para impor uma taxa de velocidade constante (STEFFE, 1996; OLIVEIRA *et al.*, 2000), e pode ser representada pela equação 1. Todo fluido, que satisfaça a relação linear existente entre a tensão de cisalhamento na direção "x" e o gradiente de velocidade (taxa de cisalhamento), é considerado um fluido ou material Newtoniano (FERRARIS, 1996).

$$\tau = \frac{F}{A} = \eta \frac{du_x}{dy} = \eta \gamma \quad (1)$$

onde:

τ : tensão de cisalhamento (Pa=N/m²);

η : coeficiente de viscosidade do material (Pa.s);

du: direção (m);

dy: gradiente de velocidade (m/s);

γ : gradiente de velocidade ou a taxa de cisalhamento (s⁻¹);

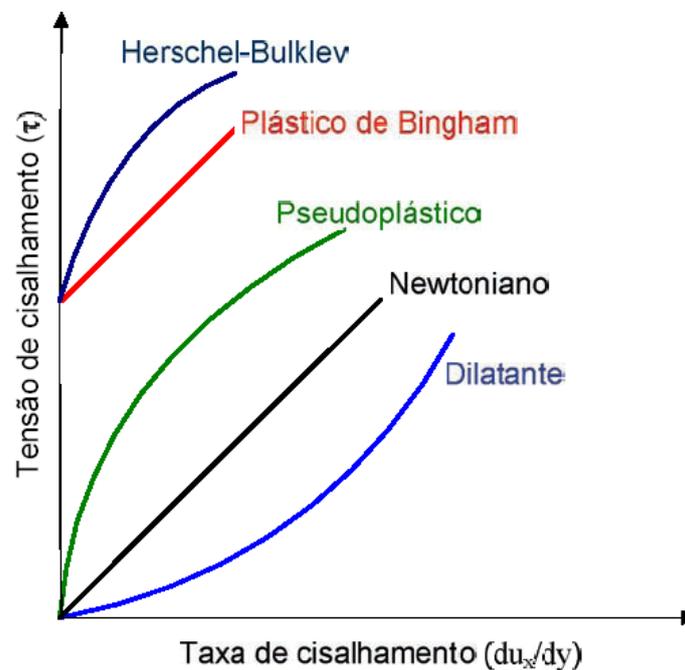
A: área;

F: força.

No caso das argamassas, por possuírem elevadas concentrações de partículas, sua interação acontece mais intensamente, fazendo com que a reologia do sistema não seja proporcional, como a indicada pelo modelo ideal de Newton, possuindo um comportamento não linear (não newtonianos) (CARDOSO, 2009).

O escoamento dos materiais newtonianos e não newtonianos pode ser visualizado na Figura 5, por meio da representação das curvas de fluxo.

Figura 5 - Comportamento das suspensões coloidais por tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação por cisalhamento



Fonte: (ANDRADE, 2007).

Os fluidos não newtonianos possuem sua taxa de cisalhamento não proporcional à taxa de deformação. De acordo com Andrade (2007), os fluidos não Newtonianos são classificados em não dependentes e dependentes do tempo.

Conforme Andrade (2007), os fluidos não dependentes do tempo são:

- Fluido Bingham (plásticos): apresentam pseudoplasticidade ou dilatância com tensão de escoamento (exemplo: a argamassa);
- Fluido pseudoplástico: a viscosidade do sistema diminui com o aumento da taxa de cisalhamento (exemplo: a pasta);
- Fluido dilatante: acréscimo da viscosidade com a taxa de cisalhamento.

Os "fluidos de Bingham" são considerados como os que possuem a tensão de escoamento mais simples, expresso pela equação 2. A tensão de escoamento dos "fluidos de Bingham" equivale à tensão aplicada em condições muito próximas a taxas nulas de cisalhamento (COSTA, 2006).

$$\tau = \tau_0 + \eta \dot{\gamma} \quad (2)$$

onde:

τ : tensão de cisalhamento (Pa);

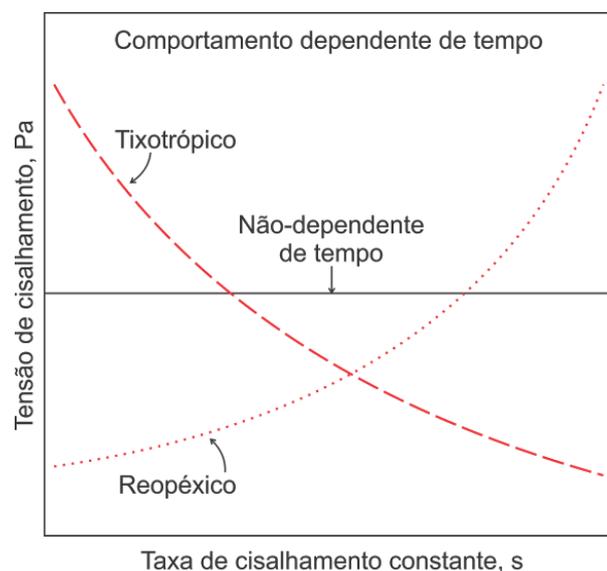
τ_0 : tensão de escoamento (Pa);

η : viscosidade do material (Pa.s);

$\dot{\gamma}$: taxa de cisalhamento (s^{-1});

Para os materiais não newtonianos dependentes do tempo, suas propriedades variam com a tensão de cisalhamento e no tempo de aplicação dessa tensão. Podem apresentar tixotropia, ou seja, uma diminuição da viscosidade com o tempo de aplicação da tensão de cisalhamento constante, ou reopexia, a ocorrência do aumento da viscosidade em função do tempo da taxa de cisalhamento constante (ANDRADE, 2007). Esse comportamento pode ser observado na Figura 6.

Figura 6 - Comportamento das suspensões coloidais por tensão de cisalhamento em função do tempo para taxa constante de cisalhamento



Fonte: (STEFFE, 1996).

Ainda, quando aplicadas as taxas de cisalhamento variáveis, por exemplo, aumentando e diminuindo com o passar do tempo, os fluidos com comportamento reológico dependentes do tempo formam uma curva de taxa de cisalhamento pela tensão de cisalhamento com área de histerese (STRUBEL; JI, 2001; BETIOLI, 2007).

Em fluidos tixotrópicos observa-se que no aumento da taxa de cisalhamento os valores de tensão de cisalhamento são maiores, enquanto que no percurso final desacelerado os valores diminuem. Para os fluidos reopéxicos o percurso inicial (aumento da taxa de cisalhamento) os resultados de tensão de cisalhamento são menores, quando comparados aos valores finais (diminuição da taxa de cisalhamento) (BARBOSA, 2010).

Os fluidos tixotrópicos quando submetidos ao aumento da taxa de cisalhamento sofrem desaglomeração das partículas floculadas, com a diminuição dessa taxa, o fluido apresenta menor resistência ao fluxo. Assim, os valores resultantes da tensão de cisalhamento são menores, pois os agregados formados foram destruídos (BARBOSA, 2010).

Segundo Banfill (2005), no comportamento tixotrópico, o que pode acontecer com o tempo é a refloculação da estrutura, a qual foi rompida anteriormente causando o efeito reversível.

Já no comportamento reopéxico tem-se a construção da estrutura, gerada pela quebra da estrutura, podendo ser reversível ou não, ou ainda por efeitos cinéticos e interações moleculares (MALKIN, 1994).

Contudo, o comportamento de um fluido dependente do tempo é altamente controlado, no geral, pelas imposições submetidas na análise da reologia (OLIVEIRA, 2000).

Segundo Costa (2006, p.17):

Para definir o comportamento reológico de fluidos não newtonianos, como concretos, argamassas e pastas, deve ser obtida a curva de comportamento reológico e os parâmetros reológicos fundamentais: a viscosidade e a tensão de escoamento (COSTA, 2006, p.17).

O comportamento reológico de diferentes pastas de cimento é altamente dependente de fatores influenciados pelo procedimento do ensaio, composição

química do material, taxa de cisalhamento e diferentes compósitos na mistura do material.

2.2.2 Medidas de Caracterização Reológicas dos Materiais

Apesar do vasto uso e da facilidade de execução dos ensaios utilizados para caracterização das argamassas no estado fresco, estes apresentam restrições conceituais não proporcionando um adequado entendimento do seu comportamento reológico. Entre eles, pode-se citar o uso dos ensaios que caracterizam os parâmetros de consistência das argamassas no estado fresco, normalmente medidos pela mesa de espalhamento *flow table* e de penetração de uma esfera padrão *dropping ball* (BANFILL, 2005; SILVA *et al* 2005). Ambos não levam em consideração parâmetros de tensão de escoamento e viscosidade nos ensaios.

Considerando as limitações impostas pelos ensaios para análise do comportamento reológico, utilizam-se técnicas baseadas na reometria (BANFILL, 2005). A reometria rotacional é destinada à avaliação de propriedades reológicas dos fluidos (VAN DEN BRULE *et al*, 1992; STEFFE, 1996). Por meio desse equipamento, parâmetros como viscosidade e tensão de escoamento dos fluidos podem ser determinados. Isso pode acontecer, tanto pela fixação de um torque controlado ao fluido com medida do cisalhamento resultante, ou ainda, pela aplicação do cisalhamento, avaliando o torque necessário ao final (PILEGGI, 2001). A relação entre a tensão e a taxa de cisalhamento define o comportamento reológico dos materiais viscosos. Para a caracterização reológica de pastas, geralmente se utiliza o viscosímetro de *Brookfield*, o qual mede a viscosidade pela fixação de rotação controlada.

Outro ensaio que caracteriza a reologia do fluido é conhecido como *Squeeze flow*, que determina, por meio do escoamento do material no decorrer da aplicação de uma carga de compressão, o esforço necessário para comprimir um corpo de prova cilíndrico de uma suspensão entre duas placas paralelas, possibilitando a simulação de esforços semelhantes aos gerados na prática de revestimentos de paredes.

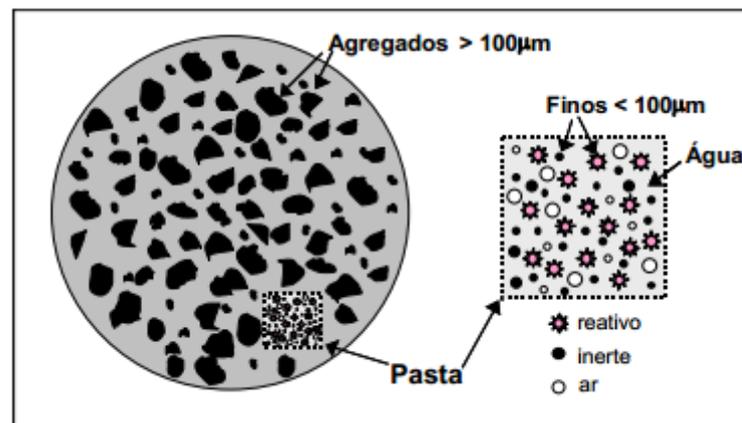
Assim, o estudo do comportamento reológico das argamassas colantes contribui, cada vez mais, para a fabricação de produtos que apresentam produtividade e facilidade no instante da mistura e aplicação no estado fresco.

2.2.3 Comportamento reológico das argamassas colantes

Segundo Cardoso (2009), as argamassas podem ser identificadas como materiais multifásicos pelo fato de possuírem várias composições (adição de pozolanas, fíller, fibras, teor de ar incorporado). Com isso, estão sujeitas à apresentar um comportamento reológico complexo, tanto pela natureza multifásica e reativa, como também pelas solicitações que são submetidas durante o processo de preparo e aplicação.

Os fluidos mais considerados em estudos reológicos são os líquidos, as emulsões e as suspensões de partículas. A microestrutura das argamassas pode ser comparada à das suspensões, sendo formada por uma fração de partículas grandes e inertes, com tamanho de aproximadamente 100 μm a 2 mm (areia), envolvidos por uma pasta reativa de água e partículas finas, como o cimento e os aditivos, com dimensões menores que 100 μm (CARDOSO, 2009; COSTA, 2006). A Figura 7 representa o esquema microestrutural da argamassa colante.

Figura 7 - Representação da microestrutura da argamassa colante no estado fresco



Fonte: (CARDOSO, 2009).

Por se tratar de uma suspensão (sólido/líquido), por meio da Figura 7 é possível observar o conjunto formado pela matriz ou pasta e os agregados. A matriz ou pasta garante coesão ao sistema, bem como a lubrificação e espaço para a movimentação dos agregados. Logo, quando se aumenta o teor de pasta, diminui-se o contato entre os agregados, portanto, o fluido escoará com maior facilidade, sendo a fluidez conduzida pela viscosidade da pasta (COSTA, 2006).

Entretanto, quando a quantidade de sólidos aumenta, estes atuam como unidades resistentes ao fluxo, dificultando o escoamento do fluido e aumentando a viscosidade (PILEGGI, 2001). A maior proporção de sólidos na mistura, em relação à quantidade de água, provoca maior interferência entre as partículas, dificultando a fluidez.

Esse conceito cabe tanto para argamassas, onde o agregado miúdo está envolto pela pasta de cimento, como para as pastas de cimento, onde as partículas do cimento estão mergulhadas na água da mistura. Com isso, deve-se ter um teor adequado de água, para o envolvimento dos sólidos, sendo importante o estudo do comportamento reológico do fluido.

3 METODOLOGIA

O presente trabalho procurou estudar argamassas colantes industrializadas dos tipos ACI, ACII, e ACIII, de três fornecedores diferentes, selecionados em função do maior uso e disponibilidade no mercado de Santa Maria - RS.

A influência da reologia das argamassas colantes ao longo do tempo, no estado fresco, será a variável fundamental para a determinação do deslizamento e, posteriormente, para a determinação da resistência de aderência. Para que isso seja possível, estão apresentados, ao longo do capítulo, os ensaios que foram realizados no LMCC/UFSC (Laboratório de Materiais de Construção Civil), com vistas à caracterização do material, bem como à definição das variáveis em estudo, para posterior observação e interpretação dos resultados obtidos.

O resumo dos ensaios realizados para caracterização física dos materiais a seco e para o estado fresco, bem como os ensaios físicos e mecânicos nas argamassas colantes, encontra-se na Figura 8.

Figura 8 - Proposta de ensaios



Fonte: O autor (2015).

Em seguida será realizada a descrição de cada ensaio do trabalho.

3.1 ENSAIOS A SECO

A caracterização dos materiais a seco serve de base para conhecimento e distinção dos materiais a serem estudados no trabalho.

3.1.1 Massa Específica

Para a determinação da massa específica, seguiu-se os procedimentos descritos pela norma NBR NM 23 (ABNT, 2001).

A aparelhagem requerida consiste em líquido que não reaja quimicamente com o material, com densidade maior ou igual 0,731 g/cm³ e temperatura 15 °C, balança com resolução de 0,0 1g, recipiente para colocação do material, funil de haste longa, termômetro com resolução melhor ou igual a 0,5 °C, banho termorregulador para submersão até 24 cm³ dos frascos volumétricos e frasco volumétrico de Le Chatelier com capacidade de 250 cm³.

O líquido utilizado é a querosene, visto que ela não reage quimicamente com o material. Conforme descrição da norma NBR NM 23 (ABNT, 2001), o reagente deve ser colocado no frasco com o auxílio de um funil, entre as marcas de zero e 1 cm³. Em seguida, o frasco colocado submerso no banho de água em posição vertical, durante um tempo de 30 min, a fim de equilibrar as temperaturas em 23 °C. Com isso, realiza-se a leitura inicial V_1 e, na sequência, introduz-se uma amostra de 50 g com auxílio do funil, girando o frasco em posição inclinada para eliminar bolhas de ar. Assim, registra-se a leitura final V_2 .

Para calcular a massa específica da argamassa, será utilizada a equação 3:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (3)$$

Onde:

ρ : Massa específica do material ensaiado (g/cm³);

m : Massa do material ensaiado (g);

V : Volume deslocado pela massa do material ensaiado ($V_2' - V_1'$) (cm³);

$V_1' - V_2'$: Valores corrigidos, a partir da calibração da escala do frasco volumétrico (cm³).

3.1.2 Densidade de massa aparente

A NBR 14086 (ABNT, 2004) regula o ensaio de determinação da densidade de massa aparente das argamassas colantes.

Para esse ensaio, os aparelhos necessários são: recipiente metálico com diâmetro de $(76 \pm 1,5)$ mm e altura que o volume seja de (400 ± 1) cm³; balança com resolução de 0,01 g; régua metálica de 30 cm e concha metálica.

O ensaio consiste em introduzir 1 kg de argamassa colante em um recipiente para homogeneização, agitando durante 10 s. Anteriormente, deve-se determinar M_1 , ou seja, a massa do recipiente e, em seguida, a borda da concha deve ser apoiada na borda superior do recipiente, de modo a encher o mesmo com material. Este, por sua vez, será rasado com régua e é determinada a massa do recipiente mais a do material.

Destaca-se que, o adensamento da argamassa cola é dependente de algumas variáveis, tais como a velocidade de queda do material, a execução do arrasamento, a forma dos grãos de areia, a distribuição dos diâmetros das partículas e a proporção aglomerante/agregado. Esse valor é utilizado, na prática, para conversão da quantidade de material em massa para volume. Além disso, é utilizado para o cálculo do teor de ar incorporado de argamassas convencionais no estado fresco, segundo a NBR 13278 (ABNT, 2005) e para a determinação do índice de vazios na argamassa anidra.

3.1.3 Granulometria

O ensaio de composição granulométrica é regulamentado pela NBR NM 248 (ABNT, 2003). O ensaio demanda os seguintes equipamentos: balança com resolução de 0,1% da massa da amostra; estufa com temperatura (105 ± 5) °C; jogo de peneiras; agitador mecânico de peneiras; bandejas; escova ou pincel; e fundo avulso de peneiras.

As peneiras utilizadas para o ensaio de granulometria são da série normal da ABNT, a partir da peneira n° 600 até a peneira n° 150. O material passante na peneira n° 200, obtido através do peneiramento mecânico, será analisado por granulometria a laser, pois se trata de um material mais fino.

O comportamento reológico e a aplicação do material serão influenciados diretamente pela quantidade e tamanho das partículas das argamassas colantes, identificadas a partir do ensaio de granulometria.

3.1.4 Teor de Finos

A quantidade de material passante na peneira com abertura da malha de 75 μm , determina o teor de finos no material.

A aparelhagem necessária para a realização do ensaio consiste em balança com resolução de 0,01 g; peneira com abertura da malha de 75 μm ; recipiente; estufa com temperatura $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$; agitador mecânico de peneiras; bandejas; escova ou pincel e fundo avulso de peneiras.

O ensaio é realizado por meio de uma amostra de 500 g, colocada em um peneirador com vibração mecânica por um tempo de 10 min. Em seguida, o material retido e passante na peneira com abertura da malha de 75 μm é pesado e colocado em um recipiente vedado, não permitindo o contato com a umidade. Para que não ocorra contaminação entre as amostras, as peneiras devem ser limpas com ar comprimido, após cada realização do ensaio.

Um teor menor de finos pode induzir a uma quantidade baixa de cimento e aditivos na dosagem, em contrapartida, um teor alto de finos indica maior quantidade desses materiais na amostra.

3.2 ENSAIOS NO ESTADO FRESCO

Antes de iniciar a programação de ensaios para caracterização física das argamassas colantes, é importante relatar o procedimento da mistura do material seco com a água, o qual é recomendado pela norma NBR 14081-2 (ABNT, 2012).

A preparação consiste em adicionar a quantidade de água (conforme dados fornecidos nas embalagens dos fabricantes), em um misturador mecânico de movimento planetário, com capacidade de 5 litros (Figura 9). Em seguida, coloca-se o material seco sobre o líquido e o misturador é ligado com velocidade lenta por 30 s. Após desligar o misturador é necessário reunificar a massa em um período de 60 s. Realizada essa etapa, liga-se novamente o misturador por mais 60 s, em velocidade lenta. A Figura 9 demonstra o equipamento utilizado.

Figura 9 - Misturador mecânico (capacidade de 5 litros)



Fonte: Autoria própria (2015).

O material é deixado por 15 min coberto com um pano úmido, para o processo de maturação, após esse tempo, mistura-se a amostra por mais 15 s em velocidade lenta. A Tabela 1 apresenta os tipos de argamassas colantes, os diferentes fornecedores e a relação de água/materiais secos especificada por cada fabricante.

Tabela 1 - Tipos de argamassa, seus fornecedores e porcentagem de água/materiais secos para cada argamassa colante

Argamassa Colante	Fabricante	Água/Materiais Secos
ACI	FA ₁	0,225
	FB ₁	0,215
	FC ₁	0,225
ACII	FA ₂	0,225
	FB ₂	0,220
	FC ₂	0,210
ACIII	FA ₃	0,215
	FB ₃	0,300
	FC ₃	0,215

Fonte: Autoria própria (2015).

Por meio da Tabela 1, é possível observar que existem três diferentes fornecedores de argamassa colante para os tipos ACI, ACII e ACIII (total de nove

argamassas), sendo denominados, por exemplo, FA₁ = Fabricante A - Argamassa ACI; FB₂ = Fabricante B - Argamassa ACII; FC₃ = Fabricante C - Argamassa ACIII.

3.2.1 Densidade de massa fresca e teor de ar incorporado

A densidade de massa fresca e teor de ar incorporado do material são determinados, conforme descrição da norma NBR 13278 (ABNT, 2005).

Os aparelhos necessários para a realização dos ensaios citados são: balança resolução 0,1 g; recipiente rígido cilíndrico com capacidade de 400 cm³, altura de 85 mm e diâmetro de 80 mm (mesmo recipiente do ensaio de densidade de massa no estado anidro); espátula e utensílios de laboratório.

O procedimento de realização do ensaio consiste em preparar a amostra, conforme a NBR 14081-2 (ABNT, 2012). Em seguida, deve-se pesar o recipiente vazio e anotar sua massa (m_v). A argamassa preparada deve ser colocada em três camadas aproximadamente iguais, dentro do recipiente, com o auxílio de colher ou concha. A cada camada introduzida, aplica-se 20 golpes com espátula ao longo de todo perímetro da argamassa e, ao final da execução, efetua-se três quedas do recipiente com altura, aproximadamente de 3 cm, garantindo o adensamento completo. Com isso, deve-se rasar o recipiente com espátula, pesar e anotar a massa do molde com a argamassa (m_c).

A densidade de massa da argamassa, no estado fresco, é calculada pela equação 4:

$$d = \frac{m_c - m_v}{V_r} 100 \quad (4)$$

Em que:

d: Densidade de massa da argamassa no estado fresco (kg/m³);

m_c : Massa do recipiente cilíndrico contendo argamassa (g);

m_v : Massa do recipiente cilíndrico vazio (g);

V_r : Volume do recipiente cilíndrico (cm³).

A determinação do teor de ar incorporado na argamassa é calculada pela mesma norma (NBR 13278, ABNT, 2005), sendo o valor utilizado para a massa

específica da argamassa, encontrada conforme a NBR NM 23 (ABNT, 2001) para o cálculo da densidade de massa fresca.

O ensaio de densidade de massa teórica das argamassas industrializadas foi calculada pela equação 5, a seguir:

$$d_t = \frac{m_s + m_{\text{água}}}{\frac{m_s}{\gamma_s} + m_{\text{água}}} \quad (5)$$

Onde:

d_t = densidade de massa teórica (g/cm³);

m_s = massa da argamassa anidra (g);

$m_{\text{água}}$ = massa de água que compõe a argamassa fresca (g);

γ_s = massa específica da argamassa anidra (g/cm³).

Para o cálculo do teor de ar incorporado das argamassas, foram utilizadas as indicações da NBR 13278 (ABNT, 2005), conforme a equação 6:

$$A = 100 \left(1 - \frac{d}{d_t} \right) \quad (6)$$

Onde temos:

A = teor de ar incorporado das argamassas (%);

d = densidade de massa da argamassa real (g/cm³);

d_t = densidade de massa teórica da argamassa (g/cm³).

Vários são os fatores que podem influenciar na quantidade de ar incorporado na argamassa, entre eles: tipo de mistura; tipo de agregado; tipo de cimento; tipo de adições e tipo de aditivos.

3.2.2 Retenção de água

A NBR 13277 (ABNT, 2005) descreve o processo para a obtenção da retenção de água de um material. A aparelhagem necessária para o ensaio consiste em: funil de *Büchner* modificado com bomba de vácuo; discos de papel filtro (200

mm de diâmetro); soquete metálico; régua metálica; balança com resolução de 0,1 g; cronômetro; e utensílios de laboratório. A amostra deve ser preparada conforme a NBR 14081-2 (NBR, 2012).

Ao iniciar o ensaio, deve-se colocar o prato sobre o funil, garantindo estanqueidade, e sobre o fundo do prato, o papel filtro umedecido. Com a torneira fechada, liga-se a bomba de vácuo com uma sucção de 51 mm de mercúrio. Em seguida, abre-se a torneira para retirar o excesso de água do papel filtro por um tempo de 90 s. O conjunto funil/papel filtro úmido deve ser pesado na balança e registrada sua massa (m_v). A partir disso, deve-se completar o prato com a argamassa e adensar a mesma com 37 golpes do soquete, sendo 16 golpes aplicados à borda do prato e os outros 21 golpes na parte central. Com o auxílio da régua, o excesso de argamassa deve ser retirado, do centro para a borda, em duas etapas, deixando a superfície do prato plana, o conjunto com argamassa deve ser pesado e registrado (m_a). Depois, coloca-se o prato novamente no equipamento e, em seguida, abre-se a torneira para aplicação da sucção de 51 mm de mercúrio à amostra por 15 minutos. Após a retirada do prato do funil, deve-se pesar e registrar a massa da amostra (m_s).

A retenção de água da amostra é calcula pela equação 7:

$$R_a = \left[1 - \frac{(m_a - m_s)}{AF (m_a - m_v)} \right] \times 100 \quad (7)$$

Cujo AF é calculado através da equação 8:

$$AF = \frac{m_w}{m + m_w} \quad (8)$$

Em que:

R_a : Retenção de água (%);

m_a : Massa do conjunto com argamassa (g);

m_s : Massa do conjunto após a sucção (g);

m_v : Massa do conjunto vazio (g);

AF: Fator água/argamassa fresca;

m_w : Massa total de água acrescentada à mistura (g);

m : Massa de argamassa industrializada (g).

3.3 ENSAIOS FÍSICOS E MECÂNICOS

Para esta etapa de realização dos ensaios físicos e mecânicos das argamassas colantes, a preparação do material requereu o mesmo equipamento e processo de mistura descritos no item 3.2, conforme os procedimentos da norma NBR 14081-2 (ABNT, 2012).

Com o intuito de analisar o tempo de utilização das argamassas colantes, para os ensaios de viscosidade, deslizamento e resistência de aderência à tração, as amostras foram ensaiadas nos tempos de 30, 180 e 300 minutos, contados a partir do momento do contato da água com o material. Todas as amostras permaneceram cobertas com um pano úmido, para não perder umidade para o ambiente, até o horário de realização de cada ensaio.

O tempo máximo de 300 minutos para os ensaios foi estabelecido em função de ser o dobro do tempo recomendado pela norma para utilização do material depois de pronto. Em uma jornada de trabalho, geralmente o que acontece é a produção da argamassa cola em uma quantidade considerável, sendo que o material é utilizado por períodos longos, extrapolando as recomendações normativas.

Na prática, depois da preparação do material, o produto é aplicado e avaliado pelo operador de maneira empírica, quanto à coesão, consistência, adesividade, capacidade de espalhamento, entre outras propriedades no seu estado fresco. Nesse contexto, o comportamento reológico das argamassas pode ser utilizado para explicar fatores que influenciam a aplicação das argamassas colantes.

Com isso, após a aplicação do material a argamassa começa a se consolidar, perdendo trabalhabilidade. Alguns fatores que influenciam essa consolidação da argamassa são o tipo de substrato e a temperatura ambiente, de modo que estes alteram a reologia da argamassa. Apesar disso, relacionar a consolidação com a modificação do comportamento reológico, torna-se complexo.

Entretanto, como o conhecimento técnico não é suficiente para entender tais fenômenos, foi utilizada a reologia através da viscosimetria, juntamente com os ensaios normatizados, variando os tempos de ensaios, para comparar a relação com o tempo de utilização das argamassas colantes.

3.3.1 Viscosidade

Para avaliar o comportamento reológico das argamassas colantes, é necessário conhecer sua viscosidade. Com o intuito de adquirir este parâmetro foi utilizada a fração fina (passante na peneira 75 μm). Esse material, juntamente com a fração de maior granulometria, faz parte da composição das argamassas e determinam as características no seu estado fresco e endurecido.

A quantidade de água informada na embalagem dos fabricantes foi respeitada (item 3.2), sendo realizados os ajustes necessários nos cálculos da porcentagem de água referente à parcela de pasta, os quais estarão descritos no próximo item.

3.3.1.1 Descrição do método

Para a caracterização reológica de pastas, o reômetro geralmente utilizado é o viscosímetro de *Brookfield*, o qual mede a viscosidade por rotação controlada, através do instrumento chamado *spindle*, localizado imerso no fluido (PILEGGI *et al.*, 2003); (FERRARIS *et al.*, 2003; HACKLEY *et al.*, 2001). Segundo Costa (2006), por esse equipamento trabalhar em faixas limitadas de torque, acaba tornando-o incapaz de obter dados de cisalhamento para argamassas, podendo ser utilizado apenas para as pastas (cimento e água) dos materiais.

No Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC) da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), o equipamento utilizado para o ensaio de determinação da viscosidade é o *Programmable Viscometer Brookfield DV - III Ultra 5.0*, conforme Figura 10.

Figura 10 - Aparelho Viscosímetro de *Brookfield* e componentes para ensaio



Fonte: Autoria própria (2015).

Nota-se na Figura 10, o equipamento e seus componentes de ensaio. O copo metálico é acoplado dentro do equipamento onde, anteriormente, recebe a amostra da pasta de argamassa. Após, é feita a calibração do equipamento, antes da imersão do *spindle* na amostra, para posterior rotação e leitura dos dados.

O *spindle* utilizado possui numeração 29, visto que com ele é possível realizar todas as leituras, pelo fato do mesmo conseguir se movimentar livremente dentro da pasta.

Em relação à formação da pasta, foram misturadas as frações finas de cada argamassa, com a quantidade de água indicada pelo fabricante. A fração fina é obtida adotando-se o método por peneiramento sob vibração mecânica na peneira nº 200, de 1 kg de cada argamassa, durante 15 minutos (média de 222 g de material passante na peneira). A peneira é fechada com tampa metálica para evitar a perda do material devido à vibração. Para evitar a contaminação entre uma argamassa e outra, a peneira deve ser submetida à limpeza por ar sob pressão e, para evitar o contato com a umidade, o material passante foi armazenado em sacos plásticos vedados.

Para encontrar a quantidade de água na mistura das argamassas em relação à fração fina, utilizou-se a mesma metodologia adotada por Costa (2006), por exemplo, a indicação do fabricante para argamassa FA₁ é de 225 ml/kg e a fração

fina corresponde a 14,20 % da massa total. Com isso, a proporção água/materiais secos para a pasta FA₁ é igual a 1,58 (225 ml / 142 g).

Na Tabela 2, estão apresentados os tempos, nos quais os ensaios foram realizados, a relação de água/materiais secos para as pastas e as rotações impostas ao equipamento para o ensaio.

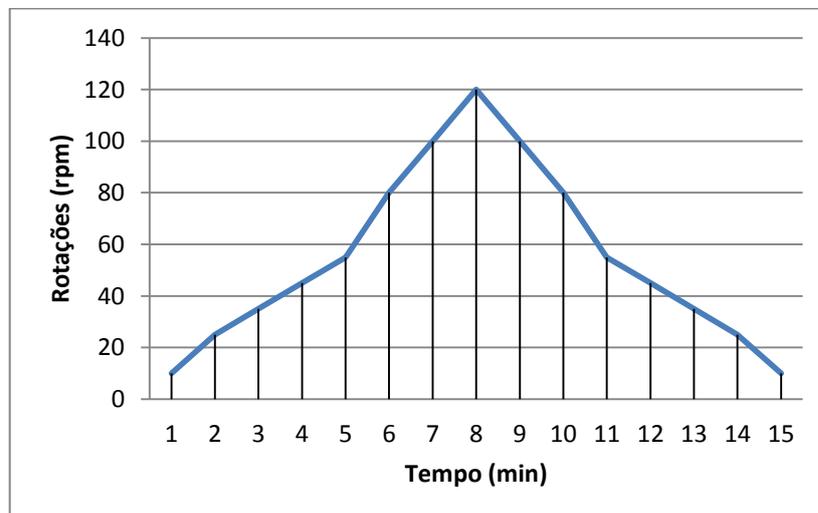
Tabela 2 - Parâmetros adotados para o ensaio das pastas utilizando o Viscosímetro de Brookfield

Ensaio de viscosidade realizado no tempo (minutos): 30, 180 e 300	Pasta	Proporção de água/materiais secos (ml/g)	Rotações por minuto adota (rpm): 10, 25, 35, 45, 55, 80, 100, 120, 100, 80, 55, 45, 35, 25, 10
	FA ₁	1,58	
	FA ₂	1,05	
	FA ₃	0,78	
	FB ₁	1,21	
	FB ₂	0,82	
	FB ₃	1,21	
	FC ₁	1,51	
	FC ₂	0,95	
	FC ₃	0,86	

Fonte: Autoria própria (2015).

Como citado no item 3.3 os ensaios aconteceram no período de tempo correspondente a 30, 180 e 300 minutos após o contato da água com o material. A seguir, no Gráfico 1 está ilustrada a programação adotada no ensaio de viscosidade da pasta.

Gráfico 1 - Programa de rotações adotado para o ensaio de viscosidade da pasta



Fonte: O autor (2015).

Com o *spindle* imerso na pasta, foi adotada uma programação de rotações por minuto (rpm) para cada ensaio, a qual aumentou e, em seguida, diminuiu (10, 25, 35, 45, 55, 80, 100, 120, 100, 80, 55, 45, 35, 25, 10). O tempo de estabilização para cada rotação foi de 1 minuto. Decorrido esse tempo, o equipamento era paralisado e anotados os dados obtidos com cada ensaio, os quais estão todos especificados no Apêndice. A dificuldade que o *splindle* teve de se movimentar dentro da pasta ao final do tempo de cada rotação, indicou o valor da viscosidade para a argamassa ensaiada.

Outros autores já realizaram estudos para identificar parâmetros reológicos de argamassas e concretos (Tabela 3), mas nenhum analisou a viscosidade por um período de maior tempo (180 e 300 min) de utilização, nem comparou seus resultados com os ensaios de desempenho do material.

Tabela 3 - Relação de ensaios de viscosidade por diferentes autores

Autor	Equipamento	Ciclo de rpm	Tempos do ensaio após a mistura	Tempo de estabilização
Silva - 2003	Viscosímetro de Brookfield	10	5, 10, 15, 20, 25 e 30 min	-
Costa - 2006	Viscosímetro de Brookfield	200,160, 120, 70, 45, 25, 10, 10, 25, 45, 70, 120, 160, 200	0 a 280 segundos	20 segundos
Cardoso - 2009	Reômetro - USP	50 a 125 a 50	0 a 300 segundos	20 segundos
Kudo - 2012	Reômetro - USP	6,3; 12,7; 25,3; 38; 63,3; 126,5; 189,5; 253; 316,3; 253; 189,5; 126,5; 63,3; 38; 25,3; 12,7; 6,3	0 a 85 segundos	5 segundos
Petit e Wirquin - 2013	Viscosímetro de Brookfield	20	Aos 5 e 20 minutos	1 minuto
Mechtchrine, Secrieru e Schrofl - 2015	Reômetro HAAKE MARS II	Variação da taxa de cisalhamento	10, 20, 30, 45, 60 e 90 minutos	40 segundos

Fonte: O autor (2015).

A mistura para formação da pasta obedeceu aos critérios da NBR 14081-2 (ABNT, 2012), sendo que o material permaneceu coberto com um pano úmido, durante os 300 minutos de ensaio. O copo metálico e o *spindle* foram sempre lavados e secos para cada ensaio do viscosímetro, evitando a contaminação. O

misturador mecânico utilizado para fabricação da pasta é o mesmo utilizado para a fabricação das amostras de argamassa colante.

3.3.2 Ensaio de deslizamento

A determinação do deslizamento de placas cerâmicas para argamassas colantes industrializadas do tipo ACI, ACII e ACIII é especificada pela norma brasileira NBR 14081-5 (ABNT, 2012). A amostra de argamassa é preparada conforme a NBR 14081-2 (ABNT, 2012) e estendida sobre o substrato padrão fornecido pela ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland).

Este ensaio foi realizado no estado fresco da argamassa colante correspondente aos tempos de: 30, 180 e 300 minutos, contados após a mistura da água com o material. Com isso, pretendeu-se analisar a influência da aplicação do material, em função do tempo que ele é preparado.

A aparelhagem necessária para a execução do ensaio é constituída de três placas cerâmicas quadradas de lado (100 ± 1 mm), com absorção B_{la} (absorção $\leq 0,5$ %) e massa individual de (195 ± 1 mm); régua metálica (cerca de 500 mm de comprimento); fita adesiva (25 mm de largura); seis espaçadores de forma quadrada de (25 ± 1) mm e espessura de (10 ± 1) mm; massas-padrão de ($5 \pm 0,01$) kg com seção de apoio quadrada de 100 mm de lado; paquímetro resolução de 0,1 mm; dispositivo de fixação para régua metálica no substrato; desempenadeira metálica dentada com largura/altura/espacamento dos dentes de ($6,0 \pm 0,1$) mm; cronômetro; quadro para posicionar o substrato padrão na vertical.

Na execução do ensaio, a régua metálica é prendida por dispositivo metálico, contra a borda longitudinal do substrato padrão disposto na horizontal (quando o substrato padrão assumir a posição vertical, a régua deve permanecer com sua horizontalidade), em seguida, estende-se e cola-se a fita adesiva do lado da régua sobre a superfície do mesmo. A partir disso, é realizada a imprimação do substrato padrão com argamassa até a sobreposição da fita adesiva, de modo a formar os cordões com a desempenadeira, sendo que eles devem permanecer perpendiculares à régua metálica, conforme a Figura 11.

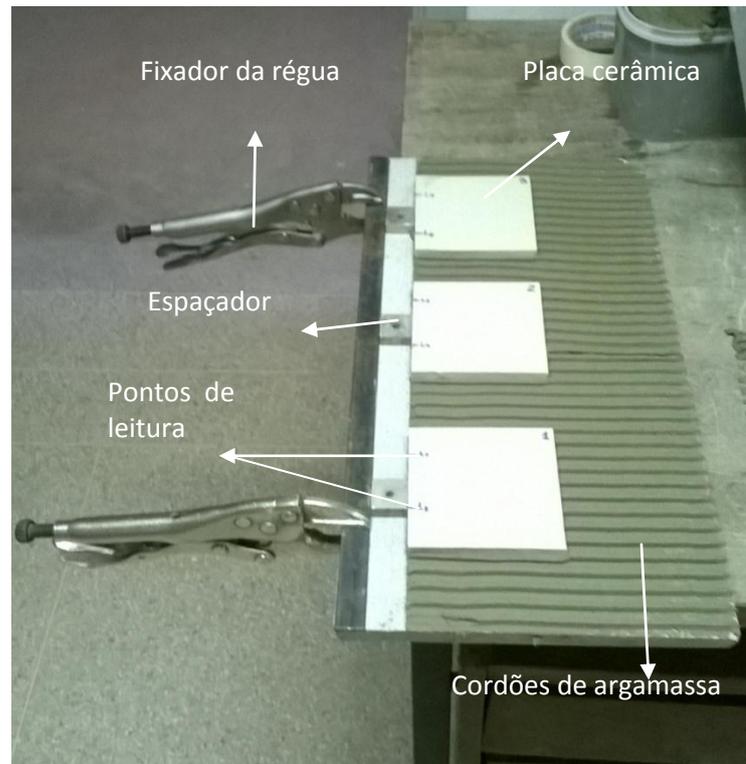
Figura 11 - Sentido da imprimação do substrato padrão



Fonte: Autoria própria (2015).

Depois da aplicação da argamassa sobre o substrato padrão, é retirada a fita adesiva e são posicionados dois espaçadores para cada placa cerâmica, encostados contra a régua metálica. Após a passagem de 2 minutos da aplicação da argamassa, colocam-se todas as três placas cerâmicas nos cordões de argamassa, centralizadas e encostadas contra os espaçadores, conforme a Figura 12.

Figura 12 - Preparação para o ensaio de deslizamento



Fonte: Autoria própria (2015).

Para garantir que os pontos de leituras inicial e final do deslizamento sejam nos mesmos lugares, devem ser feitas marcações nas placas cerâmicas. Em seguida, as massas-padrão são posicionadas nas placas cerâmicas durante 30 s, na mesma ordem de colocação das placas (Figura 13).

Figura 13 - Colocação das massas-padrão sobre as placas cerâmicas



Fonte: Autoria própria (2015).

Com a retirada dos espaçadores, são medidos, com o auxílio do paquímetro, dois pontos de cada cerâmica. A distância entre a borda da placa cerâmica e a régua metálica é a distância (L_i). Realizado o processo, o substrato padrão do ensaio deve ser colocado cuidadosamente na vertical, durante um período de 20 min (Figura 14).

Figura 14 - Posição vertical da placa durante 20 minutos



Fonte: Autoria própria (2015).

Transcorrido isso, retorna-se à posição horizontal e mede-se novamente a separação (L_f) nos mesmos locais anteriores.

O cálculo do deslizamento das três placas cerâmicas é a média das diferenças entre as leituras finais e iniciais, através da equação 9:

$$L = \frac{\sum(L_f - L_i)}{6} \quad (9)$$

onde:

L: deslizamento (mm);

L_f : leitura da posição final de cada ponto de leitura de cada placa cerâmica (mm);

L_i : leitura da posição inicial de cada ponto de leitura de cada placa cerâmica (mm).

3.3.3 Ensaio de resistência de aderência à tração

O ensaio realizado para o estado endurecido de argamassas colantes consiste na determinação da resistência de aderência à tração. Esta propriedade é importante, por se tratar do emprego do material a um determinado substrato e, conseqüentemente, de sua capacidade de aderir ao mesmo, ao longo de sua vida útil.

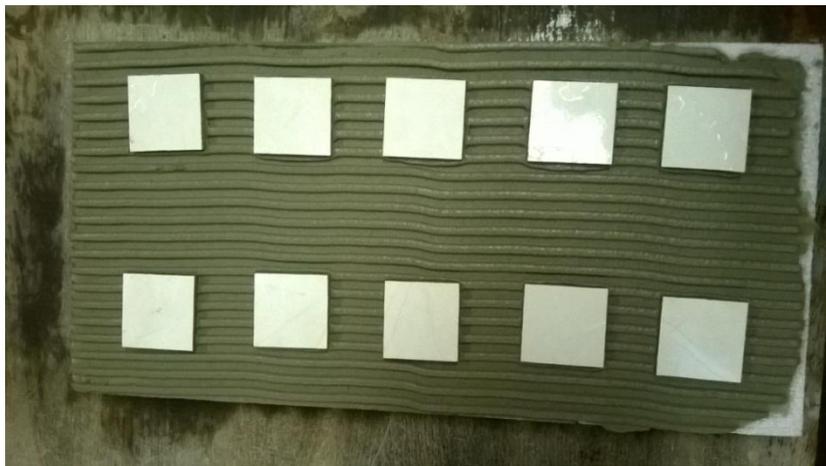
A amostra para o ensaio foi preparada conforme NBR 14081-2 (ABNT, 2012), descrita no item 3.2. As argamassas utilizadas serão as mesmas que constam na tabela 2, sendo dos tipos ACI, ACII, e ACIII, cada uma possuindo três fabricantes diferentes, respeitando a quantidade de água indicada pelos mesmos.

A determinação da resistência de aderência à tração de argamassas colantes industrializadas para assentamento de placas cerâmicas é descrita pela norma brasileira NBR 14081-4 (ABNT, 2012).

A aparelhagem necessária para a execução do ensaio é constituída de: máquina para arrancamento por tração com velocidade de carregamento de (250 ± 50) N/s; peças metálicas de seção quadrada de 50 mm de aresta e espessura de 10mm; massas-padrão de $(2,00 \pm 0,01)$ kg com seção de apoio quadrada de 50 mm de lado; além de cronômetro.

Sobre o substrato padrão fornecido pela ABCP é estendida a argamassa preparada conforme a NBR 14081-2 (ABNT, 2012) e acionado o cronômetro por cinco minutos. São posicionadas dez placas cerâmicas, conforme Figura 15. Em seguida, as placas são carregadas com a massa-padrão por 30 s. Salienta-se que a ordem de colocação das massas-padrão deve ser a mesma de colocação das placas cerâmicas sobre os cordões de argamassa.

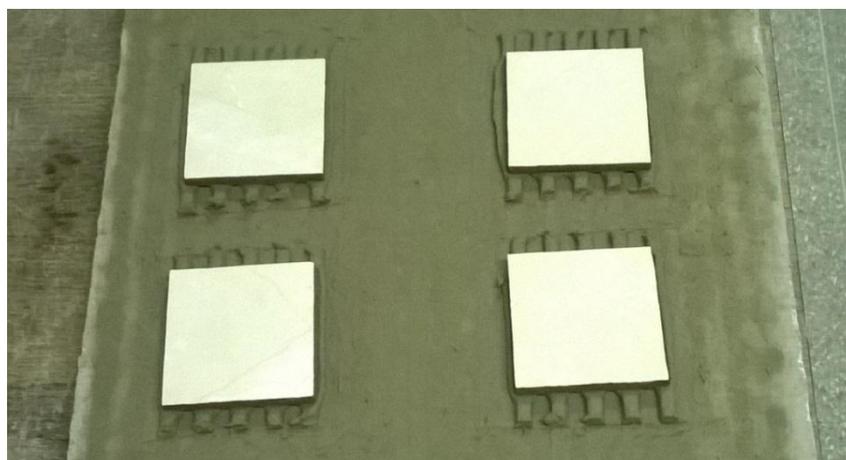
Figura 15 - Exemplo de colocação das placas cerâmicas



Fonte: Autoria própria (2015).

Na Figura 16 encontra-se a placa cerâmica envolta sobre os cordões de argamassa colante.

Figura 16 - Posicionamento da placa cerâmica sobre os cordões de argamassa colante



Fonte: Autoria própria (2015).

Com a retirada dos pesos, retiram-se os cordões excedentes, deixando, aproximadamente, 1 cm de cordão ao redor de cada placa cerâmica. As placas devem permanecer, no mínimo, 24 h na posição horizontal. Depois disso, podem ser estocadas na posição vertical e submetidas a diversas condições de cura. No presente trabalho, foi realizada cura normal, durante 28 dias, submetida às condições ambientes de laboratório e, 72 h antes do ensaio, colou-se com adesivo em cada placa cerâmica uma peça metálica de arrancamento.

O ensaio de arrancamento por tração simples foi realizado nos 28 dias, por aplicação de carga a uma velocidade de (250 ± 50) N/s até a ruptura, a fim de registrar a carga máxima aplicada.

O resultado para o cálculo da tensão de ruptura (f_t) de cada placa cerâmica é expresso pela equação 10:

$$f_t = \frac{T}{A} \quad (10)$$

Onde:

f_t : Tensão de ruptura (MPa);

T: Força de ruptura (N);

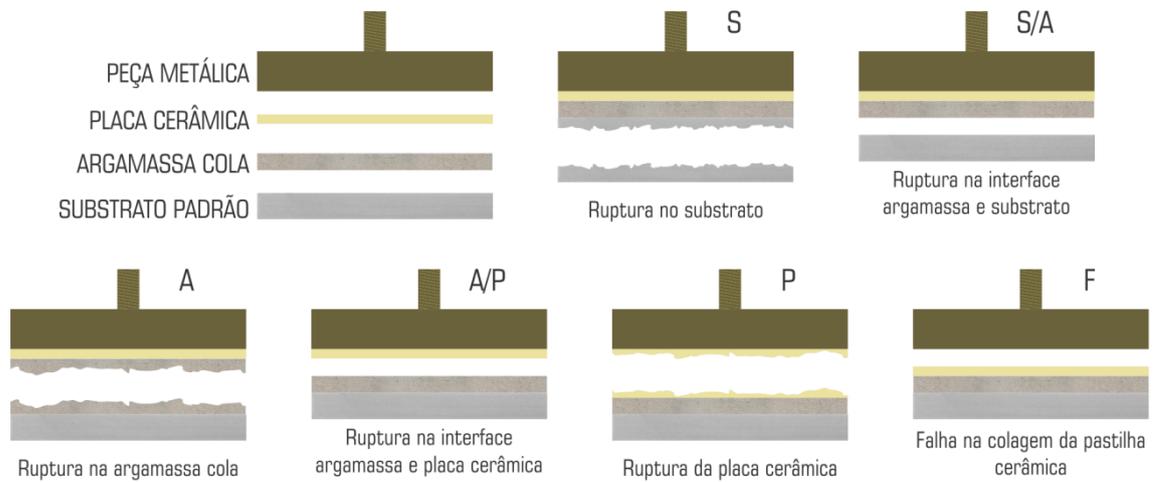
A: Placa cerâmica de 2500 mm² (mm²).

Além disso, o tipo de ruptura e sua porcentagem aproximada que ocorre na placa cerâmica, devem ser analisados, conforme especificado a seguir:

- a) ruptura do substrato (S);
- b) ruptura na interface argamassa e substrato (S/A);
- c) ruptura da camada de argamassa colante (A);
- d) ruptura na interface argamassa e placa cerâmica (A/P);
- e) ruptura da placa cerâmica (P);
- f) falha na colagem da peça metálica (F).

A Figura 17 ilustra os tipos de ruptura que podem ocorrer nesse ensaio.

Figura 17 - Tipos de ruptura



Fonte: Adaptado NBR 14081-4 (ABNT, 2012).

Este ensaio contribuiu para a análise dos resultados dos ensaios de viscosidade e deslizamento. Foram moldados substratos para os tempos de 30, 180 e 300 min, para cada tipo de argamassa, obedecendo-se os mesmos princípios do item 3.2.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir do planejamento experimental, neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos com os dados coletados.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS A SECO

4.1.1 Massa específica aparente e teor de finos

Os resultados dos ensaios de massa específica, massa aparente, teor de finos (partículas de dimensões menores que 0,075 mm) e índice de vazios das argamassas colantes são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Resultados dos ensaios de massa específica, massa aparente, teor de finos e índice de vazios

Fabricante	Tipo	Massa Específica (g/cm ³)	Massa Aparente (g/cm ³)	Teor de Finos (%)	Índice de Vazios (%)
A	AC-I	2,72	1,37	15,87	0,50
	AC-II	2,68	1,30	20,67	0,51
	AC-III	2,67	1,30	31,78	0,51
B	AC-I	2,72	1,39	13,90	0,49
	AC-II	2,65	1,33	18,08	0,50
	AC-III	2,69	1,36	35,40	0,49
C	AC-I	2,65	1,38	13,02	0,48
	AC-II	2,65	1,38	19,61	0,48
	AC-III	2,68	1,35	20,26	0,50

Fonte: Autoria própria (2015).

O Gráfico 2 representa o material passante e retido na peneira 200, ou seja, o teor de finos de cada argamassa colante analisada.

Gráfico 2 - Teor de finos passante na peneira 200



Fonte: Autoria própria (2015).

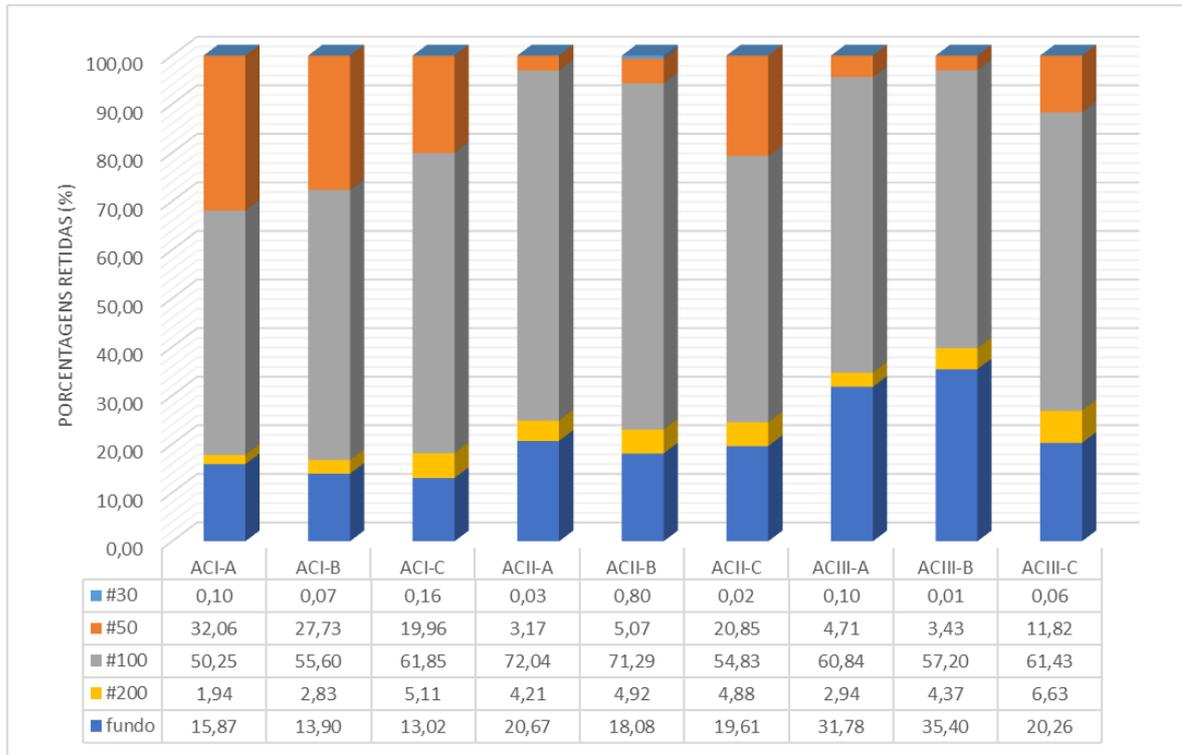
Com isso, pode-se perceber uma quantidade menor de material passante na peneira 200 da argamassa ACI em relação a ACII e esta comparada à argamassa ACIII. Esta quantidade de finos acredita-se que pode estar relacionada com a parcela de cimento e aditivos, bem como uma quantidade de filler presente em cada material.

4.1.2 Análise granulométrica

Com o ensaio de peneiramento das argamassas colantes compostas por agregados, cimento, filler e aditivo, até a peneira com abertura de 75 μ m (#200), foi possível obter a análise granulométrica do material.

Através de uma análise mais elaborada em função da fração retida na peneira com abertura de 0,075mm, o Gráfico 3 expõe as porcentagens separadas retidas em cada peneira #30, #50, #100 e #200.

Gráfico 3 - Porcentagens retidas em cada peneira



Fonte: Autoria própria (2015).

A partir das porcentagens retidas em cada peneira, pode-se observar que a maior parte do material, para todas as argamassas colantes, encontra-se na faixa da peneira 100. A quantidade de fração graúda das argamassas dos fabricantes A e B apresentam grande semelhança, sendo que para os mesmos tipos de materiais, suas variações são as mesmas. Para o material do fabricante C, independente do tipo de argamassa, elas apresentam distribuição semelhante. Já para o material retido na peneira de abertura 600 μm (#30), considerando todos os tipos de argamassas estudadas, a porcentagem não foi acima de 1%.

4.2 ENSAIOS NO ESTADO FRESCO

4.2.1 Densidade de massa fresca e teor de ar incorporado

Na Tabela 5, estão representados os valores encontrados nos cálculos para densidade de massa real e teor de ar das argamassas colantes.

Tabela 5 - Resultados dos ensaios de densidade de massa real e teor de ar das argamassas colantes

Fabricante	Tipo	Densidade Real (g/cm ³)	Teor de ar (%)
A	AC I	1,65	20,17
	AC II	1,70	18,00
	AC III	1,67	18,97
B	AC I	1,67	19,91
	AC II	1,61	21,16
	AC III	1,64	15,25
C	AC I	1,67	17,88
	AC II	1,64	20,39
	AC III	1,63	21,09

Fonte: Autoria própria (2015).

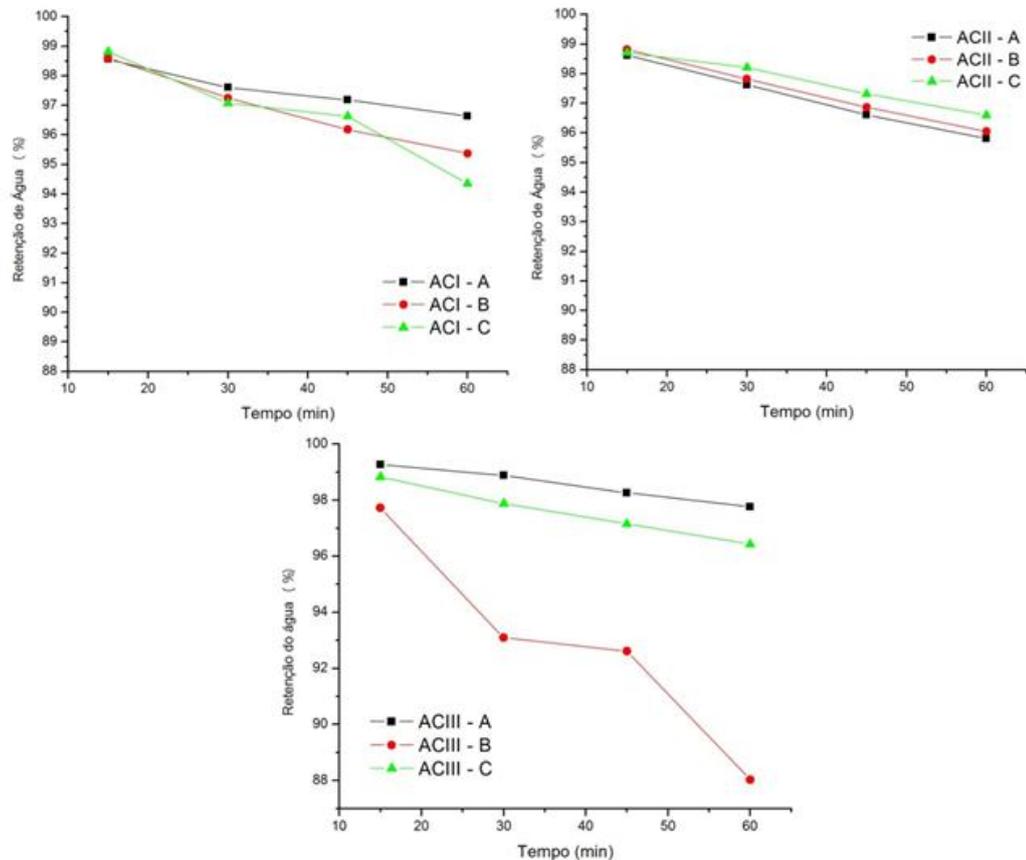
Para todos os tipos de argamassas colantes dos Fabricantes B e C, os resultados foram semelhantes, sendo que a ACI possui os maiores valores de densidade real entre todos os tipos. Já o material do Fabricante A apresenta os maiores valores em todos os casos, comparando com as demais argamassas, neste caso a argamassa ACII possui a maior densidade real e a ACI o menor.

4.2.2 Retenção de água

Para a realização desse ensaio foram utilizadas as recomendações da norma NBR 13277 (ABNT, 2005). Segundo esta norma é necessário um tempo de 15 min de vácuo para alcançar a leitura da retenção. Neste ensaio foram realizadas medidas de retenção de água nos tempos de 30, 45 e 60 minutos, além do ensaio recomendado pela norma aos 15 minutos, com o intuito de analisar o que acontece com a curva dessa propriedade. A partir disso, para cada tipo de argamassa colante de cada fabricante em estudo foram feitas as interpretações.

Os resultados da retenção de água das argamassas colantes dos tipos ACI, ACII e ACIII, encontram-se na Figura 18.

Figura 18 - Retenção de água das argamassas colantes ACI



Fonte: Autoria própria (2015).

A argamassa colante do tipo ACI do Fabricante A demonstrou a menor retenção de água (98,6 %) com o tempo de ensaio de 15 minutos (normalizado) e, com o passar do tempo, foi a que apresentou a maior retenção (96,6 %). Durante o período de monitoramento a maior queda na retenção de água foi apresentada pela argamassa ACI do Fabricante C.

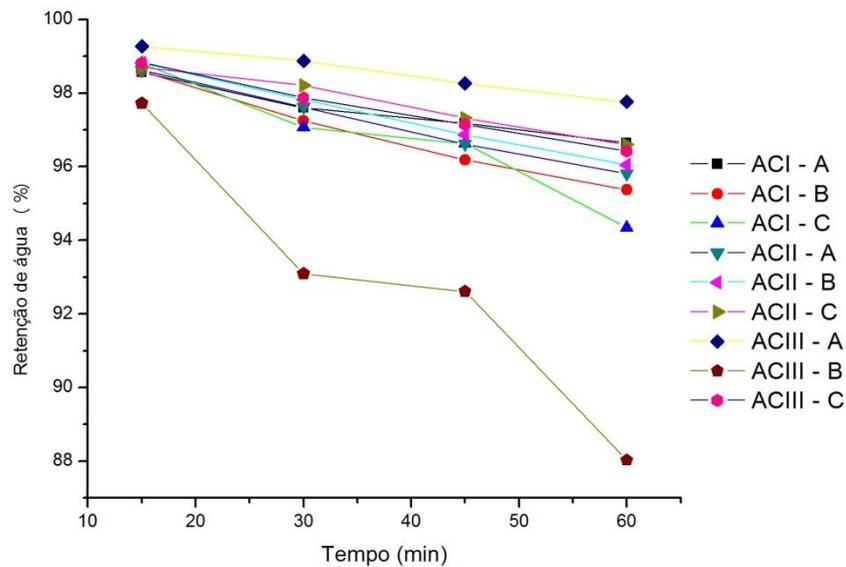
Para as argamassas colantes do tipo ACII, quem apresentou a maior queda na retenção de água foi à argamassa do Fabricante A, quando comparada com o material do Fabricante B e C, resultando em uma menor perda (98,6 % para 95,8 %).

Nos resultados das argamassas colantes do tipo ACIII, a maior queda na retenção de água foi observada para a argamassa ACIII-B, apresentando uma importante diferença entre as demais (97,7 % para 88 %). Com isso, apesar da maior quantidade de finos e menor teor de ar incorporado, o material demanda maior

quantidade de água indicada pelo fabricante, em relação às demais argamassas colantes ACIII. Com mais água na mistura a retenção tende a diminuir.

A Figura 19 apresenta a retenção de água para todas as argamassas colantes.

Figura 19 - Retenção de água das argamassas colantes



Fonte: Autoria própria (2015).

Durante o período estudado pode-se dizer que todas as argamassas apresentaram queda na retenção de água com o passar do tempo. A argamassa colante ACIII-A foi a que apresentou maior retenção (99,3 %, 98,9 %, 98,3 % e 97,8 % nos tempos 15, 30, 45 e 60 min, respectivamente) e a argamassa colante ACIII-B demonstrou menor retenção (97,7 %, 93,1 %, 92,6 % e 88 % nos tempos 15, 30, 45 e 60 min, respectivamente) juntamente com maior queda nessa propriedade.

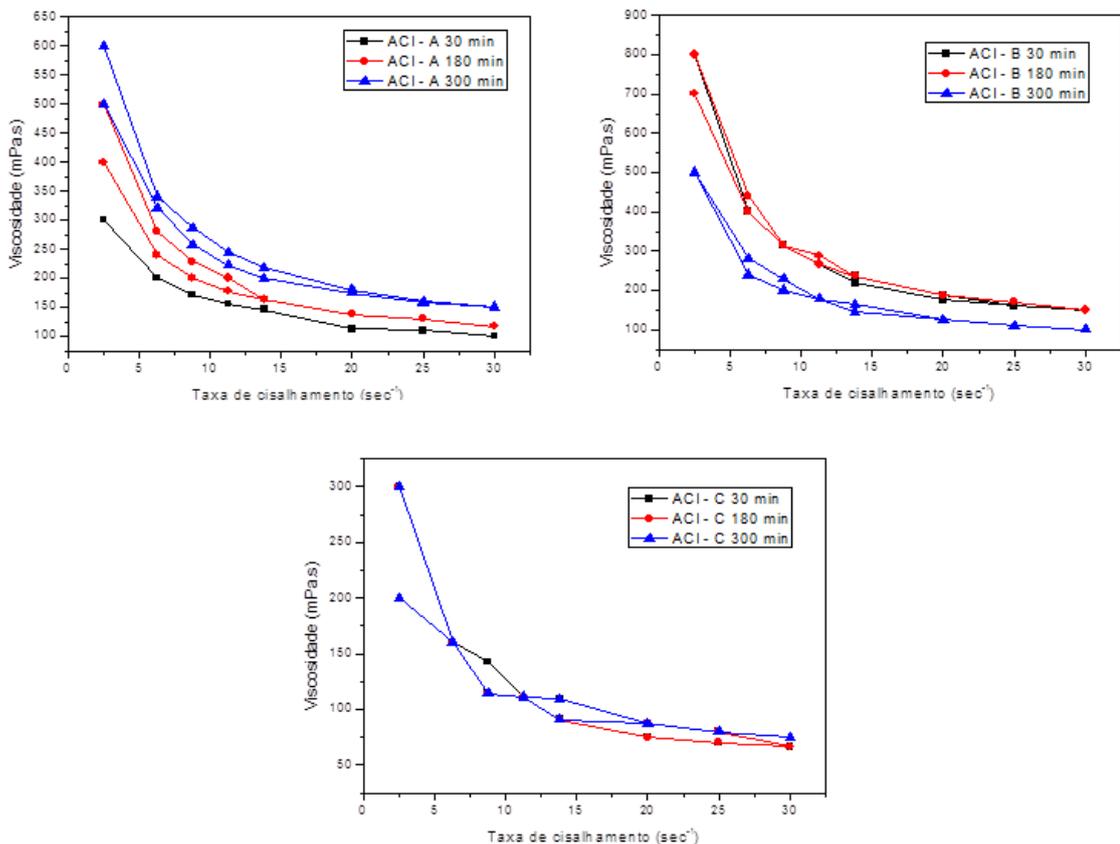
4.2.3 Ensaio de Viscosidade da pasta em relação ao tempo de utilização

As figuras a seguir apresentam o comportamento dos ciclos de cisalhamento das pastas das argamassas colantes do tipo ACI, ACII e ACIII, através da parcela de finos (partículas menores que 75 μm) de cada material, conforme descrito anteriormente.

No Apêndice, estão demonstradas as tabelas do ensaio obtidas pelo viscosímetro de *Brookfield*, através das rotações aplicadas (10, 25, 35, 45, 55, 80, 100, 120, 100, 80, 55, 45, 35, 25, e 10 rpm) e os resultados sobre a viscosidade, tensão de cisalhamento, taxa de cisalhamento e torque, no decorrer dos 30, 180 e 300 minutos de ensaio das pastas. A seguir, estão apresentadas as curvas de viscosidade pela taxa de cisalhamento, bem como as curvas de torque pela velocidade para cada fabricante (A, B e C) variando o tempo de ensaio. Essas curvas mostram a mudança de comportamento de cada produto com o passar do tempo após a mistura com a água. Também permitem observar se a possibilidade de identificar a consolidação do material através da mudança de comportamento reológico ao longo do tempo.

A Figura 20 ilustra as curvas da viscosidade das pastas em função da taxa de cisalhamento para as argamassas colantes ACI, com o passar do tempo, para cada fabricante.

Figura 20 - Relação entre a viscosidade e a taxa de cisalhamento para o percurso inicial e final das argamassas colantes ACI conforme seu tempo de utilização



Fonte: Autoria própria (2015).

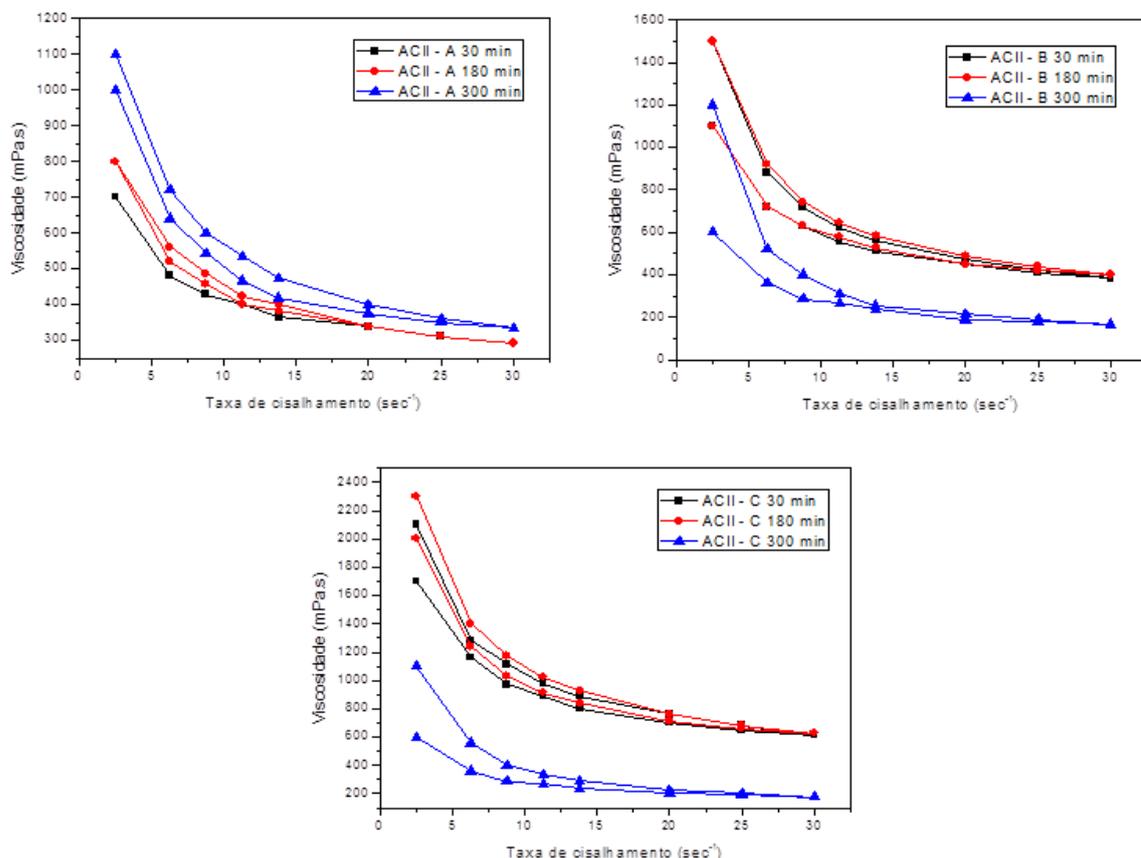
Para o Fabricante A da argamassa colante ACI, é possível notar que conforme seu tempo de utilização aumenta, ocorre um aumento na viscosidade do material comparando o tempo de 30 até 300 minutos, talvez indicando a consolidação do material. Também se pode perceber que com o passar do tempo a viscosidade diminuiu no percurso final em relação ao inicial para o tempo de 300 minutos, somente aos 30 minutos os valores permaneceram iguais.

No caso da argamassa ACI-B os menores valores encontrados para a viscosidade foram aos 300 minutos, sendo que aos 30 e 180 minutos de ensaio os valores resultantes foram semelhantes.

Já para a argamassa ACI do Fabricante C, as curvas ficaram sobrepostas para quase todos os tempos, não sendo indicada a consolidação do material.

As curvas de viscosidade das pastas em função da taxa de cisalhamento para as argamassas colantes ACII, com o aumento do tempo de utilização para cada fabricante encontram-se na Figura 21.

Figura 21 - Relação entre a viscosidade e a taxa de cisalhamento para o percurso inicial e final das argamassas colantes ACII conforme seu tempo de utilização



Fonte: Autoria própria (2015).

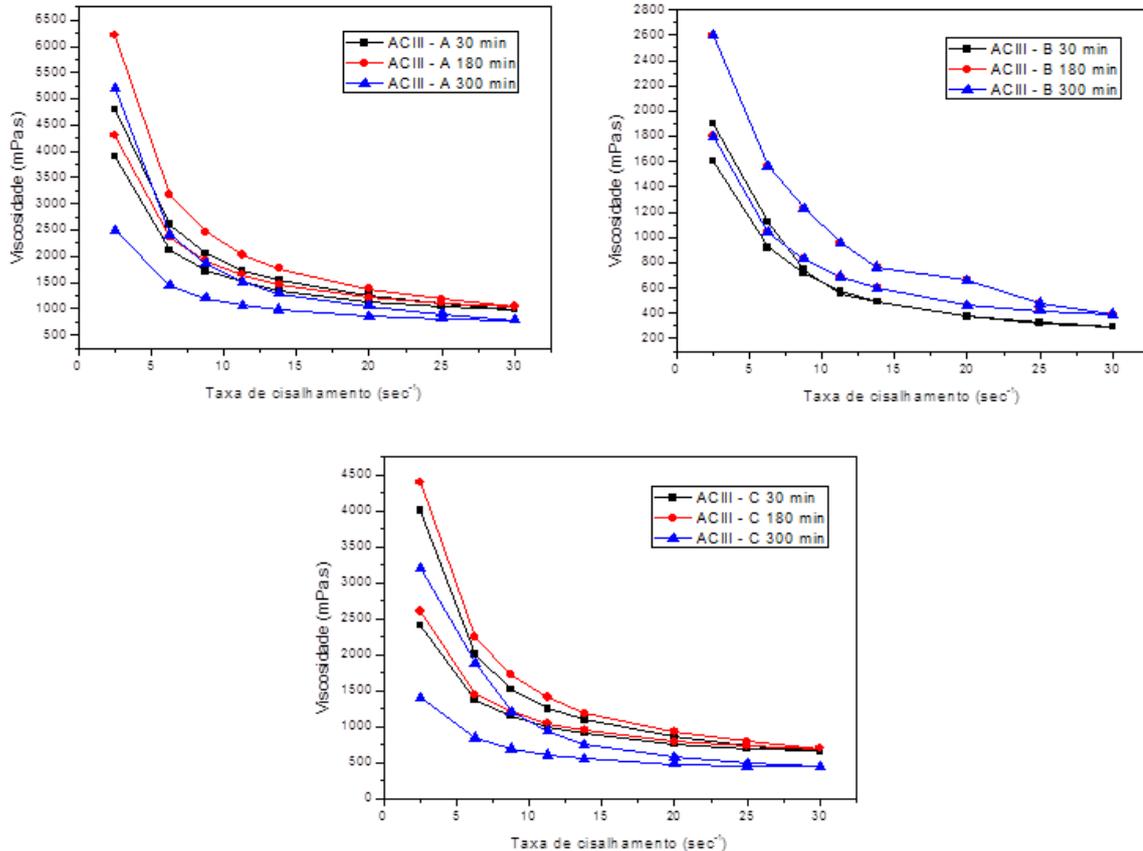
A argamassa ACII-A apresenta para o tempo de 300 minutos os maiores valores de viscosidade, indicando sua consolidação, sendo que, ao comparar o percurso inicial com o final, para este tempo, os dados de viscosidade diminuíram (1100 cP para 1000cP). Para os tempos de 30 minutos (700 cP) e 180 minutos (800 cP) o comportamento foi semelhante tanto no ponto de partida como no ponto de chegada pelas rotações impostas, apresentando menores viscosidades.

Para a argamassa ACII do fabricante B, nota-se que para os tempos de 30 e 180 minutos o comportamento é igual, além disso, seus valores de viscosidade no percurso final são menores que para o percurso inicial. No ensaio aos 300 minutos apresentaram valores menores de viscosidade.

No caso da argamassa ACII-C as curvas demonstram aumento de viscosidade entre os tempos ensaiados de 30 e 180 minutos, provavelmente induzindo a consolidação do material. Aos 300 minutos apresentaram os menores valores de viscosidade, assim como a ACII-B.

Por fim, as curvas de viscosidade das pastas em função da taxa de cisalhamento para as argamassas colantes ACIII com o passar do tempo, para cada fabricante estão expostas na Figura 22.

Figura 22 - Relação entre a viscosidade e a taxa de cisalhamento para o percurso inicial das argamassas colantes ACIII conforme seu tempo de utilização



Fonte: Autoria própria (2015).

As argamassas do tipo ACIII para o Fabricante A e C apresentam curvas semelhantes, sendo que, para o ensaio de 30 até 180 minutos as viscosidades aumentaram com o passar do tempo, indicando consolidação. Aos 300 minutos houve uma queda desses valores nos dois casos.

A argamassa ACIII-B aumentou sua viscosidade em relação ao tempo de 30 até 180 minutos e mostrou aos 180 e 300 minutos características iguais, o que pode indicar a consolidação do material com os maiores valores de viscosidade (2600 cP no percurso inicial e 1800 cP final). Apesar disso, se comparados seus resultados com as argamassas dos outros fabricantes, os mesmos são menores.

Os comportamentos das curvas evidenciam a diminuição da viscosidade com o aumento da taxa de cisalhamento, sendo que as mesmas foram semelhantes para todas as argamassas colantes no percurso inicial do ensaio comparado ao trecho final, o mesmo caso foi encontrado por Costa (2006). Com isso, os perfis das curvas resultantes mostram comportamento pseudoplástico do material.

Nos casos em que ocorreram diminuições de viscosidade, como por exemplo, a partir de 180 minutos, o que acontece após este tempo não é possível ser explicado neste trabalho. Por outro lado, existe o emprego de polímeros em materiais à base de cimento, os quais cada vez mais estão sendo implantados nas misturas, devido ao melhor desempenho que proporcionam nas propriedades de argamassas e concretos. Esses polímeros podem estar alterando o comportamento reológico das argamassas.

Silva (2001) afirma que os polímeros possuem influência significativa na reologia das misturas e condições de hidratação do cimento, sendo que o tipo de polímero utilizado, relação polímero/cimento, relação água/cimento, entre outras características, causam efeitos nas adições envolvendo suas propriedades no estado fresco e endurecido.

A modificação de materiais à base cimento com a utilização de polímeros é influenciada tanto pela hidratação do cimento quanto pela formação de filme (OHAMA; 1998).

A formação do filme ocorre pela saída da água do sistema, isso pode acontecer por secagem ou por consumo nas reações de hidratação do cimento. O filme polimérico pode se formar no interior de poros capilares, em torno dos grãos de cimento e envolvendo os agregados (SILVA, 2001). Essa possibilidade de formação do filme polimérico pode estar alterando a lógica de aumento da viscosidade com o tempo e fazendo com que a viscosidade diminua, como visto em alguns materiais estudados neste trabalho.

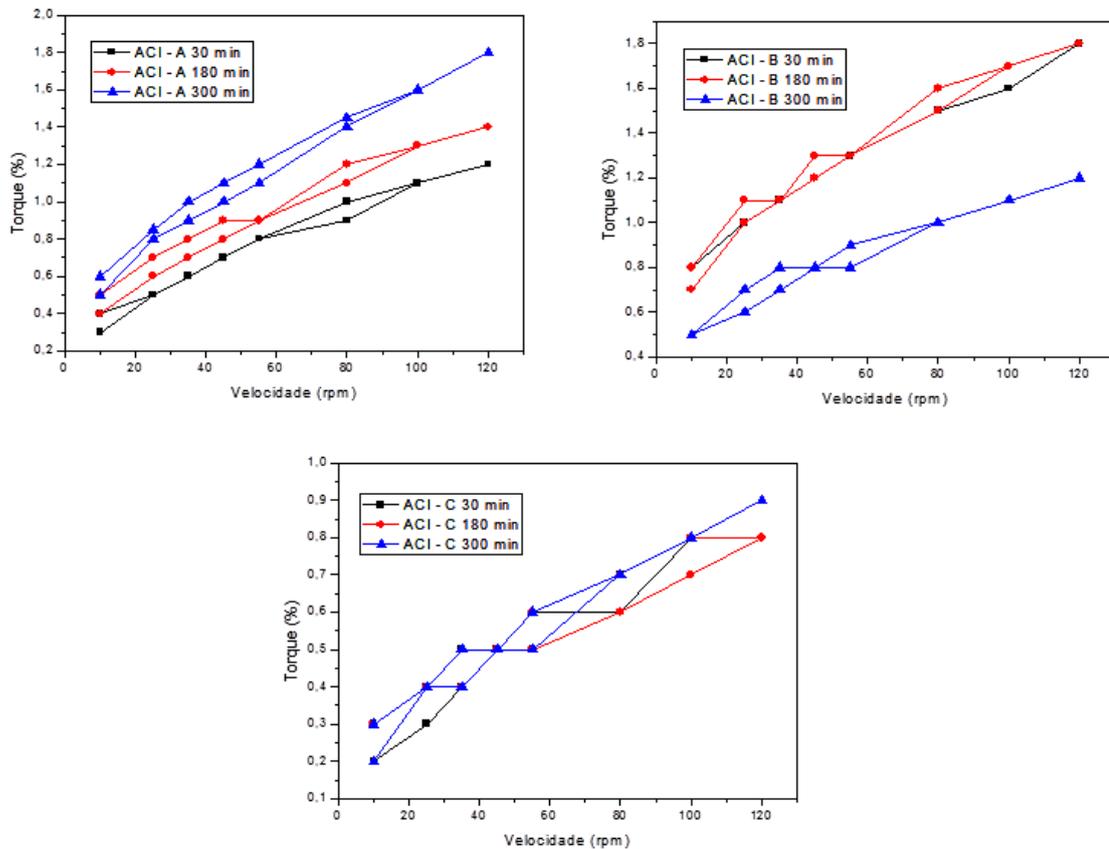
Ao contrário das propriedades macroscópicas das argamassas e concretos, as quais possuem vários estudos, no âmbito microscópico envolvendo o efeito da adição de polímeros no processo de hidratação do cimento, como morfologia, composição, entre outros, são ainda insuficientes. Mesmo assim, é conhecido que os polímeros causam variações significativas na microestrutura dos materiais, alterando a viscosidade, consistência, plasticidade e, conseqüentemente, na trabalhabilidade (SILVA, 2001).

Outra característica perceptível para as argamassas colantes, principalmente para as do tipo ACIII, é que as curvas apresentaram decréscimo dos valores de viscosidade no percurso final em relação ao percurso inicial. Isso pode ser explicado, porque conforme se aumenta a taxa de cisalhamento na mistura, ocorre a destruição dos aglomerados e, conseqüentemente, obtêm-se menores valores de

viscosidade, pois maior é a facilidade de fluxo (WILLIAMS; *et al*, 1999; BARBOSA, 2010).

As figuras seguintes apresentam as curvas de torque pela velocidade. A Figura 23 mostra os resultados encontrados com os ensaios para as argamassas colantes do tipo ACI do Fabricante A, B e C, conforme seu tempo de utilização.

Figura 23 - Aplicação da velocidade controlada para o percurso inicial e final das argamassas colantes ACI de cada fabricante conforme seu tempo de utilização



Fonte: Autoria própria (2015).

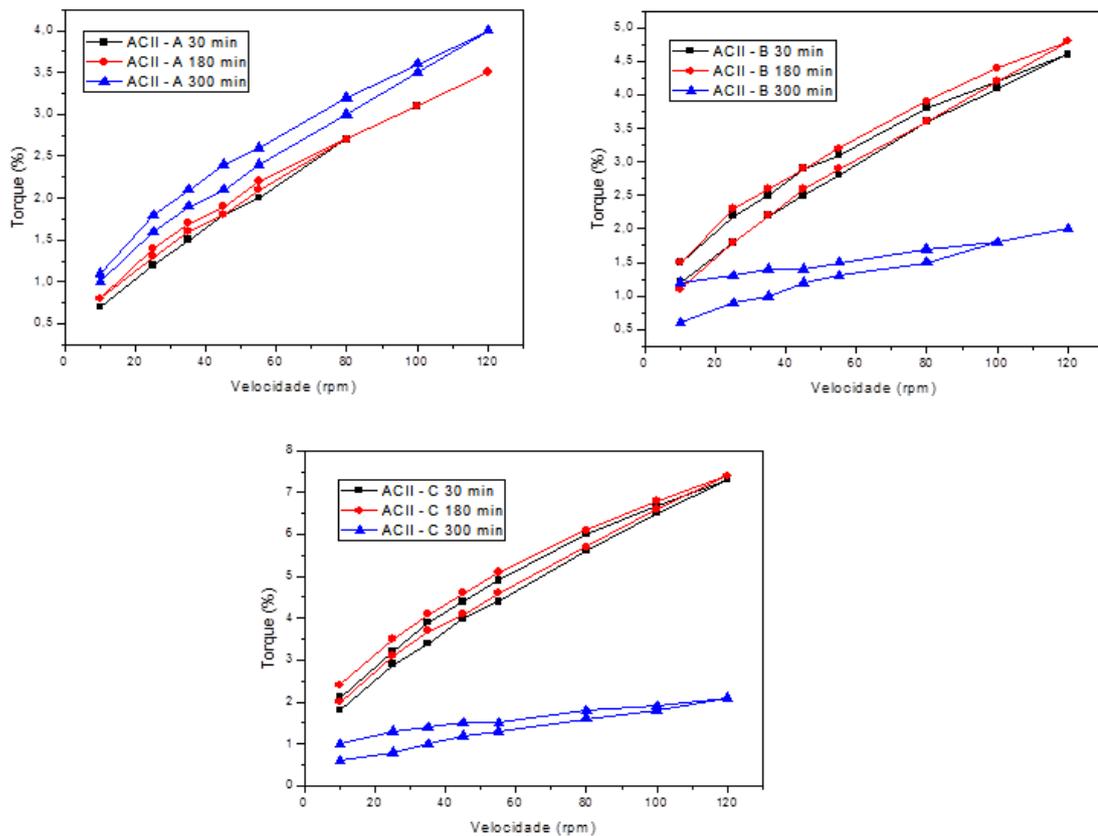
Para a argamassa ACI-A pode-se perceber, que com o passar do tempo foi necessário um nível de torque maior para a movimentação das partículas na suspensão, ou seja, sua viscosidade aumentou em função do tempo, indicando consolidação, conforme observado anteriormente.

Já a argamassa ACI-B para os tempos de 30 e 180 minutos suas curvas foram semelhantes, sendo que aos 300 minutos apresentou menores valores. No caso da argamassa colante ACI do Fabricante C, suas curvas resultaram próximas

umas das outras em todos os tempos de ensaio. Para este ultimo material, não foi possível indicar seu tempo de consolidação.

A Figura 24 apresenta os resultados encontrados para as argamassas colantes do tipo ACII do Fabricante A, B e C para todos os tempos de 30, 180 e 300 minutos nas curvas de torque pela velocidade.

Figura 24 - Aplicação da velocidade controlada para o percurso inicial e final das argamassas colantes ACII de cada fabricante conforme seu tempo de utilização



Fonte: Autoria própria (2015).

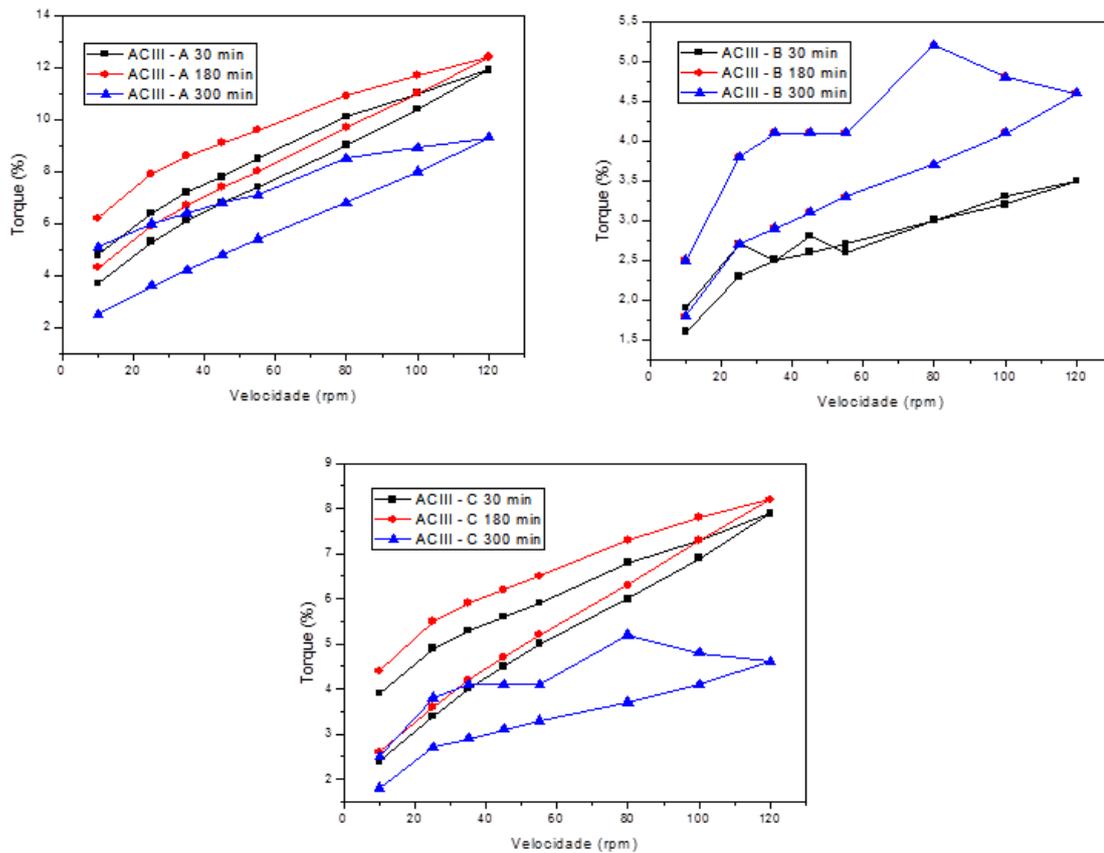
Neste caso, as argamassas colantes ACII dos Fabricantes B e C apresentaram comportamento semelhante, sendo que para o tempo de ensaio de 300 minutos, os valores de viscosidade foram menores em relação ao tempo anterior de 180 minutos. Para a argamassa ACII-C, seu nível de torque aumentou do tempo de 30 para 180 minutos (consolidação), na ACII-B os valores para esses tempos permaneceram estáveis.

Para a argamassa ACII-A os valores, para todos os tempos de ensaio, permaneceram próximos, sendo que para o tempo de 300 minutos a dificuldade de

movimentação foi maior ainda em relação aos outros tempos, indicando a consolidação do material.

Na Figura 25 encontram-se as curvas de torque pela velocidade, para as argamassas colantes do tipo ACIII do Fabricante A, B e C para todos os tempos de ensaio.

Figura 25 - Aplicação da velocidade controlada para o percurso inicial e final das argamassas colantes ACIII de cada fabricante conforme seu tempo de utilização



Fonte: Autoria própria (2015).

No caso das argamassas do tipo ACIII, para o Fabricante A e C seu comportamento foi semelhante, em que maior dificuldade de movimentação na pasta foi aos 180 minutos e para o ensaio aos 300 minutos sua viscosidade diminuiu, facilitando o nível de torque. Talvez a consolidação dessas argamassas esteja entre o tempo de 30 e 180 minutos.

Para o Fabricante B a viscosidade aumenta nos tempos de 30 até 180 minutos, porém, aos 180 e 300 minutos apresentaram valores parecidos. Neste caso, a consolidação do material pode estar acontecendo antes dos 180 minutos.

A partir do ensaio de viscosidade, é possível identificar parâmetros reológicos por meio de diferentes ciclos de cisalhamento. Com isso, pode-se analisar características, como inclinações da curva de torque de escoamento (tensão de escoamento) e ciclos de cisalhamento (viscosidade) (KUDO, 2012).

Em relação aos ciclos, percebeu-se que não houve diferença significativa entre as pastas, principalmente para as do tipo ACI e ACII, para o tempo de 30, 180 e 300 minutos. Algumas apresentaram pouca área de histerese e outras comportamento inerte, ou seja, as mesmas características para o percurso inicial e final.

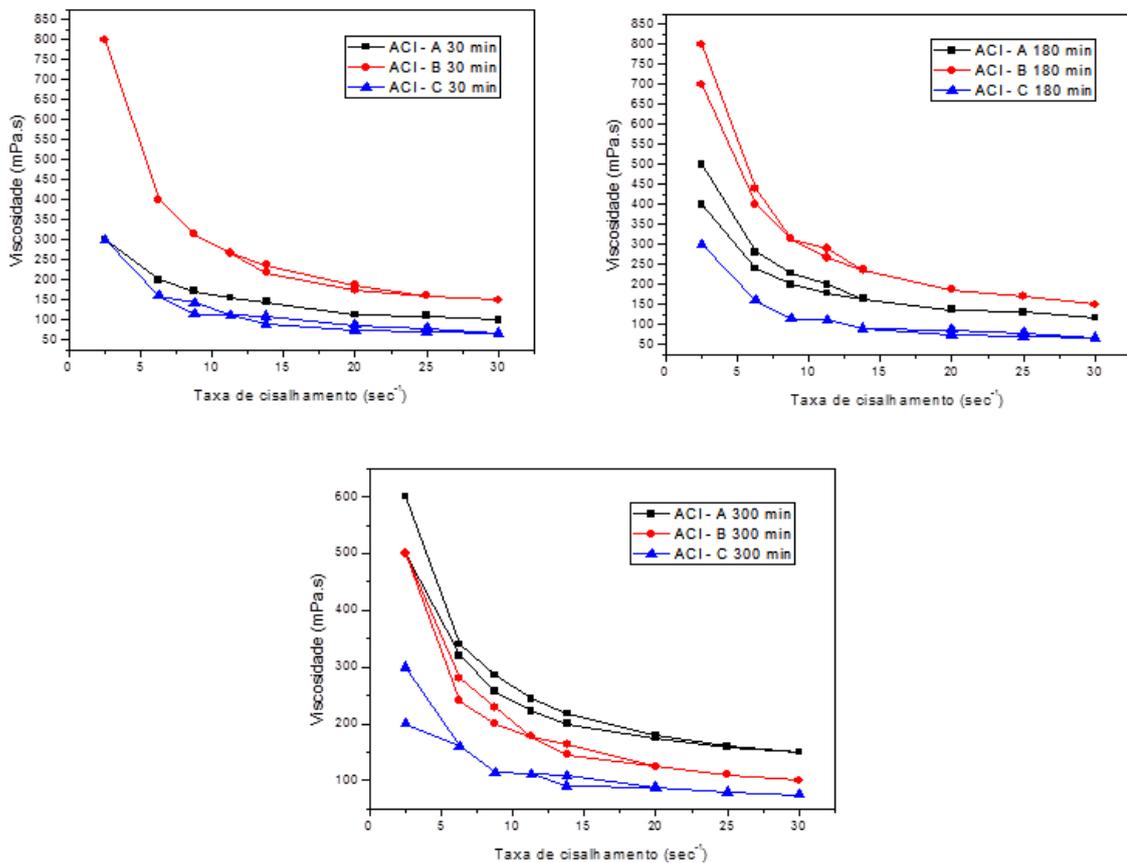
Segundo Kudo (2012), uma área pequena entre as curvas de aceleração e desaceleração, quer dizer que a mistura foi suficiente para destruir os aglomerados e a suspensão está estável, fluida e homogênea.

As diminuições nos níveis de torque que acontecem nos tempos de 180 minutos em relação aos ensaios nos tempos de 300 minutos, podem estar atreladas às mesmas modificações que os materiais à base de cimento sofrem com a utilização de polímeros, influenciando tanto na hidratação do cimento quanto na formação de filme polimérico, conforme visto anteriormente.

Nas curvas a seguir de viscosidade pela taxa de cisalhamento, bem como as curvas de torque pela velocidade para cada tempo de ensaio (30,180 e 300 minutos) variou-se o fabricante. Essas curvas mostraram as semelhanças ou diferenças entre argamassas de mesmo tempo e tipo, mas para diferentes fabricantes.

Na figura 26 ilustram-se as curvas da viscosidade das pastas em função da taxa de cisalhamento para as argamassas colantes ACI, para o mesmo tempo de ensaio, comparando os fabricantes.

Figura 26 - Relação entre a viscosidade e a taxa de cisalhamento para o percurso inicial e final das argamassas colantes ACI aos 30, 180 e 300 minutos



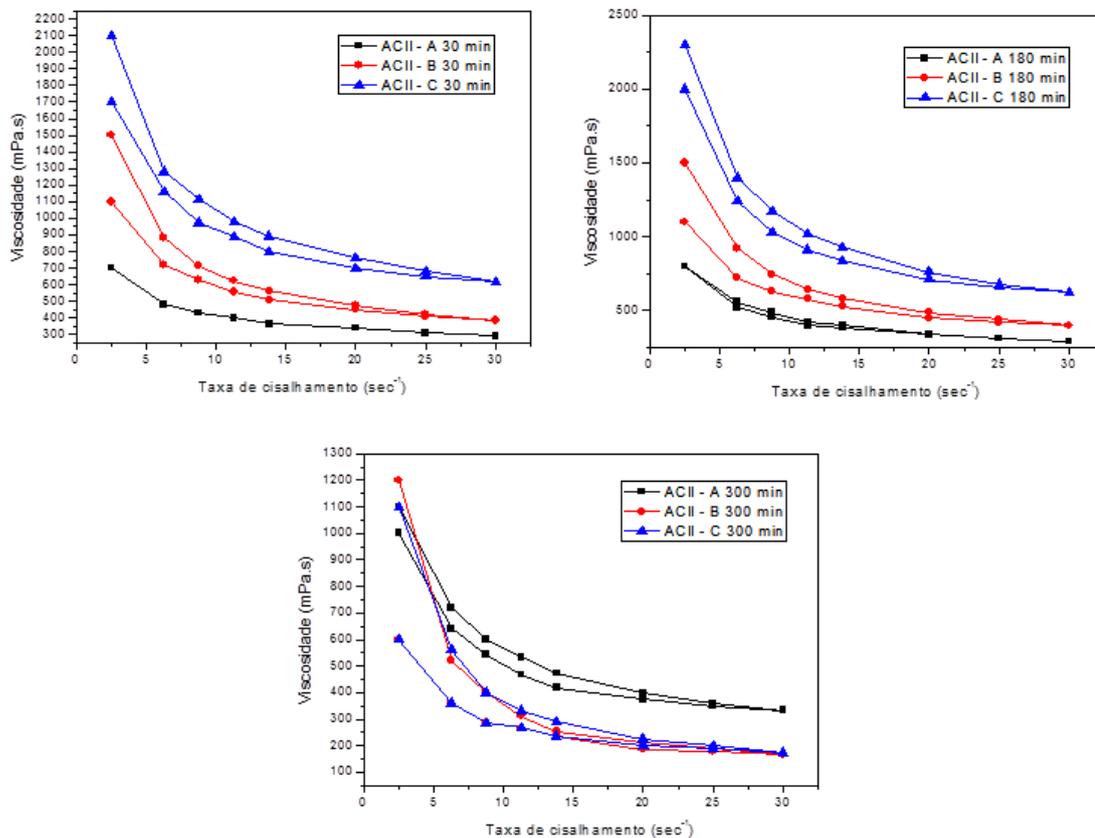
Fonte: Autoria própria (2015).

A argamassa ACI-A e ACI-C apresentaram valores de viscosidade semelhantes para quase todos os tempos. Porém, a partir das curvas é possível perceber que a argamassa ACI-C, mesmo apresentando quantidade de água intermediária entre as argamassas ACI-A e ACI-B, bem como menor quantidade de partículas finas, possui comportamento menos viscoso para todos os tempos de ensaio, indicando maior fluidez comparada às demais argamassas.

A argamassa ACI-B apresentou viscosidade elevada quando comparada às outras argamassas, isso por conter menor quantidade de água recomendada pelo fabricante.

Na Figura 27 estão demonstradas as curvas de viscosidade das pastas em função da taxa de cisalhamento para as argamassas colantes ACII, nos tempos de 30, 180 e 300 minutos de ensaio, para cada fabricante.

Figura 27 - Relação entre a viscosidade e a taxa de cisalhamento para o percurso inicial e final das argamassas colantes ACII aos 30, 180 e 300 minutos



Fonte: Autoria própria (2015).

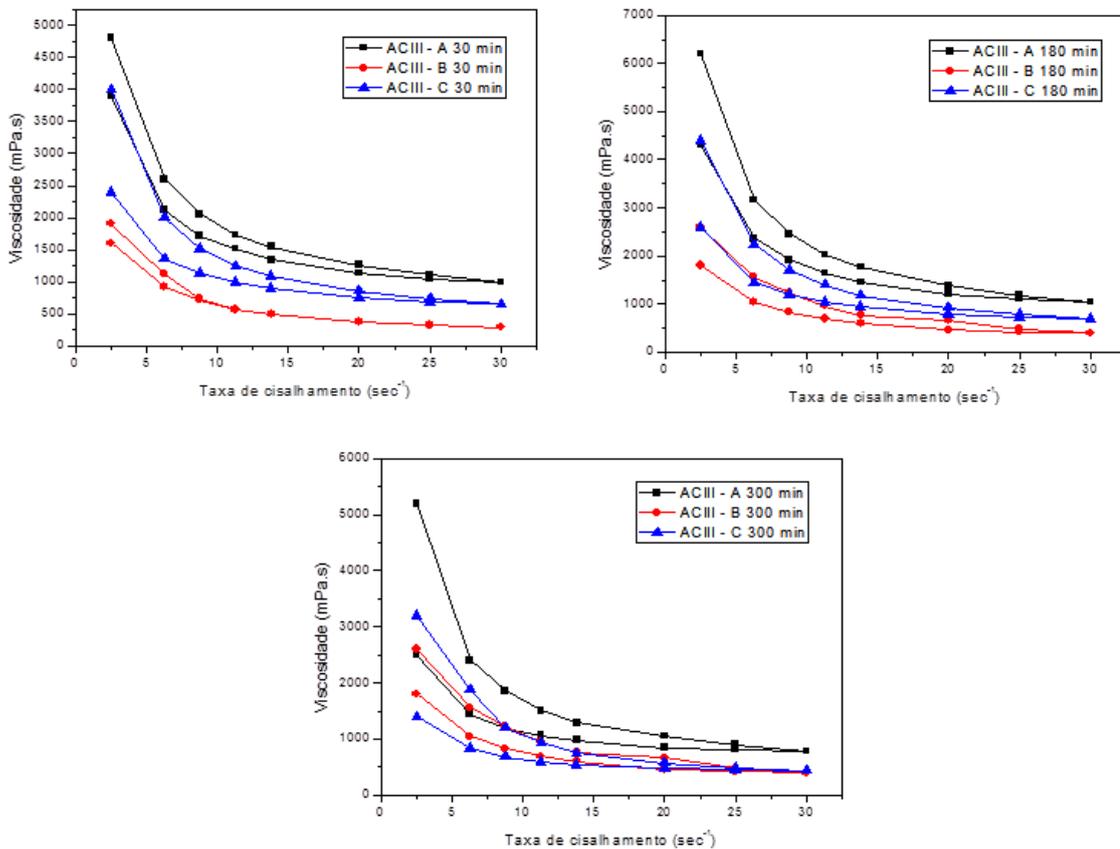
Para a argamassa ACII do Fabricante A, os valores de viscosidade foram menores comparadas às outras argamassas, fato que pode ter ocorrido devido a maior quantidade de água e teor de finos, proporcionando maior fluidez no material. Também houve um aumento de viscosidade com o passar do tempo.

A argamassa ACII-C teve um acréscimo nos valores de viscosidade em relação ao tempo de 30 (inicial 2100 cP e final 1700 cP) para 180 minutos (inicial 2300 cP e final 2000 cP), mas aos 300 minutos seus valores diminuíram (1100 cP inicial e final 600 cP). Maiores valores de viscosidade foram obtidos, por seu teor de água ter sido inferior as demais argamassas.

A argamassa ACII-B manteve-se estável até o tempo de 180 minutos, depois seus valores foram menores.

Na Figura 28 são apresentados os gráficos da viscosidade das pastas em função da taxa de cisalhamento para as argamassas colantes ACIII, conforme os tempos de ensaio.

Figura 28 - Relação entre a viscosidade e a taxa de cisalhamento para o percurso inicial e final das argamassas colantes ACIII aos 30, 180 e 300 minutos



Fonte: Autoria própria (2015).

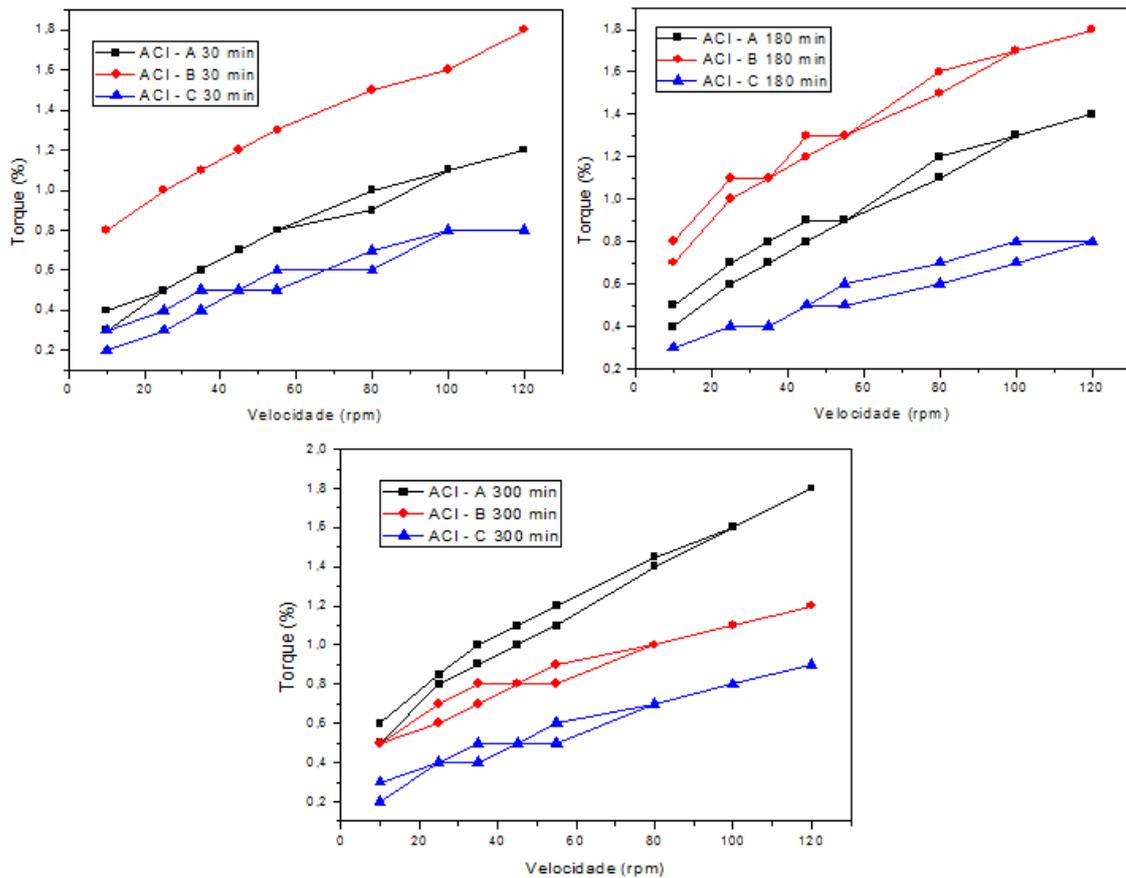
As argamassas ACIII apresentam os maiores valores de viscosidade, bem como maior diferença entre o percurso inicial e final. A argamassa ACIII-A resultou em valores nos tempos de 30, 180 e 300 minutos para o percurso inicial e final de 4800 cP e 3900 cP; 6200 cP e 4300 cP; 5200 cP e 2500 cP, nessa ordem. A argamassa ACIII-B resultou em valores nos tempos de 30, 180 e 300 minutos para o percurso inicial e final de 1900 cP e 1600 cP; 2600 cP e 1800 cP; 2600 cP e 1800 cP, respectivamente. A argamassa ACIII-C resultou em valores nos tempos de 30, 180 e 300 minutos para o percurso inicial e final de 4000 cP e 2400 cP; 4400 cP e 2600 cP; 3200 cP e 1400 cP, também nessa ordem.

De qualquer forma, as argamassas com menor quantidade de água (ACIII-A e ACIII-C) apresentaram maiores valores de viscosidade, com um aumento até o tempo de 180 minutos e posterior redução aos 300 minutos.

A argamassa ACIII do Fabricante B indicou menor viscosidade, pois possui maior teor de finos e de água na mistura. Seus valores aumentaram até o tempo de 180 minutos e permaneceram estáveis aos 300 minutos de ensaio.

As figuras seguintes apresentam as curvas de torque pela velocidade. Na Figura 29 encontram-se os resultados das argamassas colantes ACI dos fabricantes A, B e C para todos os tempos de ensaio.

Figura 29 - Aplicação da velocidade controlada para o percurso inicial e final das argamassas colantes ACI para os tempos de 30,180 e 300 minutos



Fonte: Autoria própria (2015).

A argamassa ACI-A possui maior quantidade de água na mistura e uma maior quantidade de teor de finos, o que a torna um material menos viscoso que as demais. Apesar disso, para os tempos de 30 e 180 minutos manteve-se intermediária entre as argamassas ACI-B e ACI-C, e para o caso de 300 minutos, apresentou os maiores valores de tensão de escoamento.

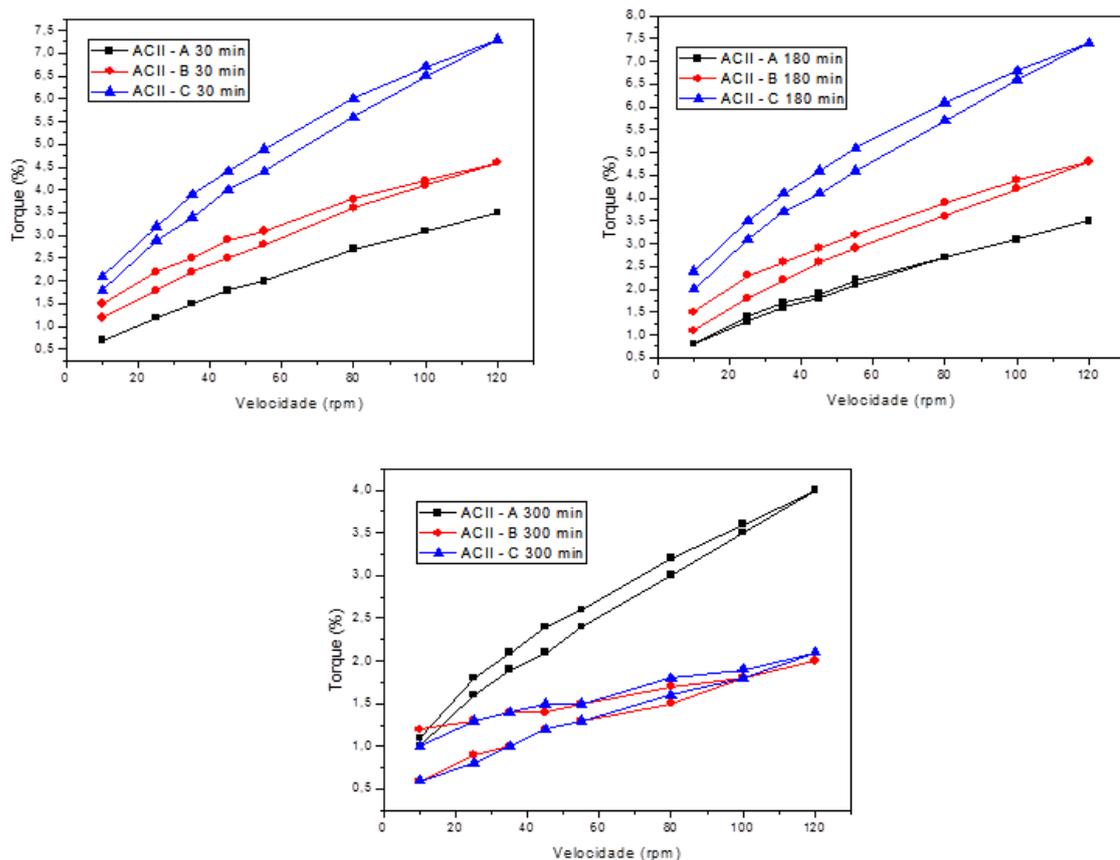
Para o caso da argamassa ACI-B a energia necessária para o início do escoamento (torque de escoamento), foi superior às outras argamassas para quase todos os tempos. Isso pode ter ocorrido, segundo Kudo (2012), devido a uma menor quantidade de água na mistura, aumentando a viscosidade e impedindo o

movimento das partículas. Somente para o tempo de 300 minutos ela apresentou característica diferente.

Já a argamassa ACI-C apresentou o mesmo comportamento para todos os tempos, indicando maior fluidez comparada às demais argamassas. Apesar disso, possui menor quantidade de água que a ACI-A e maior que a ACI-B, e ainda menor quantidade de material fino passante na peneira 200, o que indica comportamento mais viscoso.

A Figura 30 mostra os resultados encontrados para as argamassas colantes do tipo ACII em relação aos fabricantes escolhidos para os tempos de ensaio estudados.

Figura 30 - Aplicação da velocidade controlada para o percurso inicial e final das argamassas colantes ACII para os tempos de 30, 180 e 300 minutos



Fonte: Autoria própria (2015).

Para a argamassa ACII-C, o torque de escoamento foi superior às outras argamassas para os tempos de 30 e 180 minutos. Essa característica representa maior viscosidade em função da menor quantidade de água na mistura, dificultando

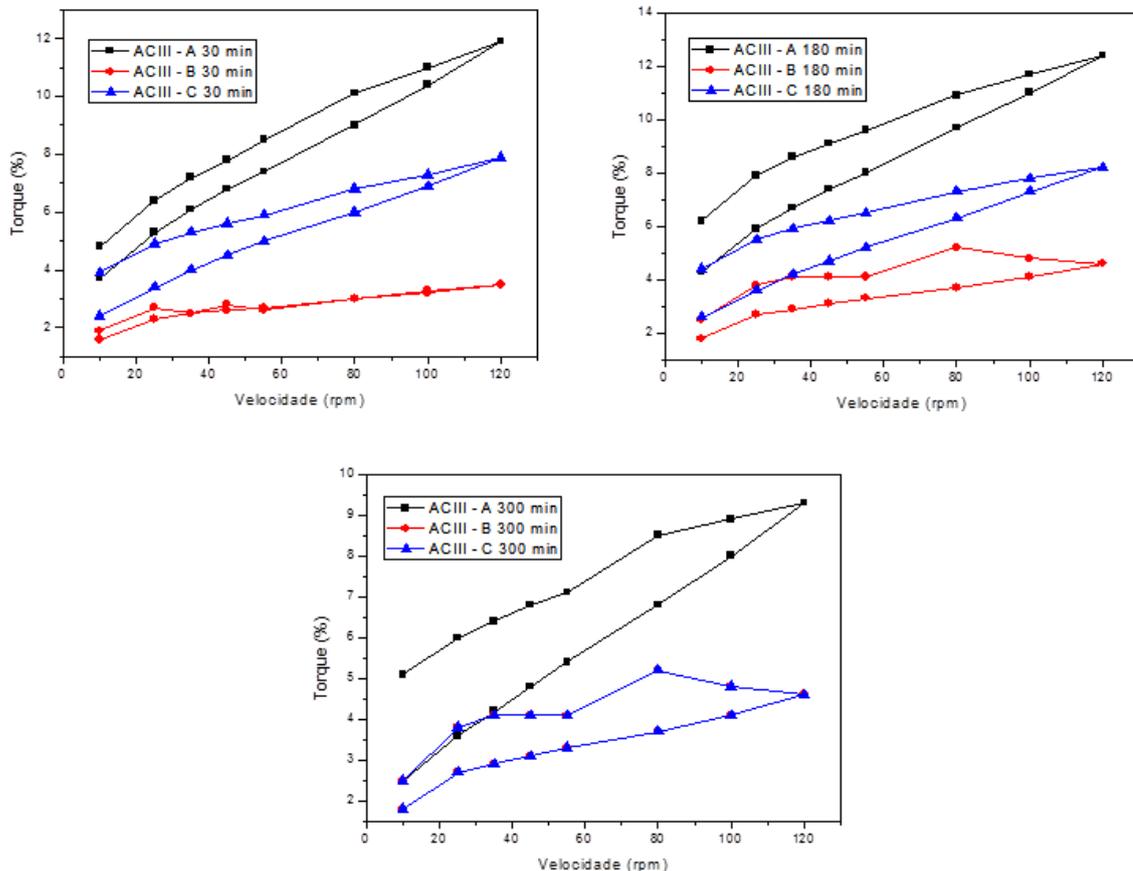
o fluxo no interior do material. Para o tempo de ensaio de 300 minutos, esta adquiriu características diferentes, indicando menor viscosidade com o passar do tempo.

A argamassa ACII–A, apresentou menores valores de viscosidade para a maioria dos tempos, isso ocorreu pela maior quantidade de água indicada pelo fabricante, bem como pelo maior teor de finos, facilitando o rolamento das partículas na suspensão (BETIOLI, 2007). Aos 300 minutos, apresentou comportamento diferenciado quando comparada aos outros tempos de ensaio e demais pastas.

A argamassa ACII–B apresentou comportamento semelhante em todos os ensaios, permanecendo com características intermediárias em relação às argamassa ACII-A e ACII-C, pois a quantidade de água também esta entre estas argamassas.

Na Figura 31 estão expostos os resultados encontrados para as argamassas colantes do tipo ACIII, com a indicação de seu fabricante e tempo ensaiado.

Figura 31 - Aplicação da velocidade controlada para o percurso inicial e final das argamassas colantes ACIII para os tempos de 30,180 e 300 minutos



Fonte: Autoria própria (2015).

Para as argamassas ACIII–A e ACIII–C, a quantidade de água indicada pelos fabricantes na mistura é igual, porém se observadas às curvas para os dois materiais a argamassa ACIII–A apresentou maior viscosidade em todos os tempos de ensaio, sendo que a mesma possui um maior teor de finos quando comparado a ACIII-C.

Pelo fato da argamassa ACIII–B apresentar maior quantidade de água na mistura e maior quantidade de matriz (finos) e aditivo químico, isso auxilia na fluidez do material e diminui o índice de torque, proporcionando melhor rolamento das partículas. Com isso, pode-se afirmar que a mesma apresenta os menores valores de viscosidade para todos os tempos.

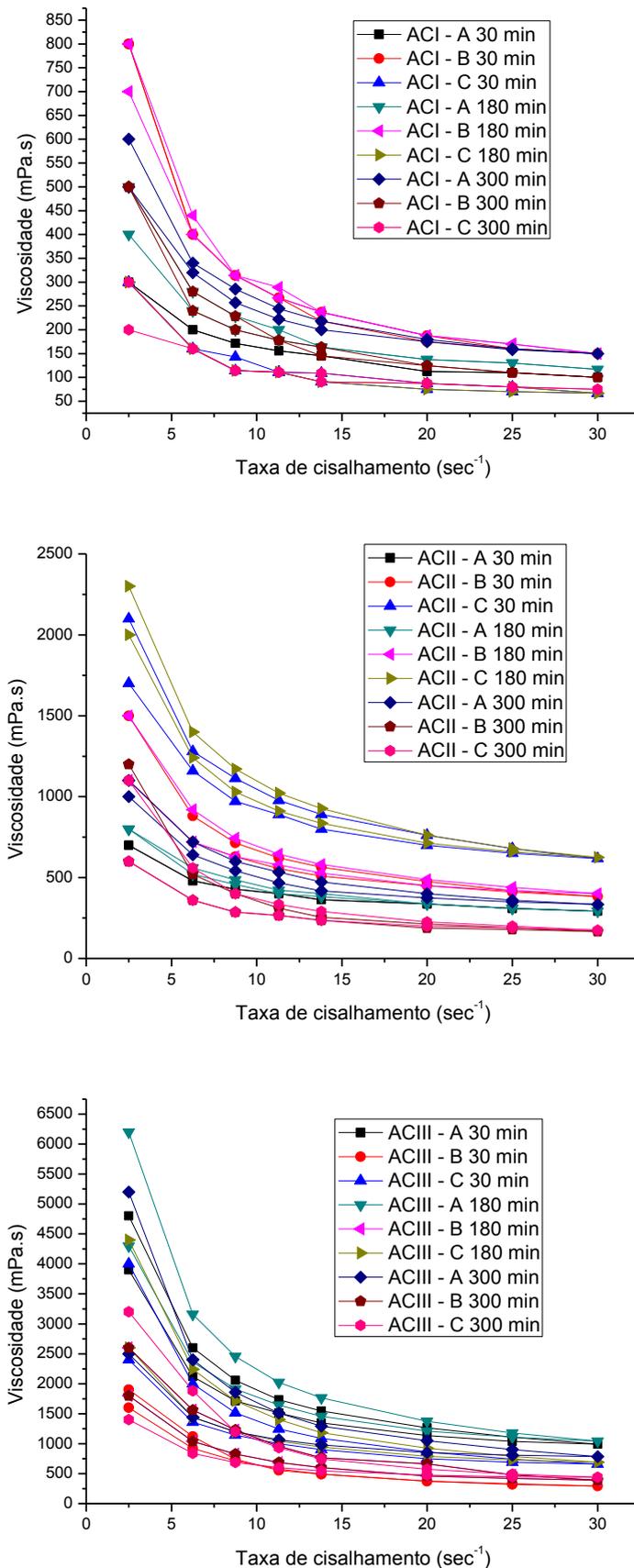
É evidente entre todas as pastas, que quanto maior for o seu tempo de utilização, o material composto pela argamassa colante do tipo ACIII possuirá o maior aumento de área de histerese. Nos ensaios realizados essa argamassa apresentou a maior diferença e complexidade na mistura, diminuindo muito seus valores de viscosidade no percurso final em relação ao inicial.

A seguir estão apresentadas todas as curvas dos diferentes tipos e fabricantes das argamassas colantes ACI, ACII e ACIII (A, B e C) para cada tempo de ensaio. Essas curvas podem demonstrar se os ensaios são capazes de identificar a diferença entre os tipos de argamassas colantes.

Na Figura 32 estão expressas as curvas de viscosidade pela taxa de cisalhamento para todos os tipos e fabricantes das argamassas bem como todos os tempos de ensaios estabelecidos.

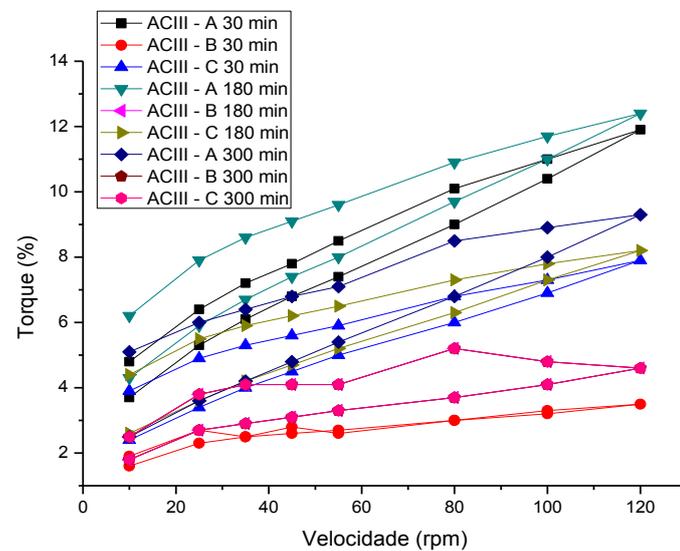
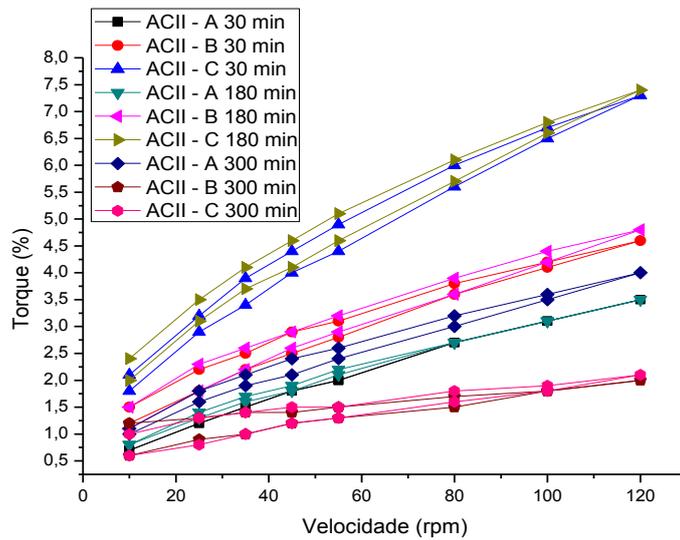
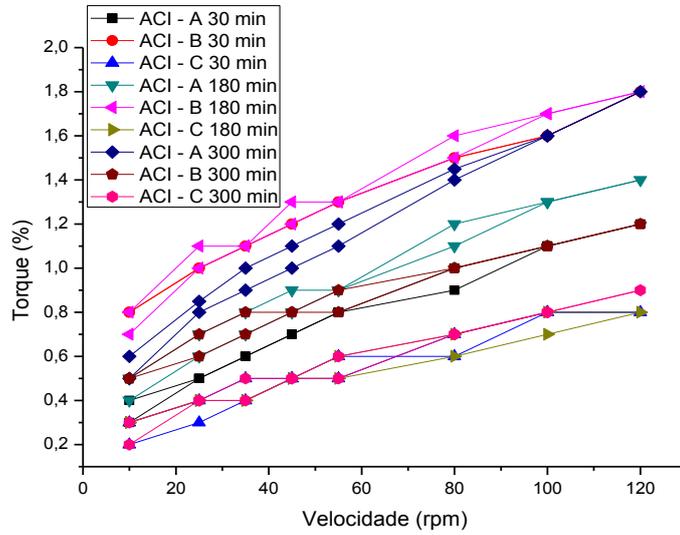
Na Figura 33 estão expressas as curvas de torque pela velocidade para todos os tipos e fabricantes das argamassas bem como todos os tempos de ensaios estabelecidos.

Figura 32 - Viscosidade pela taxa de cisalhamento para todos os tipos e fabricantes com todos os tempos de ensaios



Fonte: Autoria própria (2015).

Figura 33 - Torque pela velocidade para todos os tipos e fabricantes com todos os tempos de ensaios



Fonte: Autoria própria (2015).

Através dos ensaios realizados para todas as argamassas colantes em seu estado anidro, e suas porcentagens de água/materiais secos indicada por seus fabricantes, bem como seu estudo sobre a reologia analisada por parâmetros de viscosimetria da pasta, quando sujeita a ciclos de cisalhamento diferenciados, indicam comportamentos distintos.

4.2.4 Ensaio de deslizamento

É importante ressaltar que neste ensaio o material deve suportar seu peso próprio e o peso da placa cerâmica para que não aconteça o deslizamento ou, ainda, que o deslizamento ocorra dentro de limites aceitáveis.

Segundo Costa (2006), o deslizamento medido no ensaio pode acontecer devido ao escoamento do material ou pelo escorregamento da placa cerâmica em contato com a argamassa. Com isso, as argamassas devem apresentar tensão de escoamento suficiente para suportar as placas e seu peso próprio. Para as argamassas com tensão de escoamento abaixo do necessário, as mesmas não irão aderir de maneira ideal no revestimento, induzindo o deslizamento da placa cerâmica.

O deslizamento máximo especificado pela norma NBR 14081-5 (ABNT, 2012) é de 0,7 mm. Os resultados dos ensaios para o tempo de 30 minutos após o contato do material seco com a água encontram-se na Tabela 6 e no Gráfico 4.

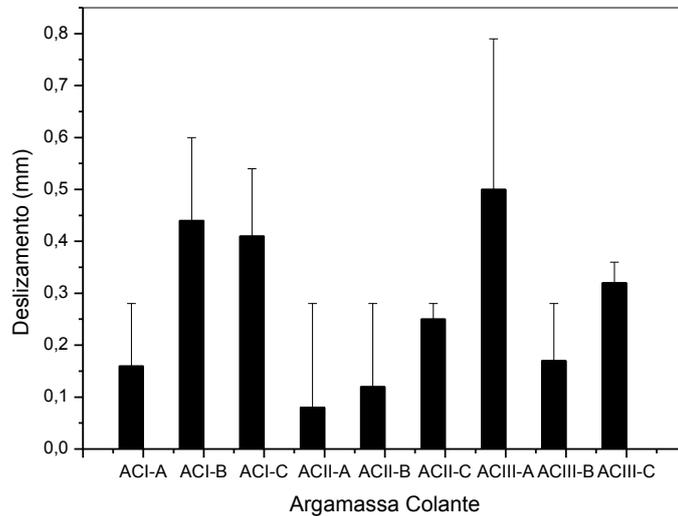
Tabela 6 - Resultado ensaio de deslizamento – 30 minutos

Argamassa Colante	Deslizamento (mm)	Desvio Padrão (mm)	Coef. Variação (%)
ACI - A	0,16	0,12	44,42
ACI - B	0,44	0,16	55,98
ACI - C	0,41	0,13	45,22
ACII - A	0,08	0,20	70,72
ACII - B	0,12	0,16	55,78
ACII - C	0,25	0,03	11,55
ACIII - A	0,57	0,29	103,78
ACIII - B	0,17	0,11	37,85
ACIII - C	0,32	0,04	15,34

Fonte: Autoria própria (2015).

No Gráfico 4 estão os resultados dos ensaios para o tempo de 30 minutos após o contato do material seco com a água.

Gráfico 4 - Ensaio de deslizamento – 30 minutos



Fonte: Autoria própria (2015).

Os ensaios de deslizamento foram realizados também para os tempos de 180 e 300 minutos após a mistura, procurando entender o efeito da viscosidade na argamassa fresca. A Tabela 7 mostra-se os resultados encontrados para todos os intervalos de tempo no estudo.

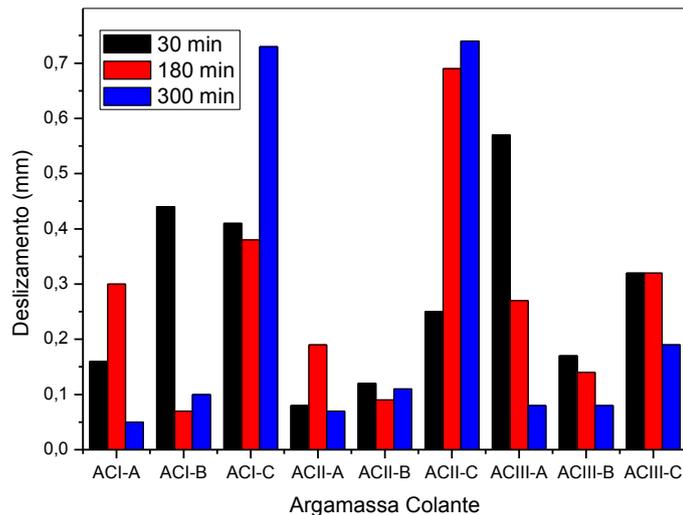
Tabela 7 - Resultado ensaio de deslizamento para os tempos de 30, 180 e 300 minutos

Argamassa Colante	Deslizamento aos 30 min (mm)	Desvio Padrão (mm)	Coef. Variação (%)	Deslizamento aos 180 min (mm)	Desvio Padrão (mm)	Coef. Variação (%)	Deslizamento aos 300 min (mm)	Desvio Padrão (mm)	Coef. Variação (%)
ACI - A	0,16	0,12	44,42	0,30	0,03	10,35	0,05	0,19	80,45
ACI - B	0,44	0,16	55,98	0,07	0,21	75,48	0,10	0,14	57,41
ACI - C	0,41	0,13	45,22	0,38	0,11	41,01	0,73	0,49	207,21
ACII - A	0,08	0,20	70,72	0,19	0,08	28,27	0,07	0,17	71,37
ACII - B	0,12	0,16	55,78	0,09	0,19	68,73	0,11	0,13	53,92
ACII - C	0,25	0,03	11,55	0,69	0,42	153,20	0,74	0,50	210,71
ACIII - A	0,57	0,29	103,78	0,27	0,00	0,68	0,08	0,16	65,09
ACIII - B	0,17	0,11	37,85	0,14	0,13	48,50	0,08	0,16	67,88
ACIII - C	0,32	0,04	15,34	0,32	0,05	17,10	0,19	0,05	21,80

Fonte: Autoria própria (2015).

No Gráfico 5 é possível verificar os resultados dos ensaios para cada tempo estudado.

Gráfico 5 - Ensaio de deslizamento para os tempos de 30, 180 e 300 minutos das argamassas colantes ACI, ACII e ACIII



Fonte: Autoria própria (2015).

Através dos resultados obtidos nos ensaios, é possível perceber que as argamassas que apresentaram deslizamento superior ao limite especificado pela norma foram as do tipo ACI e ACII do Fabricante C, no tempo de ensaio de 300 minutos. Isso pode ser explicado, no caso da argamassa ACI-C, visto que a mesma apresentou menor quantidade de finos e água intermediária em relação à ACI-A e ACI-B, ou seja, tendência a ter maior viscosidade em relação às outras argamassas. Porém, suas curvas relataram maior fluidez para os tempos de 30, 180 e 300 minutos comparada aos outros fabricantes de argamassas colantes ACI, provavelmente induzindo, ao maior deslizamento, na maioria dos casos, se comparado às outras argamassas, deslizamento ocorrido pelo escorregamento da placa cerâmica. Essa argamassa não apresentou consolidação por permanecer com seus valores estáveis nos ensaios.

Para a argamassa ACII-C, apesar da quantidade de água indicada ser menor que as outras ACII, de modo a tornar o material mais viscoso, seus resultados indicaram um deslizamento maior da placa cerâmica na interface com a argamassa, para todos os tempos ensaiados, apresentando consolidação com o aumento da viscosidade até os 180 minutos. Apesar desse tempo de consolidação, seus valores

de deslizamento só aumentaram com o passar do tempo. Segundo Costa (2006) se a tensão de escoamento do material é alta, indicaria um deslizamento menor, porém, maior dificuldade de formação dos cordões. Na obra o ideal é uma situação intermediária entre a formação dos cordões e o não deslizamento após a placa cerâmica ser aplicada.

Sobre a consolidação do material comparado ao deslizamento ocorrido nas placas cerâmicas, as argamassas que se consolidaram em todos os tempos, ou seja, aumentaram seus valores de viscosidade em cada ensaio, entre elas a ACI-A e ACII-A, aumentaram quase o dobro de seus valores de deslizamento até 180 minutos e apresentaram os menores valores de deslizamento aos 300 minutos, ou seja, menor tensão de escoamento. Porém, mesmo apresentando consolidação em todos os tempos, seus valores de deslizamento não seguiram uma tendência. Também vale ressaltar que seus resultados no ensaio de deslizamento, comparando com as argamassas de mesma categoria foram os menores, apesar de ser uma argamassa com maior fluidez, pois possui os menores valores de viscosidade na maioria dos casos.

A argamassa ACIII-B apresentou um tempo de consolidação aos 180 minutos, pois teve um aumento de sua viscosidade até este tempo. A partir disso, permaneceu estável, porém, seus resultados de deslizamento diminuíram com o passar do tempo, mesmo sendo o material mais fluido comparado às outras argamassas ACIII, este apresentou menor deslizamento.

No caso das argamassas ACIII-A e ACIII-C, ambas tiveram aumento de viscosidade com o passar do tempo, com diminuição aos 300 minutos, indicando consolidação aos 180 minutos. Para a argamassa ACIII-A, a tendência foi de diminuir o deslizamento com o passar do tempo, na argamassa ACIII-C, seus valores de deslizamento no tempo de 30 e 180 minutos foram iguais, já no último tempo (300 minutos) seu deslizamento foi menor, não seguindo tendência com o tempo de consolidação. Os valores de deslizamento para as duas argamassas foram maiores que a ACIII-B.

As argamassas ACI-B e ACII-B se mantiveram estáveis nos dois primeiros tempos de ensaio (30 e 180 minutos), porém aos 300 minutos houve redução da viscosidade, não indicando consolidação. Em seus resultados de deslizamento, no primeiro tempo de 30 minutos foram os maiores, com diminuição do deslizamento no tempo seguinte e acréscimo dos valores no último tempo de 300 minutos com

relação ao tempo anterior de 180 minutos. Comparando a argamassa ACI-B com às dos Fabricantes A e C, a mesma apresentou valor de deslizamento maior nos primeiros 30 minutos, sendo esta a argamassa que possui maior viscosidade, mas para os ensaios de 180 seu deslizamento foi menor. Já a ACII-B comparada às argamassas de mesma categoria, possui viscosidade intermediária entre a ACII-A e ACII-C, mas seus valores foram semelhantes a ACII-A e bem menores que a ACII-C.

Segundo Silva (2010), após o lançamento da argamassa no substrato começa o processo de consolidação da argamassa, na qual a mesma perde trabalhabilidade tanto pela sucção da base como pela evaporação ambiente, na prática, este processo é chamado de “tempo de puxamento”. Tanto o tipo de substrato quanto as condições do ambiente influenciam na consolidação e, conseqüentemente, alteram o comportamento reológico das argamassas.

Os efeitos que as características reológicas sofrem no processo de consolidação se tornam difíceis de explicar, assim como pode ser visto neste trabalho, na tentativa de relacionar a análise da reologia por viscosimetria e o tempo de utilização das argamassas colantes.

O ensaio brasileiro de deslizamento é o único que leva em conta a caracterização no estado fresco das argamassas colantes. Apesar disso, algumas deficiências são apresentadas pelo mesmo, assim como identificado por autores como Silva (2003), que encontrou muitas variações nos resultados de deslizamento.

Diante disso, torna-se importante introduzir esta análise conjunta com os conceitos reológicos para verificar o comportamento das argamassas colantes no estado fresco, contribuindo para o meio tecnológico. Por meio da viscosimetria foi possível identificar algumas características, mas em função da variabilidade dos resultados, ainda não se tornou claro o comportamento das argamassas colantes comparando a consolidação com o deslizamento, até mesmo por se tratar de um material complexo de se analisar.

4.2.5 Resistência de aderência à tração

A moldagem das placas para o ensaio de resistência de aderência à tração no estado endurecido foi realizada com a finalidade de analisar o desempenho das argamassas colantes, atrelada com as suas características no estado fresco. Antes

do ensaio, os corpos-de-prova foram submetidos ao processo de cura normal, com temperatura ambiente de laboratório durante 28 dias.

A Tabela 8 apresenta os resultados do ensaio de resistência de aderência à tração aos 30 minutos.

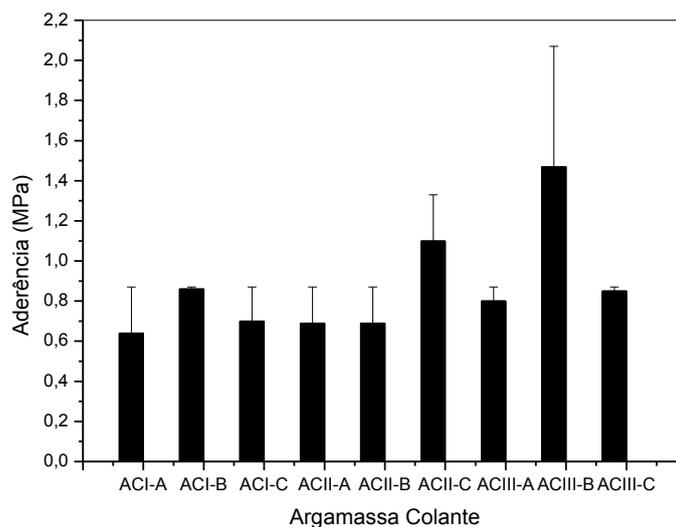
Tabela 8 - Resultado ensaio de resistência de aderência à tração - 30 minutos

Argamassa Colante	Aderência aos 30 min (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Coef. Variação (%)
ACI - A	0,64	0,23	26,15
ACI - B	0,86	0,01	0,77
ACI - C	0,70	0,17	19,23
ACII - A	0,69	0,18	20,38
ACII - B	0,69	0,18	20,38
ACII - C	1,10	0,23	26,92
ACIII - A	0,80	0,07	7,69
ACIII - B	1,47	0,60	69,62
ACIII - C	0,85	0,02	1,92

Fonte: Autoria própria (2015).

O Gráfico 6 mostra os resultados encontrados no tempo de 30 minutos.

Gráfico 6 - Ensaio de resistência de aderência à tração - 30 minutos



Fonte: Autoria própria (2015).

Foram também realizados ensaios de aderência à tração para os tempos de 180 e 300 minutos após a mistura. A Tabela 9 mostra os resultados encontrados para cada intervalo de tempo analisado.

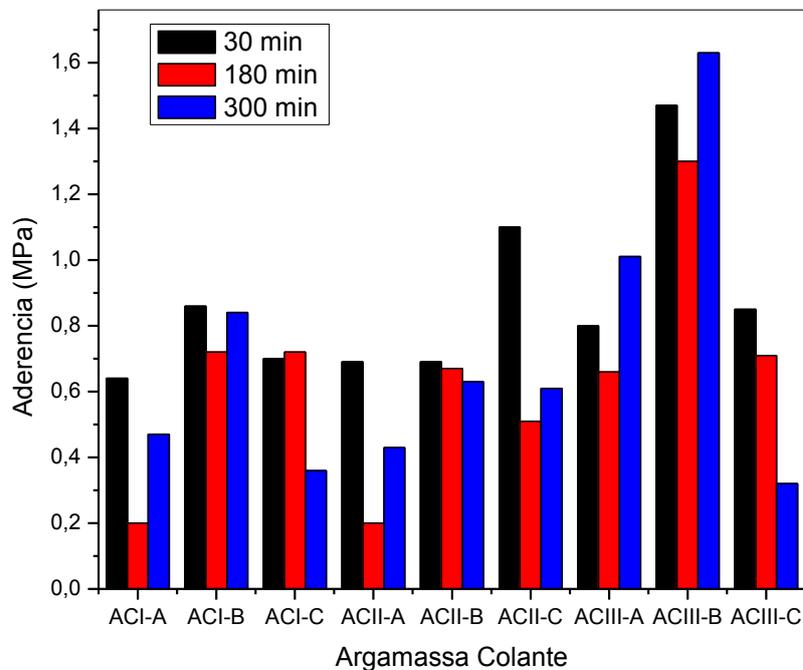
Tabela 9 - Resultado ensaio de resistência de aderência à tração para os tempos de 30, 180 e 300 minutos

Argamassa Colante	Aderência aos 30 min (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Coef. Variação (%)	Aderência aos 180 min (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Coef. Variação (%)	Aderência aos 300 min (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Coef. Variação (%)
ACI - A	0,64	0,23	26,15	0,20	0,43	68,37	0,47	0,23	32,86
ACI - B	0,86	0,01	0,77	0,72	0,09	13,88	0,84	0,14	20,00
ACI - C	0,70	0,17	19,23	0,72	0,09	13,88	0,36	0,34	48,57
ACII - A	0,69	0,18	20,38	0,20	0,43	68,37	0,43	0,27	38,57
ACII - B	0,69	0,18	20,38	0,67	0,04	5,98	0,63	0,07	10,00
ACII - C	1,10	0,23	26,92	0,51	0,12	19,33	0,61	0,09	12,86
ACIII - A	0,80	0,07	7,69	0,66	0,03	4,39	1,01	0,31	44,29
ACIII - B	1,47	0,60	69,62	1,30	0,67	105,62	1,63	0,93	132,86
ACIII - C	0,85	0,02	1,92	0,71	0,08	12,30	0,32	0,38	54,29

Fonte: O autor (2015).

O Gráfico 7 apresenta os resultados para cada tipo de argamassa colante.

Gráfico 7 - Ensaio de resistência de aderência à tração para os tempos de 30, 180 e 300 minutos das argamassas colantes ACI, ACII e ACIII



Fonte: Autoria própria (2015).

Segundo a NBR 14081-1 (ABNT, 2012), em função do tipo de cura a qual o material foi submetido, é necessário que cada tipo de argamassa atinja uma resistência mínima de aderência à tração como, por exemplo, argamassas colantes do tipo ACI e ACII seu valor é 0,5 MPa e do tipo ACIII com no mínimo 1,0 MPa.

Ao comparar os resultados pode-se perceber que a maioria dos casos das argamassas ACI e ACII apresentaram valores de resistência superiores ao mínimo indicado pela norma.

Porém, se analisadas separadamente as argamassas, conforme seus tempos de utilização, pode-se perceber que aos 30 minutos, se for descontado o valor do desvio padrão para a argamassa ACI-A, seu valor de resistência será de 0,41 MPa, inferior ao especificado pela norma. Já para o tempo de 180 minutos a argamassa ACI e ACII do fabricante A apresentaram valores menores (0,20 MPa) ao exigido pela norma. Para o tempo de 300 minutos as argamassas ACI-A e ACII-A apresentaram também valores menores a 0,5 MPa, valor mínimo exigido pela norma. A explicação disso pode se dar ao fato de que, com o passar do tempo, a dificuldade de aplicação e formação dos cordões aumentou, diminuindo o contato entre as interfaces e, conseqüentemente, sua aderência, devido à consolidação do material analisada em sua reologia e causada pelo aumento da viscosidade ao longo do tempo.

No ensaio aos 180 minutos, a argamassa ACII-C, ao descontar o desvio padrão, resulta na resistência de 0,39 MPa. Essa argamassa apresentou maior viscosidade em relação aos outros fabricantes, isso pode dificultar a aplicação do material influenciando em sua aderência, seu tempo de consolidação foi aos 180 minutos com aumento da viscosidade até este tempo, no ensaio aos 30 minutos apresentou a maior resistência mesmo com maior viscosidade. A argamassa ACI-C não apresentou tempo de consolidação, pois manteve seus valores de viscosidade iguais, mas aos 300 minutos apresentou valores menores a 0,5 MPa, valor mínimo exigido pela norma de resistência de aderência. Nos primeiros ensaios (30 e 180 minutos), destaca-se os maiores valores de resistência ao se comparar com a ACI-A e ACI-B.

Para as argamassas do tipo ACIII, pode-se dizer que considerando o desvio padrão, nenhuma das argamassas atingiu o mínimo estabelecido pela norma (1,0 MPa). Apesar da argamassa ACIII-B apresentar consolidação na caracterização reológica por viscosimetria até os 180 minutos, a mesma possuiu os maiores valores

de aderência, talvez pelo fato dessa argamassa possuir menores viscosidades e, com isso, maior resistência de aderência através da facilidade de aplicação e preenchimento de lacunas responsáveis pela ancoragem do material. Por fim, os resultados dessas argamassas não apresentaram tendência com seu tempo de consolidação, pois a argamassa ACIII-A apresentou decréscimo e acréscimo nos valores de resistência, com consolidação aos 180 minutos, já a ACIII-C obteve a mesma tendência na consolidação, mas seus valores de resistência só tenderam a diminuir.

Para Cincotto *et al.* (1995), os coeficientes de variação do ensaio de resistência de aderência variam de 10 a 35%, ligados à metodologia do ensaio, podendo interferir no resultado e análise final dos dados.

O ensaio de resistência de aderência à tração, apesar de utilizado pelo meio técnico para metodologia de ensaio de argamassas colantes no estado endurecido, apresenta variabilidade nos resultados, atrelado ao complexo envolvimento no mecanismo de contato das interfaces argamassa-substrato e placa-argamassa, bem como variações que o próprio procedimento de ensaio apresenta (ANTUNES, 2012).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em função da diferente composição e demanda de água das argamassas colantes, é possível verificar a variabilidade nos parâmetros de viscosidade das argamassas. A quantidade de água indicada pelos fabricantes possui pontos a serem criticados, entre eles: não se tem a medida de água que sobra para lubrificação e aumento ou diminuição da viscosidade; também não é possível estabelecer a igualdade da relação água/cimento entre as misturas.

Diferentes quantidades de água/materiais secos indicados pelos fabricantes das argamassas colantes, atrelados a uma maior granulometria do material, dificultam o fluxo no interior do mesmo e, conseqüentemente, alteram sua viscosidade. A granulometria e o teor de finos permitem estabelecer uma tendência de comportamento, porém, não se sabe a quantidade de cimento, filler e polímero presente na parcela de finos, tornando difícil explicar o que pode acontecer depois de 3 horas de mistura do material com a água. Com isso pode-se concluir que, quando submetidas a vários ciclos de cisalhamento, as argamassas colantes apresentam comportamentos distintos.

Para a argamassa ACI-C, seu tempo de consolidação não foi possível ser identificado nas curvas geradas pelos diferentes ciclos de cisalhamento aplicados, pois seus valores permaneceram estáveis em todos os tempos de ensaio (30,180 e 300 minutos). Já para as argamassas ACI-A e ACII-A, suas consolidações foram observadas pelo aumento da viscosidade ao longo do tempo, contendo nestes dois materiais a maior quantidade de água e de partículas finas em relação às argamassas de mesmo tipo.

As argamassas ACIII-A, ACII-C e ACIII-C apresentaram consolidação até o tempo de 180 minutos, aos 300 minutos indicaram menores valores de viscosidade. Já as argamassas ACI e ACII do Fabricante B permaneceram estáveis para os tempos de 30 e 180 minutos, aos 300 minutos, também diminuíram seus resultados de viscosidade, havendo mudança em sua reologia. A argamassa ACIII do Fabricante B apresentou consolidação aos 180 minutos, pois seus valores de viscosidade aumentaram até este tempo e após permaneceram estáveis.

Para as argamassas ACIII, entre todas as pastas analisadas, essas possuem o maior aumento de área de histerese com o passar do tempo. Seus valores de viscosidade diminuíram muito no percurso final em relação ao inicial, com o passar

do tempo, sendo considerado um material com diferença e complexidade em sua composição.

Já o ensaio de deslizamento, por tratar-se do único ensaio realizado no estado fresco das argamassas colantes, apesar dos resultados apresentarem algumas tendências, ainda necessita ser mais bem estudado por outros parâmetros de análise, pois, de certa forma, com a viscosimetria não foi possível identificar alguns resultados, devido à grande variabilidade apresentada. Os materiais que apresentaram consolidação, como por exemplo, aumento da viscosidade ao longo do tempo, representaram também os menores valores de deslizamento por possuírem menor fluidez.

Desta forma, assim como no ensaio de deslizamento, o ensaio de resistência de aderência à tração para o estado endurecido resultou em valores complexos apresentando grandes variações, com isso, dificulta-se a relação com a viscosidade do material e seu tempo de consolidação. Porém, a argamassa ACIII-B apresentou consolidação aos 180 minutos e seus valores foram os maiores para resistência comparando-se com outras de mesmo tipo, mas, como analisado, sua quantidade de água e finos eram as maiores e sua viscosidade foi a menor em todos os tempos, auxiliando na aderência. Mesmo assim, todos seus valores resultaram abaixo da norma.

Para várias argamassas foi observado que as mesmas apresentam uma tendência nos tempos de 30 até 180 minutos. No entanto, a partir disso, aos 300 minutos suas características de comportamento são alteradas, isso poderá causar dificuldades nas etapas de assentamento das placas cerâmicas e posteriormente, problemas no seu desempenho e durabilidade.

Vale ressaltar também que os polímeros, como modificadores da reologia de materiais à base cimento, influenciam tanto na hidratação do cimento quanto na formação de filme polimérico, causando variações de comportamento reológico com o passar do tempo.

Sabe-se por outros autores que as partículas influenciam nas propriedades reológicas dos materiais conforme sua quantidade e tamanho. A morfologia é um aspecto importante no desempenho reológico dos materiais, pois, quanto maior a irregularidade de forma, maior a viscosidade; partículas rugosas e alongadas possuem maior dificuldade de fluxo; e partículas com textura arredondada e pouco alongada beneficiam o fluxo. Com isso, as argamassas industrializadas não

permitem uma análise a priori da morfologia das partículas, sendo este, um aspecto importante para entender o comportamento desses materiais.

Com isso, as argamassas colantes, por meio de suas diferentes relações água/material seco, resposta dos ensaios no estado fresco e análise da reologia por viscosimetria, possuem comportamento distinto, sendo necessária uma melhor análise do seu comportamento reológico, por meio de outros métodos de ensaio, tentando verificar maior tendência nos resultados.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com o intuito de avaliar ainda mais o comportamento das argamassas colantes em relação ao seu tempo de utilização e parâmetros reológicos, sejam eles por viscosimetria ou alternativas de ensaios existentes no meio técnico, algumas pesquisas futuras podem ser realizadas, como:

- Utilizar o método do *squeeze-flow* para diagnosticar parâmetros reológicos das argamassas colantes estudadas para cada tempo de consolidação;
- Analisar o tempo de consolidação das argamassas colantes para ensaios de tempo em aberto;
- Comparar resultados obtidos por outras formas de obtenção de reologia do material e comparar com ensaios de deslizamento conforme os tempos de utilização.

BIBLIOGRAFIA

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14081-1**. Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas. Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro, 2012.

_____. **NBR 14081-2**. Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas. Parte 2: Execução do substrato padrão e aplicação da argamassa para ensaios. Rio de Janeiro, 2102.

_____. **NBR 14081-3**. Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas. Parte 3: Determinação do tempo em aberto. Rio de Janeiro, 2012.

_____. **NBR 14081-4**. Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas. Parte 4: Determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro, 2012.

_____. **NBR 14081-5**. Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas. Parte 5: Determinação do deslizamento. Rio de Janeiro, 2012.

_____. **NBR 13277**. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da retenção de água. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 13278**. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 13528**. Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro, 2010.

_____. **NBR 15839**. Argamassa de assentamento e revestimento de paredes e tetos – Caracterização reológica pelo método de Squeezeflow. Rio de Janeiro, 2010.

_____. **NBR NM 23**: Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2001.

_____. **NBR 14086**: Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas – Determinação da densidade de massa aparente. Rio de Janeiro, 2004.

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

_____. **NBR 13753**. Revestimento de piso interno ou externo com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante - Procedimento. Rio de Janeiro, 1996.

_____. **NBR 13754**. Revestimento de paredes internas com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante - Procedimento. Rio de Janeiro, 1996.

_____. **NBR 13754**. Revestimento de paredes internas com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante - Procedimento. Rio de Janeiro, 1996.

ALMEIDA, A. E. F. S. **Estudo da influência das adições de sílica ativa e copolímeroestireno acrílico nas propriedades de argamassas para o assentamento de porcelanato**. Tese de doutorado. Área Interunidades em Ciência e Engenharia de Materiais da Universidade de São Paulo – USP. São Carlos (SP). 2005.

ANDRADE, J. J .O. **Propriedades físicas e mecânicas dos materiais**. In: Isaia, G.C. (Ed.). **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. São Paulo: IBRACON, 2007. v. 1, cap. 08, p. 203-237

ANFACER. **Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para revestimento**: Termômetro do setor realizado junto ao varejo. Disponível em:<http://www.anfacer.org.br/transferencias/Tracking_Janeiro_2015_Anfacer.pdf>. Acessado em 01/04/2015.

ANTUNES, G. R.; STOLZ, C. M.; MASUERO, A. B. **Análise da influência do Equipamento utilizado no ensaio de resistência à tração**. 4º Congresso Português de argamassas ETICS. Coimbra. 2012.

BANFIL, P. F. G. **The rheology of fresh mortar - a review**. In: XI Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas (SBTA). Florianópolis, 2005.

BARBOSA, W. S. **Alteração do comportamento reológico da suspensão cimentícia aplicada sobre substratos porosos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - USP, São Paulo (SP), 2010.

BETIOLI, A. M. **Influência dos Polímeros MHEC e EVA na hidratação e comportamento reológico de pastas de cimento Portland**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, 2007.

CARASEK, H.; DJANIKIAN, J. G. **Aderência de Argamassas a Base de cimento Portland a Unidade de Alvenaria**. Boletim técnico BT/PCC/179, Escola Politécnica. Universidade de São Paulo. São Paulo. 1997.

CARASEK, H. Argamassas. In: ISAIA, G. C. (Ed.). **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. São Paulo: IBRACON, 2010. v. 2, cap. 26, p. 864-904.

CARDOSO, F. A. **Método de formulação de argamassas de revestimento baseado em distribuição granulométrica e comportamento reológico**. Tese (Doutorado em Engenharia de Construção) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - USP, São Paulo (SP), 2009.

CARDOSO, F. A.; JOHN, V. M.; PILEGGI, R. G. **Rheological Behavior of Mortars under Different Squeezing Rates**. Cement and Concrete Research, v. 39, n. 9, p. 748-753, set. 2009.

CINCOTTO, M. A.; SILVA, M. A. C.; CASCUDO, H. C. **Argamassa de revestimento: características propriedades e métodos de ensaio**. São Paulo: IPT, Boletim 68, 1995.

COSTA, M. R. M. M. **Análise comparativa de argamassas colantes de mercado através de parâmetros reológicos**. Tese (Doutorado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - USP, São Paulo (SP), 2006.

GLATTHOR, A.; SCHWEIZER, D. **Rheological Lab Testing of Building Formulations**. ConChem Conference, Dusseldorf, 1994. Disponível em: <<http://www.baustoffchemie.de/en/rheology/>>. Acesso em: 12 de abril de 2015.

FERRARIS, C. F. **Measurement of Rheological Properties of High Performance Concrete: State of the Art Report**. NISTIR 5869 National Institute of Standards and Technology. July 1996. Disponível em: <<http://fire.nist.gov/bfrlpubs/build96/PDF/b96123.pdf>>. Acesso em: 12 de abril de 2015.

FERRARIS, C. F.; BROWER, L. E. **Comparison of concrete rheometers: International tests at MB (Cleveland OH, USA)**. NISTIR 7154. National Institute of Standards and Technology. Maio, 2003. Disponível em: <http://www.nist.gov/customcf/get_pdf.cfm?pub_id=100949> Acesso em: 02 de abril de 2015.

HACLEY, V. A.; FERRARIS, C. F. **Guide to rheological nomenclature: measurements in ceramic particulate system**. NIST Special Publication 946. National Institute of Standards and Technology. January, 2001. Disponível em: <<http://fire.nist.gov/bfrlpubs/build01/PDF/b01014.pdf>>. Acesso em: 02 de abril de 2015.

JUST, A.; FRANCO, L. S. **Descolamento dos revestimentos cerâmicos de fachada na cidade de Recife**. Boletim técnico BT/PCC/285, Escola Politécnica. Universidade de São Paulo. São Paulo. 2001.

KHAYAT, K. H. **Viscosity-Enhancing admixtures for cement-based materials - an overview**. Cement and Concrete Composites, v. 20, p.171-188. 1998.

KUDO, E. K. **Caracterização reológica de argamassas colantes**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - USP. São Paulo, 2012.

MACHADO, J. C. V. **Reologia e escoamento de fluidos: ênfase na indústria do petróleo**. Interferência. Rio de Janeiro. 2002. 257p.

MALKIN, A. Y. **Rheology Fundamentals**. Chem Tec Publishing, 1994. Canda, 342p. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=NZFpZuoP2kkC&printsec=>

frontcover&hl=pt-BR&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false >. Acesso em: 05 dez 2015.

MANSUR, A. A. P. **Mecanismo físico-químico de aderência na interface argamassa modificada com polímeros/cerâmica de revestimento**. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais), Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2007.

MECHTCHERINE, V.; SECRIERU, E.; SCHROFL, C. **Effect of superabsorbent polymers (SPAs) on rheological properties of fresh cement-based mortars - Development of yield stress and plastic viscosity over time**. Cement and Concrete Research, p. 52-65, 2015.

MORENO JUNIOR, R.; SELMO, S. M. de S. **Aderência de argamassas de reparo de estruturas de concreto**. Boletim técnico da escola politécnica da Universidade de São Paulo – USP. São Paulo, 2007.

OHAMA, Y. **Hand book of polymer-modified concrete and mortars – Properties and process technology**. Noyes Publications. New Jersey. 1995. Disponível em: ftp://ftp.ehu.es/cidirb/profs/qapfecul/consigna/polymer_modified_concrete_mortars.pdf. Acessado em: 11/10/2014.

OHAMA, Y. Polymer-based admixtures. Cement and Concrete Composites, v. 20, 1998, p. 189-212.

OLIVEIRA, I. R.; STUDART, A. R.; PILEGGI, R. G.; PANDOLFELLI, V. C. **Dispersão e Empacotamento de Partículas - Princípios e Aplicações em Processamento Cerâmico**. Fazendo Arte Editorial, 2000. 1995 p.

PEREIRA, E. **Estudo da Influência das Propriedades de Argamassas Colantes na Resistência de Aderência de Revestimentos Cerâmicos Aplicados no Assentamento de Piso Sobre Piso**. Dissertação (Mestrado em) - Universidade Federal do Paraná. Paraná. 2010.

PETIT, J.; WIRQUIN, E. Evaluation of various cellulose ethers performance in ceramic tile adhesive mortars. **International Journal of Adhesion & Adhesives**, p. 202-209, 2013.

PILEGGI, R. G. **Ferramentas para o estudo e desenvolvimento de concretos refratários**. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Universidade Federal de São Carlos - UFSCar. São Paulo, 2001. 187p.

PILEGGI, R. G.; PADOLFELLI, V. C. Reometria de concretos: Uma realidade brasileira para uma proposta internacional. In: Simpósio EPUSP sobre Estruturas de Concreto, V. **Anais**. São Paulo, 2003. p. 1-20.

PÓVOAS, Y. V. **Tempo em aberto de argamassa colante: Método de medida e influência dos aditivos HEC e resina PVAc**. Dissertação (Mestrado em) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 1999.

PÓVOAS, Y, V. PILEGGI, R. G. JOHN, V. M. Análise do filme superficial da argamassa colante no estado fresco. In: VI Simpósio brasileiro de tecnologia de argamassas. **Anais do VI SBTA**. Florianópolis. 2005.

RECENA, F. A. P. **Conhecendo argamassa**. EDiPUCRS, Porto Alegre, 2008.

SILVA, D. A. **Efeitos dos polímeros HEC e EVA na microestrutura de pastas de Cimento Portland**. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC. Florianópolis, 2001. 263p.

SILVA, C. O. **Análise crítica dos requisitos e critérios de qualidade da argamassa colante**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - USP. São Paulo, 2003. 186p.

SILVA, R. P.; BARROS M. M. S. B.; PILEGGI, R. G.; JOHN, V. M. **Avaliação do comportamento da argamassa no estado fresco através dos métodos de mesa de consistência, dropping ball e Squeeze flow**. In: XI Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas (SBTA). Florianópolis, 2005.

SILVA, D. A.; ROMAN, H. R. **Caracterização microestrutural de pastas de cimento aditivadas com polímeros HEC e EVA**. Revista Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 2, n. 2, p. 31-46, abr./jun. 2002. Disponível em: <file:///C:/Users/usuario/Downloads/3416-11732-1-PB.pdf>. Acesso em: 12 de abril de 2015.

STEFF, J. F. **Rheological methods in food process engineering**. 2 ed. East Lansing USA. Freeman Press, 1996. 428p. Disponível em: <<http://www.unge.gq/ftp/biblioteca%20digital/Alimentos/Rheological%20method%20in%20food%20process%20engineering.pdf>>. Acesso em: 12 de abril de 2015.

STRUBLE, L. J.; JI, X. **Rheology**. Handbook of Analytical Techniques in Concrete Science and Technology. Noyes Publications. USA, 2001, pg 333-367.

VAN DEN BRULE, B. H. A. A.; KADIJK, S. E. **A simple constant-stress rheometer**. Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics, v. 43, p. 127-139, maio 1992.

WILLIAMS, D. A.; SAAK, A. W.; JENNINGS, H. M. **The influence of mixing on the rheology of fresh cement paste**. Cemente and Concrete Research 29 (1999), p. 1491-1496.

APÊNDICE

Quadro 1 - Argamassa ACI-A 30 minutos

Temperatura do Equipamento: 25,3°				Ensaio: 30 min	
	rpm	Viscosity (cP)	Stress (d/cm ²)	S Rate (sec-1)	Torque (%)
1	10,0	300,0	7,5	2,5	0,3
2	25,0	200,0	12,5	6,3	0,5
3	35,0	171,4	15,0	8,8	0,6
4	45,0	155,6	17,5	11,3	0,7
5	55,0	145,5	20,0	13,8	0,8
6	80,0	112,5	25,0	20,0	1,0
7	100,0	110,0	27,5	25,0	1,1
8	120,0	100,0	30,0	30,0	1,2
9	100,0	110,0	27,5	25,0	1,1
10	80,0	112,5	25,0	20,0	0,9
11	55,0	145,5	17,5	13,8	0,8
12	45,0	155,6	17,5	11,3	0,7
13	35,0	171,4	15,0	8,8	0,6
14	25,0	200,0	12,5	6,3	0,5
15	10,0	300,0	7,5	2,5	0,4

Fonte: Autoria própria (2015).

Quadro 2 - Argamassa ACI-A 180 minutos

Temperatura do Equipamento: 25°				Ensaio: 180 min	
	rpm	Viscosity (cP)	Stress (d/cm ²)	S Rate (sec-1)	Torque (%)
1	10,0	400,0	12,5	2,5	0,4
2	25,0	240,0	15,0	6,3	0,6
3	35,0	200,0	17,5	8,8	0,7
4	45,0	177,8	20,0	11,3	0,8
5	55,0	163,6	22,5	13,8	0,9
6	80,0	137,5	27,5	20,0	1,1
7	100,0	130,0	32,5	25,0	1,3
8	120,0	116,7	35,0	30,0	1,4
9	100,0	130,0	32,5	25,0	1,3
10	80,0	137,5	27,5	20,0	1,2
11	55,0	163,6	22,5	13,8	0,9
12	45,0	200,0	22,5	11,3	0,9
13	35,0	228,6	20,0	8,8	0,8
14	25,0	280,0	17,5	6,3	0,7
15	10,0	500,0	12,5	2,5	0,5

Fonte: Autoria própria (2015).

Quadro 3 - Argamassa ACI-A 300 minutos

Temperatura do Equipamento: 25,6°				Ensaio: 300 min	
	rpm	Viscosity (cP)	Stress (d/cm ²)	S Rate (sec-1)	Torque (%)
1	10,0	600,0	15,0	2,5	0,6
2	25,0	340,0	21,3	6,3	0,9
3	35,0	285,7	25,0	8,8	1,0
4	45,0	244,4	27,5	11,3	1,1
5	55,0	218,2	30,0	13,8	1,2
6	80,0	180,0	36,0	20,0	1,5
7	100,0	160,0	40,0	25,0	1,6
8	120,0	150,0	45,0	30,0	1,8
9	100,0	158,0	40,0	25,0	1,6
10	80,0	175,0	35,0	20,0	1,4
11	55,0	200,0	27,5	13,8	1,1
12	45,0	222,2	25,0	11,3	1,0
13	35,0	257,1	22,5	8,8	0,9
14	25,0	320,0	20,0	6,3	0,8
15	10,0	500,0	12,5	2,5	0,5

Fonte: Autoria própria (2015).

Quadro 4 - Argamassa ACII-A 30 minutos

Temperatura do Equipamento: 25,3°				Ensaio: 30 min	
	rpm	Viscosity (cP)	Stress (d/cm ²)	S Rate (sec-1)	Torque (%)
1	10,0	700,0	17,5	2,5	0,7
2	25,0	480,0	30,0	6,3	1,2
3	35,0	428,6	37,5	8,8	1,5
4	45,0	400,0	45,0	11,3	1,8
5	55,0	363,6	50,0	13,8	2,0
6	80,0	337,5	67,5	20,0	2,7
7	100,0	310,0	77,5	25,0	3,1
8	120,0	291,7	87,5	30,0	3,5
9	100,0	310,0	77,5	25,0	3,1
10	80,0	337,5	67,5	20,0	2,7
11	55,0	363,6	50,0	13,8	2,0
12	45,0	400,0	45,0	11,3	1,8
13	35,0	428,6	37,5	8,8	1,5
14	25,0	480,0	30,0	6,3	1,2
15	10,0	700,0	17,5	2,5	0,7

Fonte: Autoria própria (2015).

Quadro 5 - Argamassa ACII-A 180 minutos

Temperatura do Equipamento: 24,9°				Ensaio: 180 min	
	Rpm	Viscosity (cP)	Stress (d/cm ²)	S Rate (sec-1)	Torque (%)
1	10,0	800,0	20,0	2,5	0,8
2	25,0	520,0	32,5	6,3	1,3
3	35,0	457,1	40,0	8,8	1,6
4	45,0	400,0	45,0	11,3	1,8
5	55,0	381,8	52,5	13,8	2,1
6	80,0	337,5	67,5	20,0	2,7
7	100,0	310,0	77,5	25,0	3,1
8	120,0	291,7	87,5	30,0	3,5
9	100,0	310,0	77,5	25,0	3,1
10	80,0	337,5	67,5	20,0	2,7
11	55,0	400,0	52,5	13,8	2,2
12	45,0	422,2	47,5	11,3	1,9
13	35,0	485,7	42,5	8,8	1,7
14	25,0	560,0	35,0	6,3	1,4
15	10,0	800,0	22,5	2,5	0,8

Fonte: Autoria própria (2015).

Quadro 6 - Argamassa ACII-A 300 minutos

Temperatura do Equipamento: 26,5°				Ensaio: 300 min	
	rpm	Viscosity (cP)	Stress (d/cm ²)	S Rate (sec-1)	Torque (%)
1	10,0	1100,0	27,5	2,5	1,1
2	25,0	720,0	45,0	6,3	1,8
3	35,0	600,0	52,5	8,8	2,1
4	45,0	533,3	60,0	11,3	2,4
5	55,0	472,7	65,0	13,8	2,6
6	80,0	400,0	80,0	20,0	3,2
7	100,0	360,0	90,0	25,0	3,6
8	120,0	333,6	100,0	30,0	4,0
9	100,0	350,0	87,5	25,0	3,5
10	80,0	375,0	75,0	20,0	3,0
11	55,0	418,2	60,0	13,8	2,4
12	45,0	466,7	52,5	11,3	2,1
13	35,0	542,9	47,5	8,8	1,9
14	25,0	640,0	40,0	6,3	1,6
15	10,0	1000,0	25,0	2,5	1,0

Fonte: Autoria própria (2015).

Quadro 7 - Argamassa ACIII-A 30 minutos

Temperatura do Equipamento: 24,7°				Ensaio: 30 min	
	rpm	Viscosity (cP)	Stress (d/cm ²)	S Rate (sec-1)	Torque (%)
1	10,0	4800,0	120,0	2,5	4,8
2	25,0	2600,0	162,5	6,3	6,4
3	35,0	2057,0	180,0	8,8	7,2
4	45,0	1733,0	195,0	11,3	7,8
5	55,0	1545,0	212,5	13,8	8,5
6	80,0	1263,0	252,5	20,0	10,1
7	100,0	1110,0	277,5	25,0	11,0
8	120,0	991,7	297,5	30,0	11,9
9	100,0	1040,0	260,0	25,0	10,4
10	80,0	1138,0	225,0	20,0	9,0
11	55,0	1345,0	185,0	13,8	7,4
12	45,0	1511,0	170,0	11,3	6,8
13	35,0	1714,0	150,0	8,8	6,1
14	25,0	2120,0	132,5	6,3	5,3
15	10,0	3900,0	92,5	2,5	3,7

Fonte: Autoria própria (2015).

Quadro 8 - Argamassa ACIII-A 180 minutos

Temperatura do Equipamento: 25°				Ensaio: 180 min	
	rpm	Viscosity (cP)	Stress (d/cm ²)	S Rate (sec-1)	Torque (%)
1	10,0	6200,0	155,0	2,5	6,2
2	25,0	3160,0	197,5	6,3	7,9
3	35,0	2457,0	215,0	8,8	8,6
4	45,0	2022,0	227,5	11,3	9,1
5	55,0	1764,0	240,0	13,8	9,6
6	80,0	1375,0	272,5	20,0	10,9
7	100,0	1180,0	292,5	25,0	11,7
8	120,0	1042,0	310,0	30,0	12,4
9	100,0	1110,0	277,5	25,0	11,0
10	80,0	1212,0	242,5	20,0	9,7
11	55,0	1455,0	200,0	13,8	8,0
12	45,0	1644,0	185,0	11,3	7,4
13	35,0	1914,0	167,5	8,8	6,7
14	25,0	2360,0	147,5	6,3	5,9
15	10,0	4300,0	107,5	2,5	4,3

Fonte: Autoria própria (2015).

Quadro 9 - Argamassa ACIII-A 300 minutos

Temperatura do Equipamento: 26,3°				Ensaio: 300 min	
	rpm	Viscosity (cP)	Stress (d/cm ²)	S Rate (sec-1)	Torque (%)
1	10,0	5200,0	127,5	2,5	5,1
2	25,0	2400,0	152,5	6,3	6,0
3	35,0	1857,0	160,0	8,8	6,4
4	45,0	1511,0	170,0	11,3	6,8
5	55,0	1291,0	177,5	13,8	7,1
6	80,0	1050,0	207,5	20,0	8,5
7	100,0	900,0	225,0	25,0	8,9
8	120,0	783,3	235,0	30,0	9,3
9	100,0	810,0	200,0	25,0	8,0
10	80,0	850,0	170,0	20,0	6,8
11	55,0	981,8	138,0	13,8	5,4
12	45,0	1067,0	120,0	11,3	4,8
13	35,0	1200,0	105,0	8,8	4,2
14	25,0	1440,0	90,0	6,3	3,6
15	10,0	2500,0	65,0	2,5	2,5

Fonte: Autoria própria (2015).

Quadro 10 - Argamassa ACI-B 30 minutos

Temperatura do Equipamento: 26,2°				Ensaio: 30 min	
	rpm	Viscosity (cP)	Stress (d/cm ²)	S Rate (sec-1)	Torque (%)
1	10,0	800,0	20,0	2,5	0,8
2	25,0	400,0	25,0	6,3	1,0
3	35,0	314,3	27,5	8,8	1,1
4	45,0	266,7	30,0	11,3	1,2
5	55,0	236,7	32,5	13,8	1,3
6	80,0	187,5	37,5	20,0	1,5
7	100,0	160,0	40,0	25,0	1,6
8	120,0	150,0	45,0	30,0	1,8
9	100,0	160,0	40,0	25,0	1,6
10	80,0	175,0	35,0	20,0	1,5
11	55,0	218,2	32,5	13,8	1,3
12	45,0	266,7	30,0	11,3	1,2
13	35,0	314,3	27,5	8,8	1,1
14	25,0	400,0	25,0	6,3	1,0
15	10,0	800,0	20,0	2,5	0,8

Fonte: Autoria própria (2015).

Quadro 11 - Argamassa ACI-B 180 minutos

Temperatura do Equipamento: 25,6°				Ensaio: 180 min	
	rpm	Viscosity (cP)	Stress (d/cm ²)	S Rate (sec-1)	Torque (%)
1	10,0	700,0	17,5	2,5	0,7
2	25,0	400,0	25,0	6,3	1,0
3	35,0	314,3	27,5	8,8	1,1
4	45,0	266,7	30,0	11,3	1,2
5	55,0	236,7	32,5	13,8	1,3
6	80,0	187,5	40,0	20,0	1,6
7	100,0	170,0	42,5	25,0	1,7
8	120,0	150,0	45,0	30,0	1,8
9	100,0	170,0	42,5	25,0	1,7
10	80,0	187,5	37,5	20,0	1,5
11	55,0	236,4	32,5	13,8	1,3
12	45,0	288,9	32,5	11,3	1,3
13	35,0	314,3	27,5	8,8	1,1
14	25,0	440,0	27,5	6,3	1,1
15	10,0	800,0	20,0	2,5	0,8

Fonte: Autoria própria (2015).

Quadro 12 - Argamassa ACI-B 300 minutos

Temperatura do Equipamento: 25,1°				Ensaio: 300 min	
	rpm	Viscosity (cP)	Stress (d/cm ²)	S Rate (sec-1)	Torque (%)
1	10,0	500,0	12,5	2,5	0,5
2	25,0	280,0	17,5	6,3	0,7
3	35,0	228,6	20,0	8,8	0,8
4	45,0	177,8	22,5	11,3	0,8
5	55,0	163,6	22,5	13,8	0,9
6	80,0	125,0	25,0	20,0	1,0
7	100,0	110,0	27,5	25,0	1,1
8	120,0	100,0	30,0	30,0	1,2
9	100,0	110,0	27,5	25,0	1,1
10	80,0	125,0	25,0	20,0	1,0
11	55,0	145,5	20,0	13,8	0,8
12	45,0	177,8	20,0	11,3	0,8
13	35,0	200,0	17,5	8,8	0,7
14	25,0	240,0	15,0	6,3	0,6
15	10,0	500,0	12,5	2,5	0,5

Fonte: Autoria própria (2015).

Quadro 13 - Argamassa ACII-B 30 minutos

Temperatura do Equipamento: 25,6°				Ensaio: 30 min	
	rpm	Viscosity (cP)	Stress (d/cm ²)	S Rate (sec-1)	Torque (%)
1	10,0	1500,0	37,5	2,5	1,5
2	25,0	880,0	55,0	6,3	2,2
3	35,0	714,3	62,5	8,8	2,5
4	45,0	622,2	70,0	11,3	2,9
5	55,0	563,9	77,5	13,8	3,1
6	80,0	475,0	95,0	20,0	3,8
7	100,0	420,0	105,0	25,0	4,2
8	120,0	383,3	115,0	30,0	4,6
9	100,0	410,0	102,5	25,0	4,1
10	80,0	450,0	90,0	20,0	3,6
11	55,0	509,1	70,0	13,8	2,8
12	45,0	555,6	62,5	11,3	2,5
13	35,0	628,6	55,0	8,8	2,2
14	25,0	720,0	45,0	6,3	1,8
15	10,0	1100,0	27,5	2,5	1,2

Fonte: Autoria própria (2015).

Quadro 14 - Argamassa ACII-B 180 minutos

Temperatura do Equipamento: 24,3°				Ensaio: 180 min	
	rpm	Viscosity (cP)	Stress (d/cm ²)	S Rate (sec-1)	Torque (%)
1	10,0	1500,0	37,5	2,5	1,5
2	25,0	920,0	55,0	6,3	2,3
3	35,0	742,9	62,5	8,8	2,6
4	45,0	644,4	72,5	11,3	2,9
5	55,0	581,8	80,0	13,8	3,2
6	80,0	487,5	97,5	20,0	3,9
7	100,0	440,0	110,0	25,0	4,4
8	120,0	400,0	120,0	30,0	4,8
9	100,0	420,0	105,0	25,0	4,2
10	80,0	450,0	90,0	20,0	3,6
11	55,0	527,3	72,5	13,8	2,9
12	45,0	577,8	65,0	11,3	2,6
13	35,0	628,6	55,0	8,8	2,2
14	25,0	720,0	45,0	6,3	1,8
15	10,0	1100,0	30,0	2,5	1,1

Fonte: Autoria própria (2015).

Quadro 15 - Argamassa ACII-B 30 minutos

Temperatura do Equipamento: 26,5°				Ensaio: 300 min	
	rpm	Viscosity (cP)	Stress (d/cm ²)	S Rate (sec-1)	Torque (%)
1	10,0	1200,0	30,0	2,5	1,2
2	25,0	520,0	32,5	6,3	1,3
3	35,0	400,0	35,0	8,8	1,4
4	45,0	311,1	35,0	11,3	1,4
5	55,0	254,5	42,5	13,8	1,5
6	80,0	212,5	42,5	20,0	1,7
7	100,0	190,0	45,0	25,0	1,8
8	120,0	166,7	50,0	30,0	2,0
9	100,0	180,0	45,0	25,0	1,8
10	80,0	187,5	37,5	20,0	1,5
11	55,0	236,4	32,5	13,8	1,3
12	45,0	266,7	30,0	11,3	1,2
13	35,0	285,7	25,0	8,8	1,0
14	25,0	360,0	22,5	6,3	0,9
15	10,0	600,0	15,0	2,5	0,6

Fonte: Autoria própria (2015).

Quadro 16 - Argamassa ACIII-B 30 minutos

Temperatura do Equipamento: 24,9°				Ensaio: 30 min	
	rpm	Viscosity (cP)	Stress (d/cm ²)	S Rate (sec-1)	Torque (%)
1	10,0	1900,0	50,0	2,5	1,9
2	25,0	1120,0	67,5	6,3	2,7
3	35,0	742,9	65,0	8,8	2,5
4	45,0	555,6	62,5	11,3	2,8
5	55,0	490,9	65,0	13,8	2,6
6	80,0	375,0	75,0	20,0	3,0
7	100,0	320,0	80,0	25,0	3,2
8	120,0	291,7	87,5	30,0	3,5
9	100,0	330,0	82,5	25,0	3,3
10	80,0	375,0	75,0	20,0	3,0
11	55,0	490,9	67,5	13,8	2,7
12	45,0	577,8	65,0	11,3	2,6
13	35,0	714,3	62,5	8,8	2,5
14	25,0	920,0	57,5	6,3	2,3
15	10,0	1600,0	40,0	2,5	1,6

Fonte: Autoria própria (2015).

Quadro 17 - Argamassa ACIII-B 180 minutos

Temperatura do Equipamento: 24,6°				Ensaio: 180 min	
	rpm	Viscosity (cP)	Stress (d/cm ²)	S Rate (sec-1)	Torque (%)
1	10,0	2600,0	62,5	2,5	2,5
2	25,0	1560,0	95,0	6,3	3,8
3	35,0	1229,0	105,0	8,8	4,1
4	45,0	955,6	105,0	11,3	4,1
5	55,0	763,6	105,0	13,8	4,1
6	80,0	662,5	130,0	20,0	5,2
7	100,0	480,0	120,0	25,0	4,8
8	120,0	391,7	115,0	30,0	4,6
9	100,0	420,0	105,0	25,0	4,1
10	80,0	462,5	95,0	20,0	3,7
11	55,0	600,0	82,5	13,8	3,3
12	45,0	688,9	77,5	11,3	3,1
13	35,0	828,6	72,5	8,8	2,9
14	25,0	1040,0	65,0	6,3	2,7
15	10,0	1800,0	47,5	2,5	1,8

Fonte: Autoria própria (2015).

Quadro 18 - Argamassa ACIII-B 300 minutos

Temperatura do Equipamento: 25,4°				Ensaio: 300 min	
	rpm	Viscosity (cP)	Stress (d/cm ²)	S Rate (sec-1)	Torque (%)
1	10,0	2600,0	62,5	2,5	2,5
2	25,0	1560,0	95,0	6,3	3,8
3	35,0	1229,0	105,0	8,8	4,1
4	45,0	955,6	105,0	11,3	4,1
5	55,0	763,6	105,0	13,8	4,1
6	80,0	662,5	130,0	20,0	5,2
7	100,0	480,0	120,0	25,0	4,8
8	120,0	391,7	115,0	30,0	4,6
9	100,0	420,0	105,0	25,0	4,1
10	80,0	462,5	95,0	20,0	3,7
11	55,0	600,0	82,5	13,8	3,3
12	45,0	688,9	77,5	11,3	3,1
13	35,0	828,6	72,5	8,8	2,9
14	25,0	1040,0	65,0	6,3	2,7
15	10,0	1800,0	47,5	2,5	1,8

Fonte: Autoria própria (2015).

Quadro 19 - Argamassa ACI-C 30 minutos

Temperatura do Equipamento: 26,6°				Ensaio: 30 min	
	rpm	Viscosity (cP)	Stress (d/cm ²)	S Rate (sec-1)	Torque (%)
1	10,0	300	7,5	2,5	0,3
2	25,0	160	10	6,3	0,4
3	35,0	142,9	12,5	8,8	0,5
4	45,0	111,1	12,5	11,3	0,5
5	55,0	109,1	15	13,8	0,6
6	80,0	87,5	17,5	20,0	0,6
7	100,0	80	20	25,0	0,8
8	120,0	66,7	20	30,0	0,8
9	100,0	70	17,5	25,0	0,8
10	80,0	75	15	20,0	0,7
11	55,0	90,9	12,5	13,8	0,5
12	45,0	111,1	12,5	11,3	0,5
13	35,0	114,3	10	8,8	0,4
14	25,0	160	7,5	6,3	0,3
15	10,0	300	7,5	2,5	0,2

Fonte: Autoria própria (2015).

Quadro 20 - Argamassa ACI-C 180 minutos

Temperatura do Equipamento: 25,7°				Ensaio: 180 min	
	rpm	Viscosity (cP)	Stress (d/cm ²)	S Rate (sec-1)	Torque (%)
1	10,0	300	7,5	2,5	0,3
2	25,0	160	10	6,3	0,4
3	35,0	114,3	12,5	8,8	0,4
4	45,0	111,1	12,5	11,3	0,5
5	55,0	90,9	15	13,8	0,6
6	80,0	87,5	17,5	20,0	0,7
7	100,0	80	20	25,0	0,8
8	120,0	66,7	20	30,0	0,8
9	100,0	70	17,5	25,0	0,7
10	80,0	75	15	20,0	0,6
11	55,0	90,9	12,5	13,8	0,5
12	45,0	111,1	12,5	11,3	0,5
13	35,0	114,3	10	8,8	0,4
14	25,0	160	10	6,3	0,4
15	10,0	300	7,5	2,5	0,3

Fonte: Autoria própria (2015).

Quadro 21 - Argamassa ACI-C 300 minutos

Temperatura do Equipamento: 26,4°				Ensaio: 300 min	
	rpm	Viscosity (cP)	Stress (d/cm ²)	S Rate (sec-1)	Torque (%)
1	10,0	300	7,5	2,5	0,3
2	25,0	160	10	6,3	0,4
3	35,0	114,3	12,5	8,8	0,5
4	45,0	111,1	12,5	11,3	0,5
5	55,0	109,1	15	13,8	0,6
6	80,0	87,5	17,5	20,0	0,7
7	100,0	80	20	25,0	0,8
8	120,0	75	22,5	30,0	0,9
9	100,0	80	20	25,0	0,8
10	80,0	87,5	17,5	20,0	0,7
11	55,0	90,9	12,5	13,8	0,5
12	45,0	111,1	12,5	11,3	0,5
13	35,0	114,3	10	8,8	0,4
14	25,0	160	10	6,3	0,4
15	10,0	200	5	2,5	0,2

Fonte: Autoria própria (2015).

Quadro 22 - Argamassa ACII-C 30 minutos

Temperatura do Equipamento: 24,7°				Ensaio: 30 min	
	rpm	Viscosity (cP)	Stress (d/cm ²)	S Rate (sec-1)	Torque (%)
1	10,0	2100,0	52,5	2,5	2,1
2	25,0	1280,0	80,0	6,3	3,2
3	35,0	1114,0	95,0	8,8	3,9
4	45,0	977,8	110,0	11,3	4,4
5	55,0	890,9	122,5	13,8	4,9
6	80,0	762,5	150,0	20,0	6,0
7	100,0	680,0	170,0	25,0	6,7
8	120,0	616,7	185,0	30,0	7,3
9	100,0	650,0	162,5	25,0	6,5
10	80,0	700,0	140,0	20,0	5,6
11	55,0	800,0	110,0	13,8	4,4
12	45,0	888,9	100,0	11,3	4,0
13	35,0	971,4	85,0	8,8	3,4
14	25,0	1160,0	72,5	6,3	2,9
15	10,0	1700,0	42,5	2,5	1,8

Fonte: Autoria própria (2015).

Quadro 23 - Argamassa ACII–C 180 minutos

Temperatura do Equipamento: 26,2°				Ensaio: 180 min	
	rpm	Viscosity (cP)	Stress (d/cm ²)	S Rate (sec-1)	Torque (%)
1	10,0	2300,0	57,5	2,5	2,4
2	25,0	1400,0	87,5	6,3	3,5
3	35,0	1171,0	102,5	8,8	4,1
4	45,0	1022,0	115,0	11,3	4,6
5	55,0	927,3	127,0	13,8	5,1
6	80,0	762,0	155,0	20,0	6,1
7	100,0	680,0	170,0	25,0	6,8
8	120,0	625,0	185,0	30,0	7,4
9	100,0	660,0	165,0	25,0	6,6
10	80,0	712,5	142,5	20,0	5,7
11	55,0	836,4	115,0	13,8	4,6
12	45,0	911,1	102,0	11,3	4,1
13	35,0	1029,0	90,0	8,8	3,7
14	25,0	1240,0	77,5	6,3	3,1
15	10,0	2000,0	50,0	2,5	2,0

Fonte: Autoria própria (2015).

Quadro 24 - Argamassa ACII–C 300 minutos

Temperatura do Equipamento: 26,2°				Ensaio: 300 min	
	rpm	Viscosity (cP)	Stress (d/cm ²)	S Rate (sec-1)	Torque (%)
1	10,0	1100,0	25,0	2,5	1,0
2	25,0	560,0	35,0	6,3	1,3
3	35,0	400,0	35,0	8,8	1,4
4	45,0	333,3	37,5	11,3	1,5
5	55,0	290,9	40,0	13,8	1,5
6	80,0	225,0	45,0	20,0	1,8
7	100,0	200,0	50,0	25,0	1,9
8	120,0	175,0	52,5	30,0	2,1
9	100,0	190,0	47,5	25,0	1,8
10	80,0	200,0	40,0	20,0	1,6
11	55,0	236,4	32,5	13,8	1,3
12	45,0	266,7	30,0	11,3	1,2
13	35,0	285,7	25,0	8,8	1,0
14	25,0	360,0	22,5	6,3	0,8
15	10,0	600,0	15,0	2,5	0,6

Fonte: Autoria própria (2015)

Quadro 25 - Argamassa ACIII-C 30 minutos

Temperatura do Equipamento: 26,6°				Ensaio: 30 min	
	rpm	Viscosity (cP)	Stress (d/cm ²)	S Rate (sec-1)	Torque (%)
1	10,0	4000,0	97,5	2,5	3,9
2	25,0	2000,0	122,5	6,3	4,9
3	35,0	1514,0	132,5	8,8	5,3
4	45,0	1244,0	140,0	11,3	5,6
5	55,0	1091,0	147,5	13,8	5,9
6	80,0	862,5	172,5	20,0	6,8
7	100,0	740,0	185,0	25,0	7,3
8	120,0	658,3	195,0	30,0	7,9
9	100,0	690,0	172,5	25,0	6,9
10	80,0	750,0	150,0	20,0	6,0
11	55,0	900,1	125,0	13,8	5,0
12	45,0	1000,0	112,5	11,3	4,5
13	35,0	1143,0	100,0	8,8	4,0
14	25,0	1360,0	85,0	6,3	3,4
15	10,0	2400,0	57,5	2,5	2,4

Fonte: Autoria própria (2015).

Quadro 26 - Argamassa ACIII-C 180 minutos

Temperatura do Equipamento: 26,3°				Ensaio: 180 min	
	rpm	Viscosity (cP)	Stress (d/cm ²)	S Rate (sec-1)	Torque (%)
1	10,0	4400,0	100,0	2,5	4,4
2	25,0	2240,0	137,5	6,3	5,5
3	35,0	1714,0	147,5	8,8	5,9
4	45,0	1400,0	155,0	11,3	6,2
5	55,0	1182,0	162,5	13,8	6,5
6	80,0	925,0	185,0	20,0	7,3
7	100,0	790,0	195,0	25,0	7,8
8	120,0	691,7	207,0	30,0	8,2
9	100,0	730,0	182,5	25,0	7,3
10	80,0	787,5	157,5	20,0	6,3
11	55,0	945,5	130,0	13,8	5,2
12	45,0	1044,0	117,5	11,3	4,7
13	35,0	1200,0	105,0	8,8	4,2
14	25,0	1440,0	90,0	6,3	3,6
15	10,0	2600,0	65,0	2,5	2,6

Fonte: Autoria própria (2015).

Quadro 27 - Argamassa ACIII-C 300 minutos

Temperatura do Equipamento: 26°				Ensaio: 300 min	
	rpm	Viscosity (cP)	Stress (d/cm ²)	S Rate (sec-1)	Torque (%)
1	10,0	3200,0	80,0	2,5	2,5
2	25,0	1880,0	100,0	6,3	3,8
3	35,0	1200,0	102,5	8,8	4,1
4	45,0	933,3	105,0	11,3	4,1
5	55,0	745,5	115,0	13,8	4,1
6	80,0	575,0	115,0	20,0	5,2
7	100,0	490,0	122,5	25,0	4,8
8	120,0	441,7	130,0	30,0	4,6
9	100,0	450,0	110,0	25,0	4,1
10	80,0	475,0	95,0	20,0	3,7
11	55,0	545,5	75,0	13,8	3,3
12	45,0	600,0	67,5	11,3	3,1
13	35,0	685,7	60,0	8,8	2,9
14	25,0	840,0	52,5	6,3	2,7
15	10,0	1400,0	35,0	2,5	1,8

Fonte: Autoria própria (2015).