UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA

ANDRÉ MENDES MELLO

INVESTIGAÇÃO DAS PROPRIEDADES REOLÓGICAS COMO CRITÉRIO DE DOSAGEM DE ARGAMASSA COLANTE

Tubarão

2018

ANDRÉ MENDES MELLO

INVESTIGAÇÃO DAS PROPRIEDADES REOLÓGICAS COMO CRITÉRIO DE DOSAGEM DE ARGAMASSA COLANTE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade do Sul de Santa Catarina como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. MSc. Rennan Medeiros

Tubarão

2018

ANDRÉ MENDES MELLO

INVESTIGAÇÃO DAS PROPRIEDADES REOLÓGICAS COMO CRITÉRIO DE DOSAGEM DE ARGAMASSA COLANTE

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado à obtenção do título de Engenheiro Civil e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Civil da Universidade do Sul de Santa Catarina.

Tubarão, 28 de novembro de 2018.

Professor e orientador Rennan Medeiros, MSc.
Universidade do Sul de Santa Catarina

Prof. Maurício Alberto Büchele Motta, Esp.
Universidade do Sul de Santa Catarina

Eng.º Civil Denis Fernandes Weidmann, MSc.
PWD Engenharia e Consultoria

AGRADECIMENTOS

Deixo meus primeiros agradecimentos a Deus, por todas as oportunidades que me proporcionou.

Agradeço meus pais, Alessandro e Helena, por todo suporte indispensável na minha trajetória. Assim como, por todo seu empenho em transmitir seus ensinamentos, no objetivo de formar, estruturar e cultivar seus princípios, a fim de me proporcionar uma base familiar que me amparou perante as dificuldades.

À minha irmã Bruna, por sempre estar ao meu lado me compreendendo, e por me proporcionar a responsabilidade e oportunidade de tentar sempre ser exemplo.

À toda minha família e amigos por todos os momentos de amparo e compreensão. Agradecendo em especial a minha avó, que sempre me auxiliou nos momentos difíceis, me dando força e esperança para vencer os obstáculos necessários para nosso aprendizado.

Meus agradecimentos à minha colega de trabalho do LEC Beatriz, pelo auxílio nas realizações dos ensaios, e aos demais colegas do LEC, Monica, Thomas e Pedro, pelo aprendizado e auxílio no ambiente de trabalho. Ao meu amigo e colega acadêmico Matheus, pelo auxílio no decorrer deste trabalho e em todo o período da graduação.

Ao meu orientador, professor e amigo Rennan Medeiros, por seu brilhante êxito na orientação deste trabalho. Por todo o conhecimento transmitido em todo o tempo que esteve presente, das orientações ao cotidiano de trabalho. Ensinamentos esses de grande importância para as possíveis trajetórias futuras.

No mais, agradeço a todos meus professores, que foram essenciais para que eu pudesse subir mais um degrau na infinita escada do conhecimento.

“Existem muitas hipóteses em ciência que estão erradas. Isso é perfeitamente aceitável, eles são a abertura para achar as que estão certas” (Carl Sagan).

RESUMO

Considerando o complexo comportamento reológico das argamassas colantes no estado fresco, sua caracterização reológica é um fator de grande importância para garantir seu desempenho no estado endurecido. Os ensaios de *Squeeze Flow* e *Pull Out Flow*, são extremamente eficazes na caracterização reológica destas argamassas. As curvas de Força vs. deslocamento, possibilitaram a análise de propriedades reológicas que não são expressas com os requisitos dos ensaios normatizados. Juntamente com os diagramas de dosagem baseados no método estatístico de Taguchi, foi possível relacionar as influências do comportamento reológico das argamassas colantes com seu desempenho final, avaliando as influências das propriedades da argamassa colante no estado fresco e suas relações perante seu desempenho no estado endurecido. Em contraste com os métodos propostos para avaliação da trabalhabilidade das argamassas no estado fresco, considerados ensaios monopontos, a caracterização do complexo comportamento reológico pode ser considerada como um critério de dosagem a ser considerado com expressiva relevância.

Palavras-chave: Argamassa colante. Reologia. Influências no desempenho.

ABSTRACT

Considering the complex rheological behavior of mortars, in the fresh state, its rheological characterization is a factor of great importance to ensure its performance in the hardened state. The Squeeze Flow and Pull Out Flow tests are extremely effective in the rheological characterization of these mortars. Together with the basic measurement diagrams in the Taguchi statistical method, it was possible to relate to influences of the rheological behavior of the adhesive mortar with its final performance. Evaluating the influences of the properties of the adhesive mortar in the fresh state and its relation to its performance in the hardened state. In contrast with the proposed methods for assessing the workability of fresh mortars, considering tests with a single point, the characterization of the complex rheological behavior can be considered as a dosage criterion to be considered with significant relevance.

Key words: Adhesive mortar. Rheology. Influences on performance.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Variação da retenção de água para diferentes argamassas 25
Figura 2 – Forças atuantes no deslizamento da argamassa colante 28
Figura 3 – Ilustração esquemática descrevendo a macroestrutura e microestrutura de uma argamassa 33
Figura 4 – Esquema ilustrativo do experimento de Newton para a determinação da viscosidade de fluídos 34
Figura 5 – Comportamento da tensão de cisalhamento x taxa de cisalhamento para diferentes fluidos 34
Figura 6 – Perfil típico de carga *vs* deslocamento de um ensaio de *Squeeze Flow* com deslocamento controlado 38
Figura 7 – Perfil típico de carga de tração *vs*. tempo obtido no ensaio de *Pull Out Flow* 39
Figura 8 – Detalhamento da curva carga *vs* tempo obtido no ensaio de *Squeeze Flow* e *Pull Out Flow* 40
Figura 9 – Programa experimental 46
Figura 10 – Tipos de ruptura 51
Figura 11 – Ensaio de aderência à tração 52
Figura 12 – Determinação do deslizamento 54
Figura 13 – Determinação da adesão inicial 55
Figura 14 – Determinação da retenção de água 56
Figura 15 – Determinação do teor de ar 58
Figura 16 – Determinação do índice de consistência 59
Figura 17 – Prensa *Wykeham Farrance* 60
Figura 18 – Programa Triax4 60
Figura 19 – Módulo datascan Msl 61
Figura 20 – Configuração do ensaio de *Squeeze Flow* e *Pull Out Flow* 61
Figura 21 – Etapas dos ensaios de *Squeeze Flow* e Pull Out *Flow* 63
Figura 22 – Curvas de *Squeeze Flow* e *Pull Out Flow* 65
Figura 23 – Viscosidade *vs*. Deslizamento 68
Figura 24 – Tensão de Escoamento *vs*. Deslizamento 68
Figura 25 – Consistência *vs.* Viscosidade 69
Figura 26 – Consistência *vs.* Tensão de Escoamento 69
Figura 27 – Adesão Inicial *vs*. Força Máx. *Pull Out Flow* 70

Figura 28 – Diagrama de dosagem 72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tensão superficial medida para diferentes soluções.....26
Tabela 2 – Critérios para a classificação das argamassas colantes.....31
Tabela 3 – Influência do teor de finos da mistura seca na plasticidade das argamassas.....32
Tabela 4 – Caracterização Cimento Portland CP II – F – 32 44
Tabela 5 – Caracterização do agregado miúdo.....45
Tabela 6 – Característica do aditivo retentor de água 45
Tabela 7 – Características do aditivo polimérico 46
Tabela 8 – Dosagem dos traços ensaiados 48
Tabela 9 – Resumo dos resultados 64
Tabela 10 – Parâmetros de caracterização reológica.....66

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classificação das argamassas quanto à densidade de massa no estado fresco 27
Quadro 2 – Fatores que influenciam a consistência e plasticidade 32

LISTA DE ABREVEATURAS E SIGLAS

A – Ruptura na camada de argamassa
a/c – Água/Cimento
A/P – Ruptura na interface argamassa e placa cerâmica
ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
AC – Argamassa colante industrializada
AC I – Argamassa colante industrializada tipo I
AC II – Argamassa colante industrializada tipo II
AC III – Argamassa colante industrializada tipo III
ANFACER – Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimentos, Louças Sanitárias e Congêneres
CPII-F – Cimento Portland com fíler
EVA – Copolímero de etileno e acetato de vinila
F – Falha de colagem
HEMC – Metil Hidroxietil Celulose
P – Ruptura da placa cerâmica
S – Ruptura do substrato
S/A – Ruptura na interface argamassa e substrato

LISTA DE SÍMBOLOS

cm – Centímetro
mm – Milímetros
cm^2 – Centímetros quadrados
ºC – Graus Celsius
% – Porcentagem
min – Minutos
MPa – Megapascal
cm^2/g – Centímetro quarado por grama
g/cm^3 – Grama por centímetro cúbico
cm^3 – centímetros cúbicos
h – Hora
kg – Quilograma
s – Segundo
N/s – Newton por segundos
N – Newton
mm^2 – Milímetro quadrado

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Determinação da tensão de ruptura 51
Equação 2 – Determinação do deslizamento 54
Equação 3 – Determinação da retenção de água 57
Equação 4 – Determinação do teor de ar 58

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 18
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO 19
1.2 JUSTIFICATIVA 19
1.3 OBJETIVO 21
1.3.1 Objetivo geral 21
1.3.2 Objetivos específicos 21
2 ARGAMASSA COLANTE 22
2.1 PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DAS ARGAMASSAS COLANTES 23
2.1.1 Retenção de água 24
2.1.2 Adesão inicial 25
2.1.3 Teor de ar incorporado e massa específica 26
2.1.4 Deslizamento 27
2.1.5 Tempo em aberto 28
2.1.6 Tempo de consolidação 29
2.1.7 Potencial de aderência 29
2.1.8 Classificação das argamassas colantes 30
2.1.9 Consistência e plasticidade 31
2.2 PROPRIEDADES REOLÓGICAS DA ARGAMASSA COLANTE NO ESTADO FRESCO 33
2.2.1 *Squeeze Flow* 37
2.2.2 *Pull Out Flow* 39
2.2.3 Relações das propriedades do estado fresco com as propriedades do estado endurecido 41
2.3 CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES 42
3 MATERIAIS E MÉTODOS 44
3.1 MATERIAIS 44
3.1.1 Cimento Portland 44
3.1.2 Agregados miúdos 45
3.1.3 Aditivo retentor de água 45
3.1.4 Aditivo polimérico 45
3.2 PROGRAMA EXPERIMENTAL 46
3.2.1 Etapa I – Parâmetros a serem avaliados 47

3.2.2 Etapa II – Parâmetros de dosagem 47
3.2.3 Etapa III – Traços ensaiados 47
3.2.4 Etapa IV – Realização dos ensaios 48
3.2.4.1 Execução do substrato padrão 48
3.2.4.2 Execução e aplicação da argamassa colante 48
3.2.4.3 Determinação da resistência de aderência à tração com cura normal 50
3.2.4.4 Determinação do deslizamento 52
3.2.4.5 Determinação da adesão inicial 54
3.2.4.6 Determinação da retenção de água 55
3.2.4.7 Determinação do teor de ar incorporado 57
3.2.4.8 Determinação do índice de consistência 58
3.2.4.9 *Squeeze Flow* e *Pull Out Flow* 59
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES 64
4.1 PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS COLANTES 64
4.1.1 Caracterização reológica 64
4.1.2 Propriedades tecnológicas *vs.* comportamento reológico 67
4.2 DIAGRAMA DE DOSAGEM 71
5 CONCLUSÃO 76
REFERÊNCIAS 78

1 INTRODUÇÃO

Na última década, ocorreu um crescimento significativo no setor da construção civil no Brasil. Este setor foi fortemente impulsionado por eventos esportivos, como a copa do mundo e as olimpíadas, que levaram à uma grande estruturação da infraestrutura esportiva e da infraestrutura urbana. Programas governamentais, como o *Minha casa, minha vida*, com propósitos de fomentar habitações populares, e os Programas de Aceleração do Crescimento (PAC) que foram voltados ao desenvolvimento da infraestrutura do Brasil, contribuíram para o crescimento da indústria da construção civil nacional (OLIVEIRA, 2015).

O mercado de revestimentos cerâmicos é um dos setores que expressa o crescimento da construção civil brasileira. Segundo dados da Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimentos, Louças Sanitárias e Congêneres (ANFACER), o Brasil é o segundo maior consumidor de revestimentos cerâmicos do mundo, ficando atrás apenas da China (ANFACER, 2018).

Juntamente com o setor de revestimentos cerâmicos, o mercado nacional de argamassas colantes também apresentou expressivo crescimento. As argamassas colantes, também se apresentam como um dos fatores fundamentais para o desenvolvimento do mercado cerâmico nacional, uma vez que esta tecnologia de argamassa possibilitou a racionalização do método de assentamento, minimizando o grave cenário de grande demanda de serviços que o método tradicional não conseguiria absorver no início da década de 60 (FIORITO, 2009).

De acordo com Fiorito (2009), é importante ressaltar que a produção de revestimentos cerâmicos anual nos anos 60 era aproximadamente a quantidade produzida em um mês no ano de 2009, para uma população que não chegou a triplicar. Dessa forma, a partir da existência das argamassas colantes brasileiras, no início da década de 70, milhares de toneladas do produto foram utilizadas em praticamente todo território nacional, e com sucesso nas mais variadas situações de revestimentos. Com a grande importância da argamassa colante para o mercado da construção civil nacional, o desenvolvimento dos parâmetros de qualidade do produto torna-se essencial para suprir as exigências do mercado.

Considerando que o comportamento e características reológicas das argamassas colantes no estado fresco são fundamentais para seu desempenho final, a caracterização de seu comportamento antes do seu endurecimento é fundamental para a obtenção de parâmetros completos de qualidade (CARDOSO, 2009).

Nesse contexto, é fundamental destacar que as argamassas colantes apresentam, no estado fresco, um comportamento reológico complexo, resultante de sua composição de

suspensões bifásicas concentradas. Em contraste com seu complexo comportamento reológico, os métodos tradicionais de caracterização reológica das argamassas não são suficientes para uma completa caracterização, embora sejam métodos de fácil execução. Tendo em vista a importância de uma caracterização reológica mais completa das argamassas colantes, os ensaios de *Squeeze Flow* e *Pull Out Flow* apresentam-se como ferramentas apropriadas para esse objetivo, uma vez que conseguem submeter a argamassa às condições similares a de aplicação (CARDOSO; PILEGGI; JOHN, 2005).

Destarte, o presente trabalho investigará a caracterização de argamassas colantes através dos métodos de *Squeeze Flow* e *Pull Out Flow*, relacionando o comportamento reológico das argamassas com parâmetros de dosagem e sua significância no seu desempenho final dessas argamassas.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Considerando a grande importância da caracterização reológica das argamassas colantes, os métodos tradicionais são considerados insuficientes para uma completa caracterização das argamassas. Os ensaios tradicionais, são considerados ensaios monopontos, dessa forma, não conseguem expressar de forma completa o comportamento de diferentes argamassas colantes em estado fresco.

Considerando que o traço influi diretamente no comportamento reológico das argamassas colantes, em relação aos parâmetros de consistência, coesão, plasticidade, retenção de água, trabalhabilidade e adesão inicial, uma dosagem inadequada poderá originar fortes implicações no desempenho final das argamassas colantes (ANTUNES, 2010).

Destarte, os ensaios de *Squeeze Flow* e *Pull Out Flow* são considerados métodos apropriados de caracterização reológica de argamassas colantes. Dessa forma, busca-se através desse trabalho, analisar o comportamento reológico das argamassas colantes como parâmetro de dosagem, uma vez que as mesmas ainda são caracterizadas através de métodos tradicionais.

1.2 JUSTIFICATIVA

Atualmente, o Brasil é segundo maior consumidor do mercado cerâmico mundial, bem como, o segundo maior produtor mundial de materiais cerâmicos. Nesse cenário, onde o mercado brasileiro ocupa posição de grande protagonismo mundial, as argamassas colantes apresentam-se como um dos fatores fundamentais para o desenvolvimento da indústria

cerâmica. Possibilitando a racionalização do método de assentamento cerâmico, as argamassas colantes proporcionaram maior produtividade, qualidade e desempenho dos serviços de assentamento.

Ocupando, esse tipo de argamassa, uma função fundamental no grande mercado cerâmico mundial, e por consequência, para o desenvolvimento e expansão deste mercado, é indispensável o controle de sua qualidade.

Para atender aos padrões de qualidade, e à determinadas condições específicas exigidas, a dosagem da argamassa colante é um fator fundamental. As variações de dosagem, podendo ocorrer na proporção de seus constituintes ou na adição de aditivos, ocorrem com desígnio de aprimorar o desempenho da argamassa em certo aspecto desejado. A proporção dos constituintes e adição de aditivos podem influenciar diretamente no comportamento da argamassa colante em seu estado fresco. Aprimorar características de desempenho da argamassa colante pode estar vinculado ao aperfeiçoamento de seu comportamento reológico.

Nesse contexto, a caracterização reológica das argamassas, visto que seu comportamento no estado fresco influi em seu desempenho final, é de grande importância para o controle dos padrões de qualidade exigidos.

A caracterização do comportamento das argamassas, destinadas a revestimentos, no estado fresco, pode ser obtida, de forma mais usual, através da determinação do Índice de Consistência (IC) pela mesa de *flow*, normatizado pela NBR 13276 (ABNT, 2016). Entretanto, a determinação do IC é considerado um ensaio do tipo mono-ponto, permitindo a mensuração indireta da tensão de escoamento ou viscosidade.

Atualmente, estudos das argamassas no estado fresco e a avaliação de suas propriedades, possibilitando uma caracterização mais precisa e real de seu comportamento, vem sendo cada vez mais discutida no meio científico (SOUSA; LARA, 2005).

A caracterização da consistência usualmente pode ser feita a partir de ensaios como o de mesa de *flow*, de *dropping-ball*, que são ensaios de fácil execução e baixo custo, porém não são suficientes para avaliações mais completas de materiais como as argamassas colante no estado fresco (CARDOSO; PILEGGI; JOHN, 2005).

Nesse contexto, os ensaios de *Squeeze Flow* e *Pull Out Flow*, apresentam-se como ensaios do tipo multiponto, permitindo a mensuração da tensão de escoamento e da taxa de cisalhamento, assim como as viscosidades aparentes. Segundo Oliveira (2015), o ensaio de *Squeeze Flow* simula as condições práticas da pressão aplicada pelo profissional para esmagar os cordões de argamassa no momento da aplicação, e o ensaio *de Pull Out Flow*, simula no estado fresco da argamassa, a tração, a adesão e seu comportamento elongacional. Estes dois

métodos de ensaio permitem adaptar as condições de ensaio, para diferentes tipos de material ou de concentrações, permitindo assim maior precisão de execução e simulações de aplicações (CARDOSO; PILEGGI; JOHN, 2005).

Os ensaios de *Squeeze Flow* e *Pull Out Flow***,** apresentam uma caracterização reológica mais precisa, submetendo a argamassa às condições mais próximas à aplicação prática. Por serem ensaios a pouco tempo normatizados, sua utilização ainda é restrita, e poucas são as argamassas disponíveis no mercado que são caracterizadas por estes ensaios. Por este motivo os parâmetros reológicos são avaliados empiricamente pelos fabricantes de argamassa colante.

Com base no exposto, levanta-se a seguinte questão de pesquisa: **Poderá o comportamento reológico ser utilizado como critério de dosagem podendo ser um fator de influência significativa no desempenho final da argamassa colante?**

1.3 OBJETIVO

Neste item serão apresentados os objetivos geral e específicos desta pesquisa.

1.3.1 Objetivo geral

Avaliar a influência da caracterização reológica como critério de dosagem e sua influência no desempenho final da argamassa colante.

1.3.2 Objetivos específicos

a) Analisar reologicamente argamassas colantes por meio de ensaios de S*queeze Flow* e *Pull Out Flow*;
b) Determinar a influência do comportamento reológico no resultado final das argamassas;
c) Avaliar a influência do comportamento reológico comparado às variações de dosagem.

2 ARGAMASSA COLANTE

As argamassas se classificam como materiais de construção que possuem propriedades de aderência e endurecimento, resultantes de uma mistura homogênea de aglomerante (podendo conter mais de um), agregado miúdo (areia), e possivelmente conter aditivos, ou ainda adições minerais (CARASEK, 2017).

Argamassas colantes, segundo Kudo (2012), podem ser definidas como produtos com a função de adesivo para a aplicação de revestimentos em pisos e paredes. Cerâmica, porcelanatos, granitos e mármores, entre outros tipos de revestimento, comumente são aplicados sobre substratos como, concreto, cerâmica, argamassas para contra piso, *dry wall*, entre outros.

De acordo com Fiorito (2009), as pesquisas sobre argamassa colante se iniciaram nos Estados Unidos, após o termino da II Guerra Mundial (1945). As pesquisas tinham como finalidade a busca pela racionalização dos serviços de aplicação de revestimentos cerâmicos e, consequentemente, proporcionando uma melhor qualidade na execução dos serviços de assentamento cerâmico, assim como um menor custo.

A necessidade da racionalização dos serviços de assentamento de revestimentos também se fez presente no Brasil. As pesquisas brasileiras iniciaram-se em 1964, uma vez que, um cenário inesperado de elevado consumo de materiais cerâmicos, aliado à uma não qualificada e insuficiente mão de obra, intensificaram os problemas patológicos relacionados aos assentamentos cerâmicos, realizados com argamassas compostas por cimento e areia, ou cimento, cal e areia, até meados de 1970.

Caracterizado pela exigência de múltiplos e simultâneos serviços, assim como um processo lento, o método tradicional começaram a produzir argamassas espessas, muito ricas em cimento e processos inadequados de assentamento. Com a contribuição do alto consumo de materiais, a pressa em finalizar os serviços promoveu a eliminação das juntas entre as peças, bem como as juntas de movimentação, essenciais no processo. As juntas estruturais, quando existentes, passaram a ser desconsideradas, aplicando sobre elas os revestimentos de modo continuo (FIORITO, 2009).

Com o objetivo de suprir as novas exigências impostas pelo mercado, foram experimentados produtos já disponíveis em mercado (resina epóxi de alto desempenho; emulsões asfálticas e adesivos à base de borracha sintética). Como eram produtos destinados à outras finalidades, as experimentações práticas mostraram que os mesmos não atenderam aos parâmetros exigidos.

Dessa forma, se estabeleceu a necessidade de um produto que atendesse aos novos parâmetros que caracterizavam o cenário composto pelo elevado consumo de materiais cerâmicos, a mão de obra disponível e a garantia do cumprimento dos prazos dos serviços. O produto ideal apresentaria características como: ser à base de cimento Portland, assemelhando-se com as argamassas comuns; ter a água como solvente, facilitando o preparo pelo fato de não ser tóxico, tão pouco inflamável; ser aplicado em pequena camada, permitindo o acerto de possíveis irregularidades superficiais e aderindo à qualquer superfície; plasticidade que permitisse aplicação através da espátula, apresentando tempo em aberto que possibilitasse a maior velocidade no assentamento cerâmico; preço que proporcionasse uma mão de obra barata, reduzindo os prazos de execução.

Essas características necessárias foram atendidas pelo *dry-set mortar*, que já se apresentava consolidado nos Estados Unidos e com grande expansão no continente europeu. Destarte, no início da década de 70, apresentou-se no mercado brasileiro a primeira argamassa colante. Com a introdução da argamassa colante, tornou-se possível a racionalização do processo de assentamentos cerâmicos. Podendo assim, observar como consequências desse processo, expressivo aumento da produtividade, maior qualidade e garantia de desempenho dos serviços de assentamento, atendendo as novas exigências e parâmetros apresentados pelo mercado.

O fator racionalização do processo de assentamento cerâmico, não pode ser desvinculado do grande crescimento do mercado cerâmico brasileiro. Segundo Fiorito (2009), as argamassas colantes não existiriam sem os revestimentos cerâmicos, por outro lado, a indústria de revestimentos não teria atingido os níveis atuais sem a existência da argamassa colante. É importante destacar que mesmo com a racionalização e normatização do método de assentamentos cerâmicos, juntamente com o desenvolvimento do mercado de argamassas colantes industrializadas, os métodos convencionais e tradicionais ainda encontram seus adeptos.

2.1 PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DAS ARGAMASSAS COLANTES

São consideradas propriedades tecnológicas aquelas que podem ser utilizadas pela indústria para controle de qualidade por meio de sua mensuração. Com isso, é possível confrontar os resultados obtidos com os parâmetros já cristalizados em norma.

2.1.1 Retenção de água

De acordo com Carasek (2017), a retenção de água é uma propriedade que confere à argamassa a capacidade de manter sua trabalhabilidade quando exposta à condições que promovem a perde de água de amassamento.

Segundo Oliveira (2015), a retenção de água é um dos principais requisitos da argamassa colante, uma vez que possibilita a aplicação em uma camada fina, sem a necessidade de umedecer as placas cerâmicas e os substratos.

Para Carasek (2017), essa propriedade mostra-se ainda mais importante quando a aplicação é feita sobre substratos com alto poder de absorção de água, ou ainda quando as condições climáticas são desfavoráveis, como altas temperaturas, baixa umidade relativa do ar e fortes ventos.

A perda excessiva de água prejudicará o desempenho da argamassa, tanto em seu estado fresco quanto em seu desempenho no estado endurecido. De acordo com Casali (2008), a perde rápida de água reduzirá sua resistência de aderência, fazendo com que a argamassa se apresente mais rígida em seu estado endurecido, pois há aumento no seu módulo de elasticidade, e por consequência, a diminuição de sua capacidade de absorver tenções. Outra consequência da perda rápida e inadequada de água das argamassas, possibilitada por uma baixa retenção de água, é a redução de sua resistência final, uma vez que a falta de água afetará as reações de hidratação do cimento.

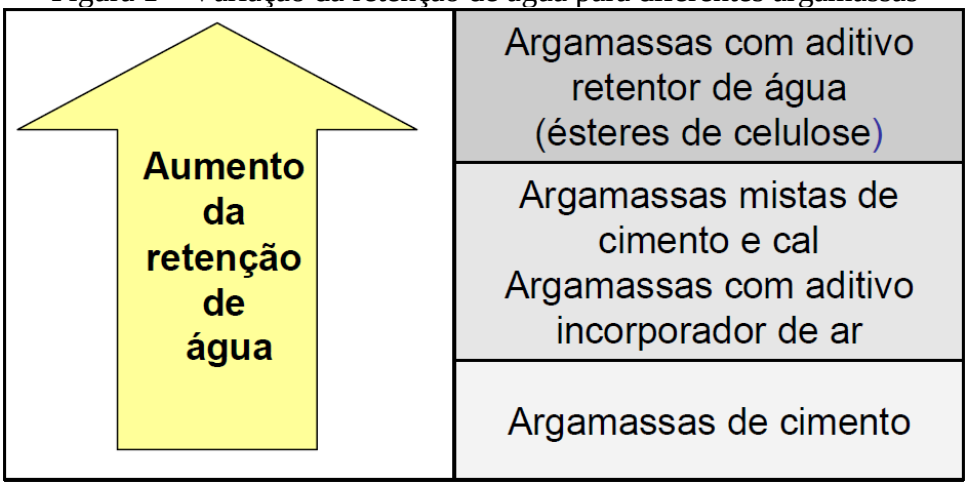
A trabalhabilidade também é um aspecto fortemente influenciada pelo fator retenção de água, sendo necessário a argamassa apresentar uma adequada capacidade de retenção. Ainda segundo Casali (2008), um dos indicadores que se apresentam com uma baixa retenção de água é a perda de trabalhabilidade no momento da aplicação. Por outro lado, uma excessiva capacidade de retenção, poderá prejudicar a aderência, ou promover o descolamento, uma vez que a transferência de água, responsável pela formação do elo de contato, será reduzida.

Segundo Carasek (2017), a retenção de água influencia a argamassa tanto em seu estado fresco quanto em suas propriedades no estado endurecido, uma vez que as argamassas necessitam de uma adequada capacidade de retenção de água para que as reações químicas relacionadas ao endurecimento sejam efetuadas apropriadamente. Aderência, resistência mecânica final e durabilidade, são propriedades influenciadas pela retenção de água.

De acordo com Kudo (2012), aditivos químicos derivados de celulose, os éteres de celulose, são utilizados para melhorar a retenção de água e a trabalhabilidade, assim como a adesão ao substrato.

Carasek (2017), relaciona a retenção de água em função do tipo de argamassa, conforme apresentado na Figura 1.

Figura 1 – Variação da retenção de água para diferentes argamassas



Fonte: Carasek (2017, p. 940).

O método proposto pela NBR 13277 (ABNT, 2005), para avaliar a retenção de água, mede a quantidade de água que é retirada de uma porção de argamassa, após uma sucção realizada por uma bomba de vácuo, contida em um funil de filtragem.

2.1.2 Adesão inicial

Segundo Carasek (2017), a adesão inicial, também chamada de *pegajosidade*, é a capacidade de união da argamassa no estado fresco a uma base.

As características reológicas da argamassa influenciam diretamente sua adesão inicial, principalmente sua tensão superficial. A adesão pode ser aumentada com a diminuição da tensão superficial da argamassa, provocando maior facilidade desta em molhar o substrato, aumentando a região de contato entre ambos (CASALI, 2008). Sendo assim, o ângulo de contato é reduzido com a redução da tensão superficial.

Para Carasek (2017), a tensão superficial da pasta (ou argamassa) é modificada com a alteração de sua composição, sendo o teor de cimento fator inverso à tensão superficial. Para a diminuição da tensão superficial, também pode ser introduzida cal à composição da argamassa de cimento, para que o substrato e os agregados tenham suas superfícies molhadas de maneira mais efetiva.

Aditivos incorporadores de ar, assim como os retentores de água, proporcionam efeitos semelhantes, conforme apresentado no Tabela 1.

Tabela 1 – Tensão superficial medida para diferentes soluções

Soluções	Tensão Superficial (dina/cm)
Água destilada	71,1
Água destilada + cal	66,9
Água destilada + cimento	66,7
Água destilada + cal + cimento	42,2
Água + aditivo incorporador de ar	39,5

Fonte: Carasek (2017, p. 942).

No Brasil não existem métodos normatizados para determinação da adesão inicial (CARASEK, 2017).

2.1.3 Teor de ar incorporado e massa específica

A determinação do teor de ar incorporado e da massa específica são estabelecidos pela NBR 13278 (ABNT, 2005). Cabe destacar que a densidade de massa especificada na norma, se trata da massa específica no estado fresco.

De acordo com Carasek (2017), a densidade de massa das argamassas, ou massa específica, varia com a massa específica dos constituintes da argamassa (principalmente a do agregado) e com o teor de ar, sobretudo quando incorporado através de aditivos.

Segundo Beall (1987), quando são utilizados aditivos incorporadores de ar para melhoria da trabalhabilidade, o teor de ar incorporado deve ser estabelecido entre 12 e 15%. Beningfield (1988), estabelece que o teor de ar não deve ultrapassar 20%, e preferencialmente, não exceder 15%. Entretanto, em argamassa com hidratação estabilizadas produzidas em centrais dosadoras o teor de ar é de 20 a 22%.

Carasek (2017), afirma que quanto mais leve a argamassa, mais trabalhável será a longo prazo, dessa forma, se reduz o esforço do operário no processo de aplicação, aumentando assim, sua produtividade.

O Quadro 1 classifica as argamassas quanto à sua densidade de massa no estado fresco, segundo Carasek (2017).

Quadro 1 – Classificação das argamassas quanto à densidade de massa no estado fresco

Argamassa	Densidade de Massa A (G/Cm³)	Principais Agregados Empregados	Usos/Observações
Leve	<1,40	Vermiculita, perlita, argila expandida	Isolamento térmico e acústico
Normal	2,30 ≤ A ≤ 1,40	Ateia de rio (quartzo) e calcário britado	Aplicações convencionais
Pesada	>2,30	Barita (sulfato de bário)	Blindagem de radiação

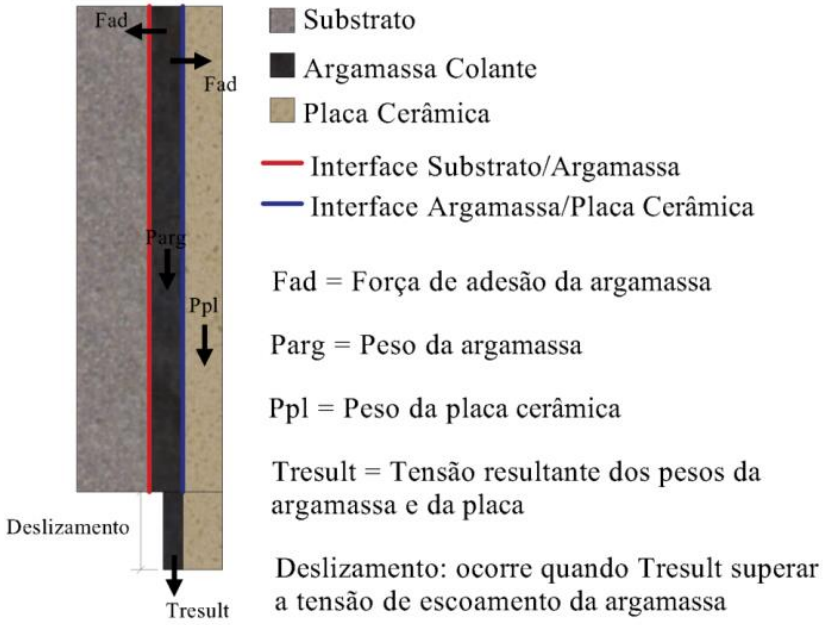
Fonte: Carasek (2017, p. 941).

2.1.4 Deslizamento

O deslizamento, normatizado pela NBR 14081-5 (ABNT, 2012), determina a medida do deslocamento vertical sofrido pela placa cerâmica que é aplicada sobre a argamassa ainda em seu estado fresco, mantendo-se sob ação do seu próprio peso. Segundo Kudo (2012), o método tem objetivo de determinar a resistência ao deslocamento de uma placa assentada, um azulejo sujeito à um deslocamento vertical após ser fixado em uma parede com argamassa pode exemplificar a situação.

Ocorrerá deslizamento quando a tensão de escoamento da argamassa colante for inferior à tensão resultante do peso da placa cerâmica e da própria argamassa. Destarte, a tensão de escoamento da argamassa determina o nível de deslizamento. A Figura 2 ilustra as forças atuantes no deslizamento.

Figura 2 – Forças atuantes no deslizamento da argamassa colante



Fonte: Pereira (2017, p. 41).

2.1.5 Tempo em aberto

O tempo em aberto é uma propriedade primordial das argamassas colantes. A NBR 14081-3 (ABNT, 2012) estabelece que o tempo em aberto é o maior intervalo entre a aplicação da argamassa no substrato e o assentamento da placa cerâmica, com a condição de proporcionar a resistência de aderência mínima prevista em norma.

Segundo Oliveira (2015), a perda de aderência das placas assentadas após o tempo em aberto, é consequência da formação de uma película que prejudica a adesão inicial da argamassa colante, diminuindo assim, sua aderência com o substrato.

De acordo com Póvoas, *et al.* (2002), a perda por evaporação de água pode levar à dessecação da superfície dos cordões, e essa evaporação pode ser responsável pela formação de uma película superficial. A dessecação superficial causa a diminuição da área de contado entre a argamassa e o tardoz da placa cerâmica, embora a parte interna dos cordões ainda se mantenha umedecida. Com isso, há a redução da aderência, o que pode provocar o descolamento (PÓVOAS; JOHN; CINCOTTO, 2002).

Os aditivos a base de éteres de celulose proporcionam a retenção de água necessária para que o parâmetro tempo em aberto seja atendido (BREA; GUIMARÃES; SILVA, 2009).

O método para a determinação do tempo em aberto, NBR 14081-3, não determina o rompimento da película superficial, essa determinação pode resultar da preocupação em

proporcionar uma simulação mais desfavorável do que a situação prática, onde ocorre o rompimento da película.

Quanto maior a extensão do tempo em aberto, maior será a adversidade de situações em que o profissional poderá realizar o serviço, porém, após o término do tempo em aberto, a argamassa não deve ser utilizada para o assentamento cerâmico, devendo a mesma ser descartada.

2.1.6 Tempo de consolidação

Segundo Silva (2003), o tempo útil, ou tempo de consolidação, é o tempo disponível para a aplicação da argamassa, e o intervalo de tempo entre o contato da água de amassamento com a argamassa até o momento em que a argamassa pode ser considerada utilizável.

Segundo Oliveira (2015), o espalhamento de panos muito extensos para o assentamento de placas cerâmicas, não respeitando o tempo de consolidação da argamassa, causa uma capacidade aderente insuficiente, podendo ocasionar problemas de descolamentos.

O tempo útil da argamassa depende, além da absorção do substrato, de sua formulação e das condições ambientais durante a preparação até o momento da aplicação (SILVA, 2003).

2.1.7 Potencial de aderência

A aderência das argamassas descreve o potencial de resistência e extensão provenientes do contato entre a argamassa e uma base. Dessa forma, é essencial especificar o material em que a argamassa será aplicada, pois a aderência é resultado da interação entre os dois elementos. A determinação da resistência de aderência à tração é normatizada pela NBR 14081-4 (ABNT, 2012).

De acordo com Carasek (2017), a aderência é resultado da conjunção de três propriedades da interface argamassa-substrato: resistência de aderência à tração; resistência de aderência ao cisalhamento e a extensão de aderência que se refere a razão entre área de contato efetivo e a área total possível de ser úmida.

A aderência da argamassa ao substrato, ou material de contato, ocorre através de um processo mecânico. Esse processo é resultado da penetração da pasta aglomerante, ou até mesmo da própria argamassa, nos poros ou nas rugosidades da base a qual é aplicada.

Segundo Carasek (2017), as ligações secundárias do tipo *van derem waals*, mesmo que de forma menos significativa, também contribuem para a aderência da argamassa ao substrato. Dessa forma, sendo pela penetração da pasta (ou da própria argamassa), ou pelas forças secundárias, quanto melhor ocorrer o contato entre argamassa e substrato, maior será a resistência.

Os materiais componentes das argamassas exercem significativa influência na aderência. A finura do cimento é um fator de influência, uma vez que quanto mais fino for o cimento, maior a aderência obtida. Dessa forma, são obtidas maiores aderências com o uso do cimento CPV – ARI, em comparação com os demais cimentos Portland (CARASEK, 2017).

Além de ser um material ligante, apresentar propriedades que auxiliam na retenção de água, a cal auxilia no preenchimento da superfície do substrato, e por consequência, proporciona o aumento da extensão de aderência.

Outro fator influente na aderência é a areia. O aumento do teor de areia reduz a resistência de aderência, contudo, a areia proporciona durabilidade da aderência com a diminuição da retração.

2.1.8 Classificação das argamassas colantes

A NBR 14081-1 (ABNT, 2012), classifica as argamassas colantes, em função de suas características de tempo em aberto e aderência, em quatro classes, conforme as exigências da norma e expressas na Tabela 2.

- Tipo I (AC I): argamassa colante que apresenta características de desempenho de tempo em aberto e aderência típica de ambientes internos. Com exceção de ambientes como churrasqueiras, estufas, saunas, entre outros.
- Tipo II (AC II): argamassa colante industrializada com características de desempenho que permitem resistir à esforços em pisos e paredes de ambientes externos, variações de temperatura e umidade, ações relacionadas à chuva e vento, cargas resultantes de movimentações de pedestres e máquinas ou equipamentos leves.
- Tipo III (AC III): argamassa colante industrializa com características de desempenho que permitem resistir à altas tensões de cisalhamento, assim como uma aderência superior quando comparada às argamassas do tipo I e II.
- Tipo E: argamassa colante industrializada do tipo AC I, II ou III, com tempo em aberto estendido.

- Tipo D: argamassa colante industrializada do tipo AC I, II ou III, com deslizamento reduzido.

Tabela 2 – Critérios para a classificação das argamassas colantes

Requisito		Método de Ensaio	Unidade	Critério		
				AC I	AC II	AC III
Tempo em aberto		ABNT NBR 14081-3	min.	≥ 15	≥ 20	≥ 20
Resistência de aderência à tração aos 28 dias, em função do tipo de cura	Cura normal	ABNT NBR 14081-4	MPa	≥ 0,5	≥ 0,5	≥ 1,0
	Cura submersa			≥ 0,5	≥ 0,5	≥ 1,0
	Cura em estufa				≥ 0,5	≥ 1,0
Tempo em aberto estendido (E)		ABNT NBR 14081-3		Argamassa do tipo I, II ou 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 ou III, com deslizamento menor ou igual a 2 mm		

Fonte: Adaptado da NBR 14081-1 (ABNT, 2012, p. 3).

2.1.9 Consistência e plasticidade

Segundo Prudêncio Jr., (2005), a consistência pode ser definida como a maior ou menor facilidade de uma argamassa opor resistência em reação a uma dada deformação. A plasticidade permite a que a argamassa se deforme e retenha as deformações que lhe foram impostas após a redução das tensões responsáveis pela deformação.

Consistência e plasticidade são colocadas como as principais propriedades determinantes para a condição de trabalhabilidade. Pode-se considerar que as duas propriedades estão interligadas (SOUSA; LARA, 2005). O Quadro 2 apresenta fatores que influenciam a consistência e plasticidade das argamassas.

Quadro 2 – Fatores que influenciam a consistência e plasticidade

Fatores Internos	Fatores Externos
Teor de água muitas vezes definida em função da consistência necessária	Tipo de mistura
Proporção entre aglomerantes e agregado	Tipo de transporte
Natureza e teor dos plastificantes (cal, finos argilosos, etc.)	Tipo de aplicação no substrato
Distribuição granulométrica e forma e textura dos grãos do agregado	Operações de sarrafeamento e desempeno
Natureza e teor de aditivos	Características da base de aplicação – tipo de preparo, rugosidade, absorção, etc.

Fonte: Sousa e Lara (2005, p. 26).

A plasticidade adequada para uma argamassa, levando em consideração as condições de finalidade e aplicação, necessita de uma adequada quantidade de água, o que significa uma consistência ótima (CARASEK, 2017).

A massa unitária da areia influencia o índice de consistência da argamassa, dessa forma, quanto maior a massa unitária da areia, maior o índice de consistência (CARASEK, 2017). A Tabela 3, apresenta a influência do teor de finos na plasticidade da argamassa.

Tabela 3 – Influência do teor de finos da mistura seca na plasticidade das argamassas

Plasticidade	% Mínima de Finos da Argamassa	
	Sem aditivo plastificante	Com aditivo plastificante
Pobre (áspera, magra)	< 15	< 10
Média (plástica)	15 a 25	10 a 20
Rica (gorda)	> 20	> 20

Fonte: Carasek, 2017.

Os aditivos incorporadores de ar podem causar alterações na trabalhabilidade das argamassas, pois podem alterar aspectos de argamassas secas e ásperas para argamassas de aspecto plástico. Apenas com usos de aditivos incorporadores de ar com agentes plastificantes, pode-se confeccionar argamassas sem adição de cal (ALVES; Ó, 2005).

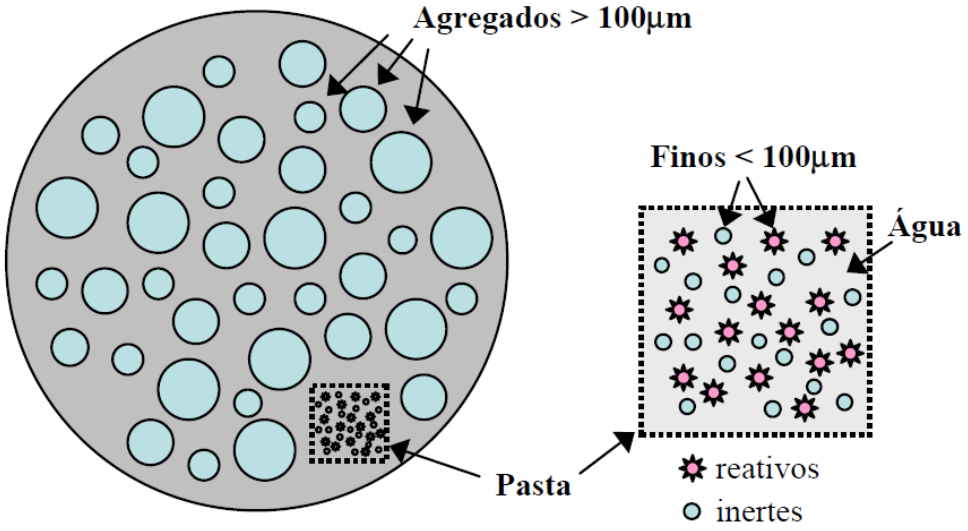
A consistência das argamassas é determinada pela NBR 13276 (ABNT, 2016). Os ensaios tradicionais, como mesa de consistência e o *dropping ball*, embora sejam considerados ensaios de simples execução, não são suficientes para uma caracterização completa das argamassas no estado fresco, pelo fato de serem considerados ensaios monopontos apresentando limitações conceituais.

2.2 PROPRIEDADES REOLÓGICAS DA ARGAMASSA COLANTE NO ESTADO FRESCO

Reologia pode ser definida como a ciência que estuda a deformação e escoamento da matéria (SOUSA; LARA, 2005).

Do ponto de vista reológico, a microestrutura das argamassas colantes, ilustrada na Figura 3, pode ser descrita como suspensões bifásicas concentradas. Essa suspensão é composta por uma fração *grossa* inerte (areia) e uma pasta reativa, esta última composta por água e *finos* (cimento e cal) (CARDOSO; PILEGGI; JOHN, 2005).

Figura 3 – Ilustração esquemática descrevendo a macroestrutura e microestrutura de uma argamassa

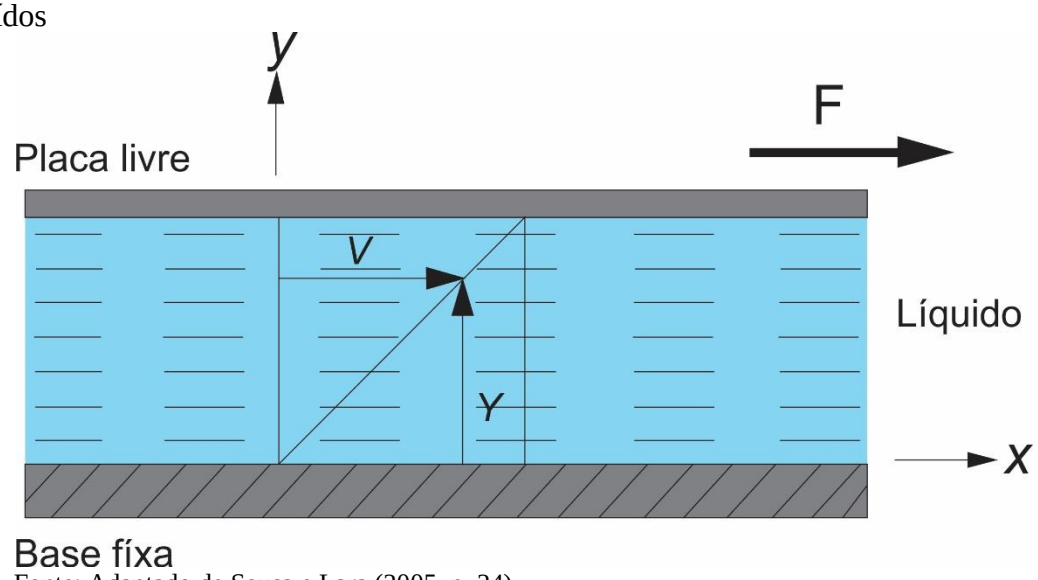


Fonte: Cardoso, Pileggi e John (2005, p. 123).

Nesse contexto, pode-se considerar que essas suspensões escoam como um fluido, sendo válido aplicar a teoria clássica que envolve o escoamento dos fluidos. Portanto, ao aplicar-se uma força de cisalhamento em um fluido, é induzido no mesmo um gradiente de velocidade. Desse modo, o fator de proporcionalidade entre a força e o gradiente é denominado viscosidade (SOUSA; LARA, 2005). A Figura 4 ilustra o cisalhamento do fluido através do experimento de Newton, onde é aplicada uma força na placa móvel gerando a deformação do fluido. Desse modo, o fluido em contato com a placa superior origina uma força de mesma direção, mesma intensidade, mas com sentido contrário à força de impulsiona a placa.

Em uma análise sob o ponto de vista reológico, a viscosidade expressa a facilidade de escoamento do fluido, relacionando seu desempenho de espalhamento e penetração nas rugosidades (COSTA; CINCOTTO; PILEGGI, 2005).

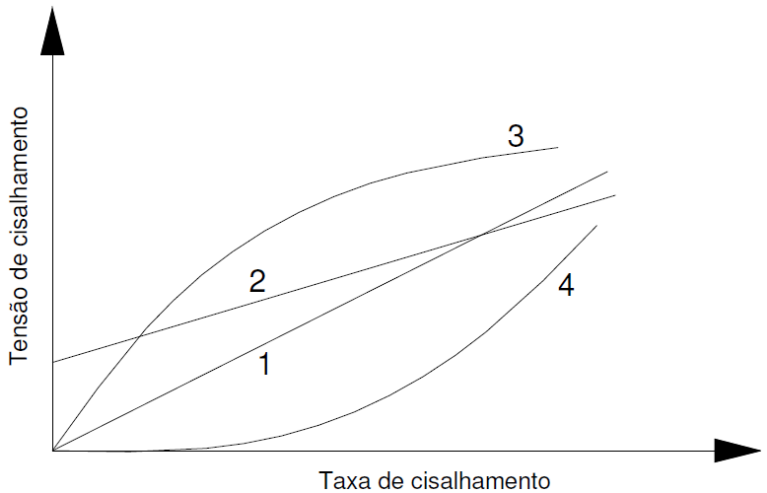
Figura 4 – Esquema ilustrativo do experimento de Newton para a determinação da viscosidade de fluídos



Fonte: Adaptado de Sousa e Lara (2005, p. 24).

Destarte, a viscosidade pode ser considerada a resistência, ou o atrito interno, ao escoamento do fluido quando colocado em situação de fluxo. Alguns tipos de fluidos incorporam um outro fator além da viscosidade, a tensão de escoamento. Esse fator representa a tensão mínima a ser aplicada para que um determinado material inicie seu escoamento. Esses tipos de fluidos são denominados Fluidos de Bingham, sendo esse modelo mais utilizado para caracterizar a reologia das argamassas colantes (SOUSA; LARA, 2005). A Figura 5 apresenta o comportamento de tipos de fluidos analisando a tensão de cisalhamento e a taxa de cisalhamento.

Figura 5 – Comportamento da tensão de cisalhamento x taxa de cisalhamento para diferentes fluidos



Legenda: 1 – Fluido newtoniano. 2 – Fluido de binghamiano. 3 – Fluido pseudoplástico. 4 Fluido dilatante
Fonte: Sousa e Lara (2005, p. 25).

Como as argamassas são composições de alta concentração de partículas, seu sistema reológico difere do modelo ideal newtoniano, por conta da intensa interação entre as partículas (CARDOSO; PILEGGI; JOHN, 2005).

Materiais newtonianos, independentemente da taxa de cisalhamento, apresentam um único coeficiente de viscosidade em uma dada temperatura. Os materiais não newtonianos não apresentam proporcionalidade entre sua taxa de cisalhamento e taxa de deformação, sua velocidade em determinada situação também não se apresenta constante (OLIVEIRA, 2015). Os fluidos binghamianos comportam-se como sólido até que a pressão exercida sobre o mesmo não ultrapassa a tensão de cisalhamento, quando essa pressão é ultrapassada inicia-se o fluxo. Fluidos não newtonianos são divididos em pseudoplásticos, dilatantes e fluidos de viscoplasticidade ou Binghamiano (SOUSA; LARA, 2005). Os fluidos pseudoplásticos apresentam diminuição da viscosidade com aumento da taxa de cisalhamento. Fluidos dilatantes se caracterizam pelo aumento da viscosidade do sistema com a taxa de cisalhamento (CARDOSO, 2009).

Por apresentarem natureza bifásica e reativa, as argamassas colantes possuem um comportamento reológico complexo. As argamassas ainda são submetidas à diversas solicitações em suas etapas de mistura, aplicação e acabamento, como também podem apresentar características variáveis por conta de diferentes finalidades (CARDOSO; PILEGGI; JOHN, 2005). As argamassas colantes não possuem seu fluxo homogêneo, devido as fases que a constituem: matriz e agregados (COSTA; CINCOTTO; PILEGGI, 2011), sendo assim, tendem a apresentar um comportamento reológico complexo.

No estado fresco, em condições de cisalhamento a fração *grossa* é predominantemente sujeita a fenômenos de atrito e impacto. Nessa mesma condição, a fração *fina* é afetada por reações de hidratação e fenômenos de superfície. Como consequência da hidratação do cimento e a secagem, a argamassa passa do estado fluido para o estado endurecido. Nesse processo, a argamassa tem seu comportamento reológico modificado em função das solicitações e fenômenos a qual é submetida (CARDOSO; PILEGGI; JOHN, 2005).

Diversos fatores são influentes no comportamento reológico das argamassas colantes. Granulometria do agregado, quantidade de água utilizada na mistura, teor e tipo de aditivos são fatores que interferem no comportamento reológico das argamassas (COSTA; CINCOTTO; PILEGGI, 2005). Avaliar, quantificar e prescrever valores e características de trabalhabilidade das argamassas não é uma tarefa fácil, fatores como as propriedades do substrato, habilidade do responsável pela execução e a técnica de aplicação, são fundamentais para a avaliação da argamassa, além das propriedades intrínsecas das misturas. Em termos de

comportamento reológico, a consistência das argamassas está associada à capacidade da mistura em resistir ao escoamento, e sua plasticidade está relacionada com a viscosidade (CARASEK, 2017).

O estado endurecido das argamassas colantes tem se mostrado como foco de pesquisas, e seu estudo no estado fresco acaba ficando em segundo plano. Uma evidencia desse cenário, mostra-se no fato da norma brasileira de argamassa colante prescreve como requisitos para o estado fresco apenas os ensaios de deslizamento. No estado endurecido, o requisito é expresso pelo ensaio de resistência de aderência associado ao tempo em aberto (COSTA; CINCOTTO; PILEGGI, 2005).

As argamassas comumente têm seu comportamento reológico caracterizado por ensaios como a mesa de *flow*, reômetros e o método do *dropping-ball*. Esses ensaios são de simples execução, avaliam a consistência da argamassa de acordo com sua trabalhabilidade. Esses métodos de caracterização levam em consideração parâmetros pré-estabelecidos por norma que indicam se a argamassa está em conformidade para a aplicação.

Através da mesa de consistência, a argamassa é caracterizada em função de seu espalhamento quando aplicado um determinado número de quedas. A medida do espalhamento é relacionada com a viscosidade, não se relaciona a tensão de escoamento uma vez que ao aplicar os golpes a amostra é submetida à uma tensão maior que a tensão de escoamento. Porém, esse método não avalia o material em função do tempo, que seria fundamental para uma possível correlação com a viscosidade (SOUSA; LARA, 2005).

Os reômetros determinam viscosidade e tensão de escoamento. A avaliação ocorre através da aplicação de torque à mistura e medida do cisalhamento resultante. O cisalhamento aplicado é controlado, assim é avaliado o torque necessário para o cisalhamento (CARDOSO; PILEGGI; JOHN, 2005).

O método de *dropping-ball* baseia-se na queda livre de uma esfera padronizada sobre uma argamassa moldada em um cilindro metálico. Esse ensaio é relacionado à tensão de escoamento do material. A densidade da argamassa também interfere neste ensaio, uma vez que existe a influência do impacto da bola no material. O *dropping-ball* apresenta seus resultados em índice de penetração (CARDOSO, 2009).

Em contraste ao complexo comportamento reológico das argamassas, estas são tradicionalmente caracterizadas por ensaios simples que avaliam a consistência do material de acordo com seu conceito de trabalhabilidade. A trabalhabilidade apresenta um conceito de certa forma relativo, pois depende da forma de aplicação e do método de avaliação, não somente da propriedade do material (CARDOSO; PILEGGI; JOHN, 2005).

Os ensaios tradicionais são de baixo custo e fácil execução, entretanto, estes métodos não são suficientes para uma completa avaliação do comportamento reológico das argamassas, uma vez que as mesmas são submetidas à extremas solicitações de cisalhamento em situações práticas de aplicação, além da natureza multifásica e reativa das argamassas e as limitações dos ensaios. Os ensaios tradicionais citados também se mostram insuficientes pelo fato de apresentarem a descrição do complexo comportamento reológico das argamassas por um único valor de medida. O ensaio da mesa de consistência não é capaz de reproduzir as condições práticas de aplicação, como lançamento com alto impacto e espalhamento sob alto cisalhamento. Os reômetros de precisão atuam em faixas de torque limitadas, portanto não são capazes de medir os elevados esforços necessários para o cisalhamento de materiais em faixas extremas. O ensaio de *dropping-ball* não utiliza unidades fundamentais como parâmetros para a caracterização (CARDOSO; PILEGGI; JOHN, 2005).

A utilização de aditivos é responsável pela modificação das propriedades reológicas das argamassas, por conta da modificação de propriedades como tixotropia[1], tensão de cisalhamento e escoamento, existe dificuldade em estabelecer uma consistência padrão expressa pela mesa de consistência e a trabalhabilidade ideal para a melhor aplicação (NAKAKURA; CINCOTTO, 2004).

Em virtude da importância da caracterização reológica das argamassas colantes, a complexidade de seu comportamento reológico e a incapacidade dos ensaios tradicionais, destinado às argamassas, em caracterizar de forma mais completa esse comportamento, os ensaios de *Squeeze Flow* e *Pull Out Flow* apresentam-se como soluções viáveis para essa problemática.

2.2.1 *Squeeze Flow*

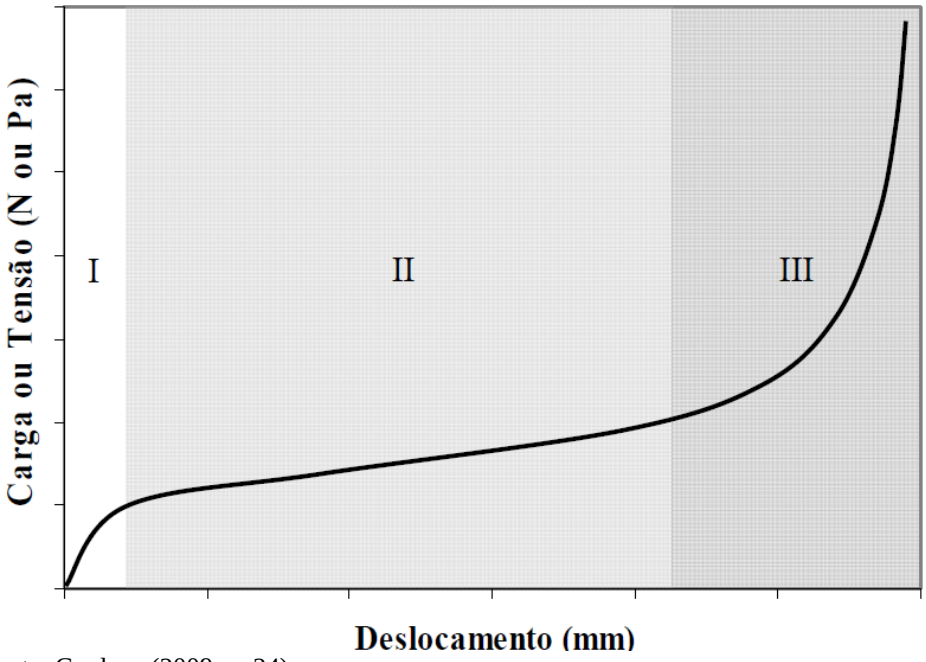
O *Squeeze Flow* consiste na medida de esforço necessário para comprimir o material entre duas placas paralelas, isso resulta em deformações por cisalhamento e elongação da amostra (CARDOSO; PILEGGI; JOHN, 2005). Segundo Kudo (2012), para as argamassas colantes o ensaio de *Squeeze Flow* é o mais indicado, pois simula as condições de aplicação do material sobre o substrato e seu espalhamento, assim como o espalhamento da argamassa em

[1] Os fluidos dessa classe com o tempo de aplicação da tensão de cisalhamento têm sua viscosidade diminuída, quando a tensão cessa volta a ficar mais viscoso.

decorrência da compressão. O método também é capaz de avaliar materiais com qualquer nível de consistência, sendo apto para a caracterização reológica das argamassas, pois as mudanças geométricas inerente ao ensaio simulam as condições de aplicação, como espalhamento, nivelamento e acabamento. Outro fator positivo da técnica, é o fato da mesma dispensar o uso de reômetros, pois pode ser implementada em equipamentos do tipo maquina universal (prensas), equipamentos comumente utilizados em centros de pesquisa e em laboratórios das indústrias destinadas ao controle de qualidade e universidades (CARDOSO, 2009).

O *Squeeze Flow* também permite a variação da taxa de cisalhamento e da magnitude das deformações, fator que permite detectar pequenas alterações nas características reológicas dos materiais (CARASEK, 2017). Cardoso (2009), apresenta um perfil típico de carga *vs* deslocamento do ensaio de *Squeeze Flow*, Figura 6.

Figura 6 – Perfil típico de carga *vs* deslocamento de um ensaio de *Squeeze Flow* com deslocamento controlado



Fonte: Cardoso (2009, p. 24).

O perfil apresenta três regiões bem definidas, onde cada região expressa um estágio de comportamento da argamassa.

No estágio I, o material é submetido à pequenas deformações, comportando-se como um sólido e apresentando deformação elástica linear (CARDOSO; PILEGGI; JOHN, 2005).

No estágio II, o material sofre grandes deformações sem aumento expressivo de cargas de compressão, sendo essa faixa mais extensa. Essa etapa expressa a deformação plástica

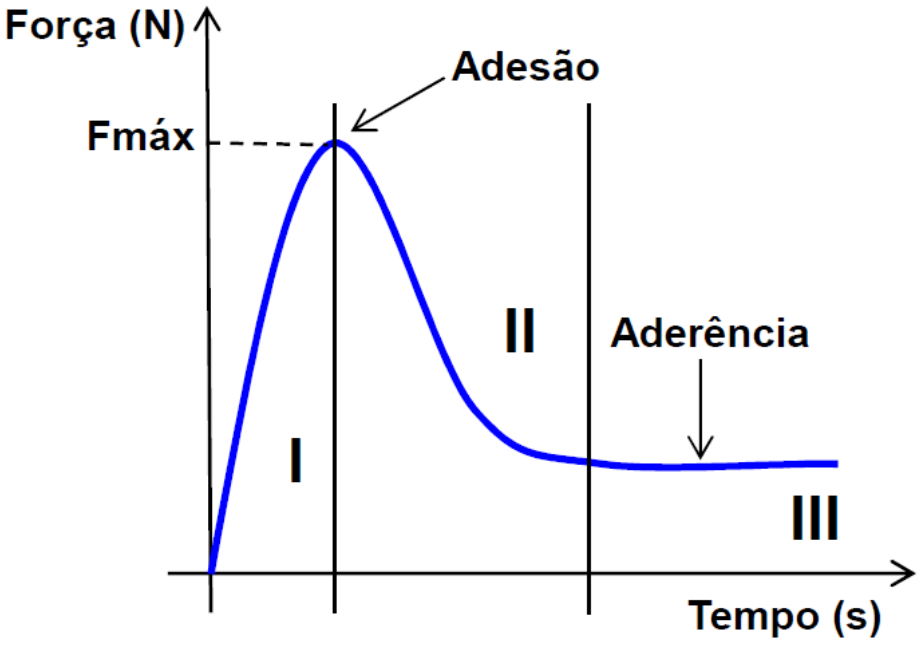
ou o fluxo viscoso. Dessa forma, dependendo de suas características, o material flui por deformação plástica (KUDO, 2012).

No estágio III, para continuar a deformação do material, é necessário um aumento exponencial da carga. Como a argamassa está em grandes deformações, ocorre a aproximação das partículas e outros constituintes, gerando forças restritivas ao fluxo por conta da maior interação por embricamento dos constituintes do sistema. Nesse estágio, as forças de atrito tornam-se predominantes, no caso das argamassas, também existe uma tendência à separação de fases quando a mesma é submetida à grandes deformações em velocidades baixas (CARDOSO, 2009).

2.2.2 *Pull Out Flow*

O ensaio de *Pull Out Flow*, realizado no mesmo corpo de prova do *Squeeze Flow*, consiste em submeter a amostra, ainda no estado fresco, à tração. A execução deste ensaio simula o esforço de tração, a adesão e o comportamento elongacional da argamassa (OLIVEIRA, 2015). Kaci, *et al*. (2011), define um perfil típico para a avaliação deste método, apresentado na Figura 7.

Figura 7 – Perfil típico de carga de tração *vs*. tempo obtido no ensaio de *Pull Out Flow*



Fonte: Kaci, *et al*. (2011).

Kudo (2012), define as três zonas do perfil típico:

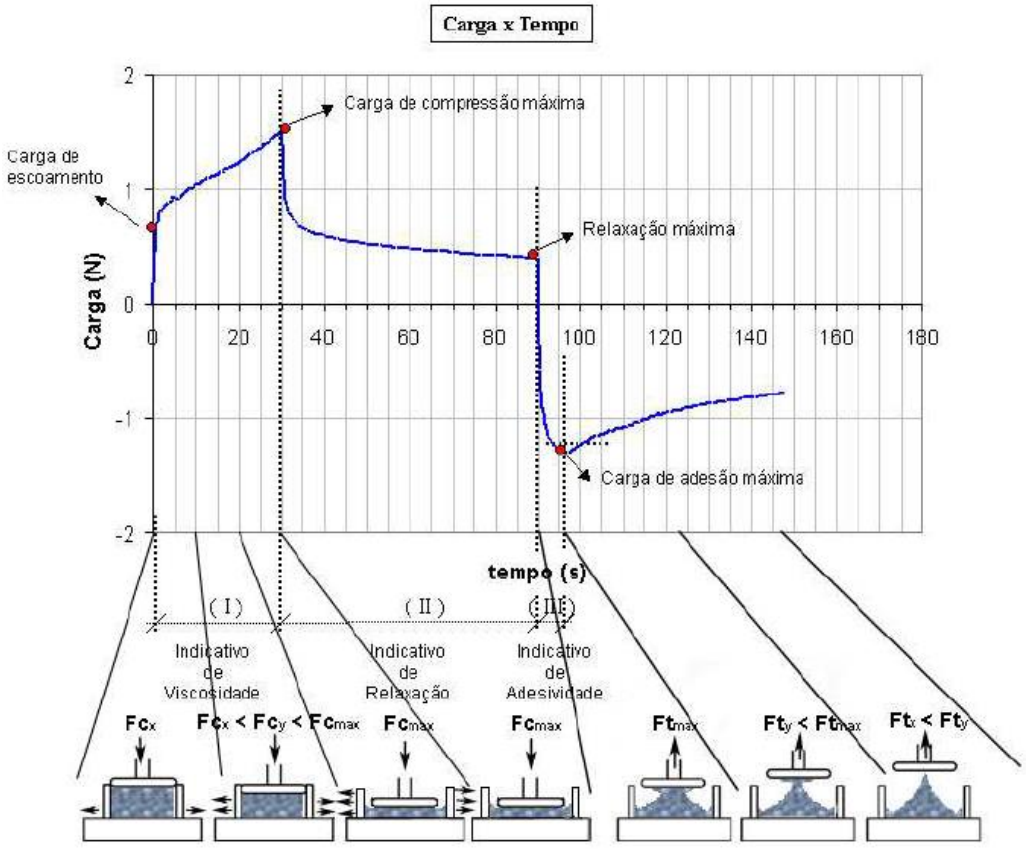
Zona I: essa zona expressa principalmente o comportamento elástico da argamassa. O pico de força exibido no gráfico, representa a força adesiva do material.

Zona II: a argamassa flui em direção ao centro da placa, ocorrendo uma ruptura irreversível da amostra. A análise da redução de força nesta zona caracteriza a ruptura dinâmica da argamassa.

Zona III: nessa zona é possível analisar a força de adesão da argamassa em ralação à superfície do prato. Esse processo inicia assim que a ruptura é concluída. A força expressa relaciona-se com a quantidade de material que permanece aderido sobre a placa superior.

Costa (2006), define um perfil típico do ensaio de *Squeeze Flow* seguido do ensaio *Pull Out Flow*, expressando a curva de carga de tração *vs* tempo, apresentado na Figura 8.

Figura 8 – Detalhamento da curva carga *vs* tempo obtido no ensaio de *Squeeze Flow* e *Pull Out Flow*



Fonte: Costa (2006, p. 76).

O estágio I expressa a carga máxima de compressão para o deslocamento máximo do pistão do equipamento, apresentando a evolução da carga de compressão e o deslocamento correspondente.

O estágio II ilustra a acomodação do material após a solicitação, indicando a relaxação da argamassa após a aplicação da carga máxima.

O estágio III relaciona-se com a adesividade da argamassa.

2.2.3 Relações das propriedades do estado fresco com as propriedades do estado endurecido

Uma argamassa ideal deve apresentar comportamento pseudoplástico, dessa forma apesentara maior facilidade para o espalhamento, nivelamento e acabamento, assim como uma considerável tensão de escoamento, a fim de manter-se estável após a execução das etapas mencionadas (CARDOSO; PILEGGI; JOHN, 2005).

Considerando que para as argamassas o desempenho de aderência é diretamente influenciado pela extensão dela, com isso, é possível deduzir que o desempenho de aderência depende das características reológicas, além das próprias características de resistência mecânica e retenção de água (COSTA; CINCOTTO; PILEGGI, 2005).

De modo geral, argamassas que apresentam falta de trabalhabilidade é traduzida em aspectos como uma argamassa áspera, muito seca ou pouco fluida, com segregação e exsudação excessiva, apresentando dificuldade de espalhamento sobre a base de aplicação, falta de *liga*, falta de adesão inicial, e em determinadas dificuldades para início das operações de acabamento (SOUSA; LARA, 2005).

As características reológicas das argamassas colantes, expressas nos perfis típicos dos ensaios de *Squeeze Flow* e *Pull Out Flow*, apresentam suas relações com o desempenho em estado endurecido, assim como as características relacionadas às condições de aplicação.

No perfil típico do ensaio de carga *vs* deslocamento de *Squeeze Flow* (Figura 6), segundo Cardoso, *et al*. (2005), uma argamassa que apresente comportamento reológico com uma parcela significativa do estágio I, possivelmente apresentara problemas de fissuração ainda no estado fresco. Já o comportamento no estágio II, expressa um comportamento apropriado para a aplicação e espalhamento de argamassas. O comportamento do estágio III representa uma condição de dificuldade para processos de aplicação das argamassas, resultado das elevadas tensões necessárias para a deformação. Sobre o comportamento da argamassa no ensaio de *Squeeze Flow*, Costa (2006), afirma que cargas de compressão altas indicam argamassas com maior viscosidade, por ser necessário uma maior carga para obter um mesmo deslocamento, enquanto cargas de compressão baixas indicam argamassas com menor viscosidade.

No perfil típico de *Pull Out Flow*, segundo Kudo (2012), o valor do pico de força relaciona-se com a força de coesão e a dissipação viscosa da argamassa. Sendo a força de coesão uma propriedade estática e a dissipação viscosa uma propriedade dinâmica.

Como os ensaios tradicionais que objetivam determinar a consistência das argamassas são insuficientes para uma completa caracterização reológica, Cardoso, *et al.* (2005) afirmam que a utilização de teores de água determinados por métodos de caracterização reológicos não adequados pode acarretar em ocorrências de problemas patológicos nos revestimentos no estado endurecido.

2.3 CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES

As propriedades reológicas das argamassas colantes em estado fresco estão extremamente relacionadas entre si. Considerando os aspectos necessários de aplicação e finalidade, o mau desempenho de uma propriedade no estado fresco pode ter como consequência o mau desempenho das demais propriedades, neste mesmo estado, ou até mesmo o mau desempenho da argamassa no estado endurecido.

O comportamento reológico das argamassas colantes no estado fresco é complexo. Dependendo da solicitação que a argamassa é submetida, a mesma pode se comportar como um sólido plástico, ou pode apresentar comportamento de fluido quando se apresenta em situação de escoamento. Considerando a complexidade do comportamento reológico em estado fresco que as argamassas colantes podem apresentar, os ensaios tradicionais não são suficientes para uma caracterização completa das argamassas no estado fresco. Embora ensaios como mesa de *flow* e *dropping ball* se apresentem como ensaios de fácil execução, são considerados ensaios monoponto, apresentando limitações conceituais.

Destarte, os ensaios de *Squeeze Flow* e *Pull Out Flow*, são considerados os mais indicados para a caracterização reológica de argamassas colantes, pois conseguem simular os esforços os quais as argamassas são submetidas nas condições de aplicação.

O comportamento reológico das argamassas, expresso pelas curvas de caracterização dos ensaios de *Squeeze Flow* e *Pull Out Flow*, apresentam relações com seu desempenho em estado fresco e em estado endurecido. Levando em consideração o método de aplicação e a finalidade da argamassa colante, cada argamassa possui seu comportamento reológico, e por consequência, suas propriedades em estado fresco e endurecido.

O comportamento reológico é um fator fundamental para o desempenho da argamassa tanto no estado fresco quanto no estado endurecido. A caracterização reológica

completa condizente com suas propriedades é de extrema importância para a determinação da dosagem das argamassas colantes, para que seu desempenho e qualidade, em processo de aplicação no estado endurecido, sejam atendidos preponderantemente.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho apresenta-se como uma *pesquisa experimental*, uma vez que possui a finalidade de investigar o comportamento reológico da argamassa, e se o mesmo é um parâmetro de dosagem para as argamassas colantes. Essa pesquisa também é classificada como *descritiva exploratória*, pois possui variáveis influentes nos resultados conhecidas. Dessa forma, o presente trabalho caracteriza-se como uma *pesquisa experimental descritiva exploratória.*

3.1 MATERIAIS

Neste item são apresentados os materiais empregados na pesquisa, assim como suas características.

3.1.1 Cimento Portland

O cimento utilizado para as argamassas colantes foi o Cimento Portland CP II – F – 32, produzido pela Itambé. A caracterização do mesmo é apresentada na Tabela 4.

Tabela 4 – Caracterização Cimento Portland CP II – F – 32

	Ensaio		Unidade	Norma	Média
Ensaios Químicos	Trióxido de Enxofre (SO)		%	NBR 14656	2,8
	Oxido de Cálcio Livre (CaOL.)		%	NBR NM 12	0,7
	Perda ao Fogo		%	NM 18	5,3
	Equivalente alcalino		%	NBR 14656	0,7
	Resíduo Insolúvel		%	NBR NM 15	1,5
Ensaios Físicos	Tempo de Pega	Início	h:min	NBR NM 65	3:56
		Fim			4:42
	Consistência Normal		%	NBR NM 43	27,2
	Expansibilidade a Quente		mm	NBR 11582	0,3
	Blaine		cm²/g	NBR NM 76	3294,0
	Resistência à compressão	1 dia	MPa	NBR 7215	14,2
		3 dias			28,0
		7 dias			34,3
		28 dias			42,8
	Finura na peneira #200		%	NBR 11579	3,7
	Finura na peneira #325		%	NBR 12826	13,8

Fonte: Adaptado Itambé (2018).

3.1.2 Agregados miúdos

O agregado miúdo utilizado nos ensaios foi areia fina, submetidas aos ensaios da NBR 7211 (ABNT, 2005), com objetivo de caracterização do material para determinação do enquadramento, ou não, do mesmo nos requisitos previstos em norma. A Tabela 5 apresenta os resultados obtidos.

Tabela 5 – Caracterização do agregado miúdo

Propriedade	Unidade	Areia Fina	Parâmetros NBR 7211	Análise
Dimensão Máxima Característica	(mm)	0,60	-	-
Massa Específica	(g/cm³)	2,64	-	-
Massa Unitária	(Kg/m³)	1460,00	-	-
Material Pulverulento	(%)	2,70	≤ 3,0	Aprovado
Impurezas Orgânicas	(ppm)	> 300	< 300	Reprovado
Teor de Argila em Torrões	(%)	0,00	≤ 3,0	-
Módulo de Finura	-	1,54	-	-

Fonte: Autor (2018).

3.1.3 Aditivo retentor de água

O aditivo retentor de água utilizado foi o Walocel™MKX 60000 PF 01, de nome químico Metil Hidroxietil Celulose (HEMC) e produzido pela Dowwolff Celulosics. Suas Propriedades são apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6 – Característica do aditivo retentor de água

Itens de Análise	Especificado
PH (solução a 2%)	Neutro
Viscosidade	7400 a 8600 mPa.s
Solubilidade	Solúvel em água
Forma	Pó
Umidade	Máx. 7%

Fonte: Dowwolff Celulosics ([2017?], p. 1).

3.1.4 Aditivo polimérico

O aditivo utilizado foi o Copolímero Acetato de Vinila Etileno, fabricado pela Cimental Fermaflex, com nome comercial Vaepol DM. Suas características são apresentadas na Tabela 7.

Tabela 7 – Características do aditivo polimérico

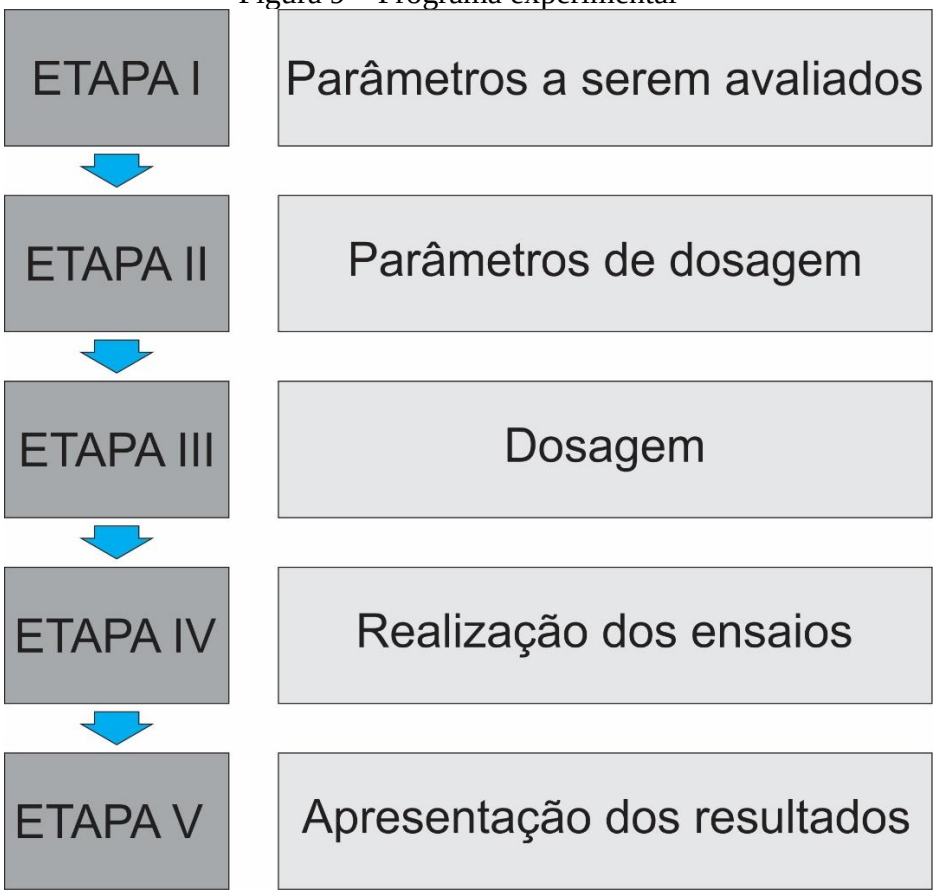
Itens de Análise	Unidade	Especificado
PH (solução a 1%)	-	7,5-8,5
Densidade	(g/L)	450-650
Aparência Visual	-	Pó branco
Teor de cinzas	(%)	9,00-16,00
Umidade	(%)	Máx. 5%

Fonte: Cimental Fermaflex ([2017?], p. 1).

3.2 PROGRAMA EXPERIMENTAL

Tendo em vista os objetivos estabelecidos, elaborou-se um programa experimental para a determinação das etapas a serem desenvolvidas. Estas etapas consideram a fixação de parâmetros a serem analisados quanto a dosagem das argamassas, sua caracterização reológica (por métodos tradicionais e pelos ensaios de *Squeeze Flow e Pull Out Flow*), ensaios em estado endurecido, assim como a calibração do método para que sejam atendidas as exigências da NBR 14081-1 (ABNT, 2012). O programa experimental pode ser observado na Figura 9.

Figura 9 – Programa experimental



Fonte: Autor (2018).

3.2.1 Etapa I – Parâmetros a serem avaliados

Com o objetivo da caracterização reológica das argamassas colantes, foram adotados como parâmetros de avaliação do estado fresco da argamassa o ensaio de deslizamento através da NBR 14081-5, determinação da retenção de água (NBR 13277), determinação do índice de consistência (NBR 13276), determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado (NBR 13278) e adesão inicial (sem normatização).Ainda no estado fresco, as argamassas colantes foram submetidas ao ensaio de *Squee-flow e Pull out flow*, seguindo recomendações da NBR 15839, porém, esta norma não trata de argamassas colantes.

No estado endurecido, foi realiza o ensaio de determinação de resistência de aderência à tração, regido pela NBR 14081-4.

3.2.2 Etapa II – Parâmetros de dosagem

O método de dosagem dos diferentes traços de argamassas colantes foi o mesmo utilizado por Pereira (2017), que utiliza os recursos do programa *Minitab18*®. O modelo matemático empregado é baseado no método de Taguchi, que é o mais adequado para relacionar as diferentes variáveis adotadas. Dessa forma, foram adotadas três variáveis para a dosagem, o fator a/c (determinado através de um estudo piloto), o aditivo polimérico (EVA) e o aditivo retentor de água (HEMEC).

Para a dosagem de diferentes traços de argamassa colante, foram estabelecidas variáveis para a dosagem. Uma das variáveis trata-se do teor de areia (parâmetro I), presentes em teores de 5,3; 3 e 2.

O éter de celulose (parâmetro II) foi utilizado em proporções de 0,13% (nível 1), 0,15% (nível 2) e 0,26% (nível 3). O aditivo polimérico (parâmetro III) foi utilizado em proporções de 0% (nível 1), 1,5% (nível 2) e 2% (nível 3). Ambos os aditivos dosados em relação ao peso de materiais secos.

Para a dosagem das argamassas, o fator água/materiais secos (H), permaneceu constante, sendo 0,2. O fator a/c apresentou-se em três níveis, 0,6, 0,8 e 1,2.

3.2.3 Etapa III – Traços ensaiados

Resultante do processo de dosagem, foram obtidos 9 diferentes traços, apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 – Dosagem dos traços ensaiados

Traço	I	II	III	TEOR DE AREIA	% HEMC	% EVA	a/c
1	1	1	1	5,3	0,13	0,0	1,3
2	1	2	2	5,3	0,15	1,5	1,3
3	1	3	3	5,3	0,26	2,0	1,3
4	2	1	2	3,0	0,13	1,5	0,8
5	2	2	3	3,0	0,15	2,0	0,8
6	2	3	1	3,0	0,26	0,0	0,8
7	3	1	3	2,0	0,13	2,0	0,6
8	3	2	1	2,0	0,15	0,0	0,6
9	3	3	2	2,0	0,26	1,5	0,6

Fonte: Autor (2018).

Os traços apresentados na Tabela 4 foram submetidos aos ensaios mencionados no item 3.2.1.

3.2.4 Etapa IV – Realização dos ensaios

Este item apresenta os métodos dos ensaios realizados para a avaliação dos parâmetros apresentados no item 3.2.1. Foram realizados ensaios específicos para a argamassa colante, assim como ensaios considerados essenciais para a avaliação dessas argamassas tendo em vistas os parâmetros a serem avaliados.

3.2.4.1 Execução do substrato padrão

O substrato padrão utilizado para a aplicação das argamassas colantes, teve como procedimentos de execução aqueles estabelecidos na NBR 14081-2. Para a caracterização dos substratos, foram realizados ensaios de determinação da absorção e determinação de aderência à tração superficial.

3.2.4.2 Execução e aplicação da argamassa colante

A execução e aplicação das argamassas colantes seguiu as etapas e parâmetros solicitados na NBR 14081-2 (ABNT, 2015). Sendo respeitadas as condições do ambiente do laboratório, os materiais utilizados, assim como as condições de aplicação da argamassa colante no substrato padrão:

• Os materiais e equipamentos permaneceram, antes do início dos ensaios, no mínimo 24 horas no laboratório de ensaios, que possui temperatura de 23±2 °C, umidade relativa de 60±2%;

• A argamassa colante, antes do ensaio, deve ter seu conteúdo transferido para um saco maior, limpo e seco. Deve-se agitar a argamassa energicamente por aproximadamente 3 minutos, iniciar os ensaios após 2 minutos de descanso;

• Pesar 2,5 Kg de argamassa colante e a massa de água conforme indicações do fabricante, neste caso, a estabelecido no cálculo de dosagem;

• Verter a água no recipiente de mistura, e em seguida, sobre o líquido, colocar o material seco de modo contínuo dentro de um período de 30 segundos;

• Misturar por 30 segundos na velocidade lenta;

• Em um período de 60 segundos, raspar a superfície interna do recipiente e da pá de mistura;

• Misturar por 60 segundos em velocidade lenta;

• Deixar o material em maturação coberto com um pano úmido. Caso seja especificado pelo fabricante, adotar o tempo da especificação, caso contrário, adotar 15 minutos. O tempo adotado para o preparo das argamassas colantes deste trabalho foi de 15 minutos;

• Após o período de maturação, misturar com velocidade lenta por 15 segundos.

A aplicação das argamassas colantes no substrato seguiu as seguintes etapas normatizadas pela NBR 14081-2 (ABNT, 2015):

• Terminada a mistura, o intervalo máximo para a aplicação da argamassa é de 15 minutos. Nesse período, o recipiente deve permanecer coberto com pano úmido;

• O substrato deve permanecer com a superfície de ensaio exposta no mínimo 48 horas nas condições do laboratório. Necessitando estar limpo, sem contaminações que possibilitem prejudicar a aderência;

• Com o lado liso da desempenadeira, estender as porções de argamassa sobre a face desempenada do substrato, adotando o movimento vaivém;

• Colocar novas porções sobre o substrato imprimado, estende-las com o lado liso da desempenadeira, formado uma camada uniforme suficiente para a formação dos cordões.

• Com o lado dentado da desempenadeira, em movimento único, formar cordões com altura de 5±0,5 mm. Para o ensaio de aderência, formar os cordões no sentido longitudinal do substrato, para o ensaio de deslizamento, no sentido transversal.

• No centro da placa, em três pontos aleatórios, verificar a altura dos cordões. A partir dessa etapa, procede-se conforme as especificações de cada ensaio.

3.2.4.3 Determinação da resistência de aderência à tração com cura normal

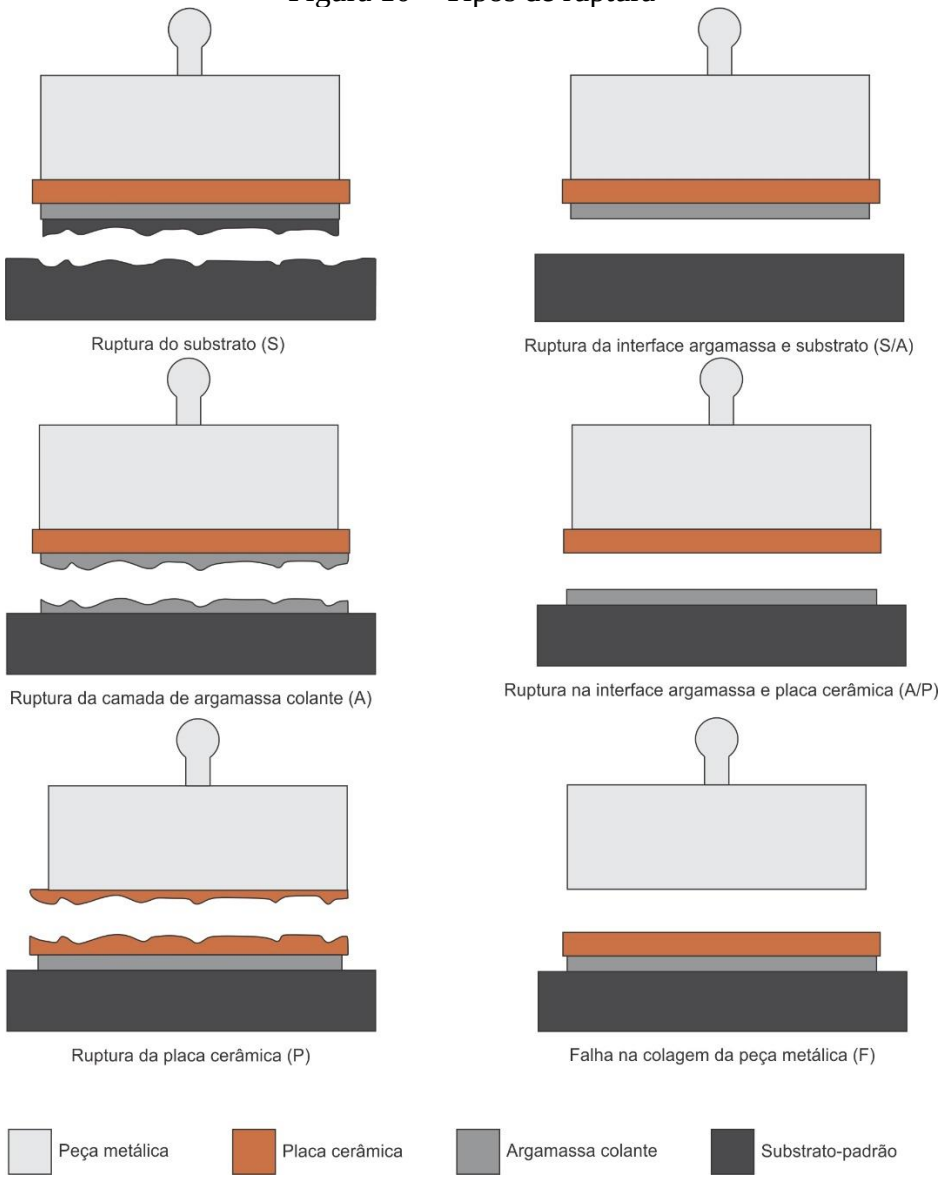
A realização do ensaio seguiu as etapas e exigências da NBR 14081-4.

Após 5 minutos da formação dos cordões, são posicionadas 10 placas cerâmicas sobre 4 cordões de argamassa colante.

Aplica-se sobre cada placa cerâmica o peso padrão de 2 Kg durante 30 segundos. A ordem de colocação e retirada do peso padrão deve ser a mesma da colocação das placas sobre os cordões. Após o término de aplicação do peso sobre as placas cerâmicas, deixar aproximadamente 1 cm de cordão ao redor da placa, retirando os cordões excedentes, realizando essa etapa em no máximo 10 minutos após o fim de aplicação dos pesos padrão.

No processo de cura normal, o conjunto (substrato padrão, argamassa colante e placas cerâmicas), deve ser submetido às condições de laboratório apresentadas no item 3.2.4.2 durante 28 dias. As pastilhas metálicas para arrancamento, devem ser coladas, com argamassa epóxi, 72 horas antes da data de arrancamento. O ensaio de aderência à tração da argamassa colante é realizado no 28° dia de cura, dessa forma, aplica-se carga a uma velocidade constante de 250±50 N/s até a ruptura. As rupturas podem ocorrer em 6 tipos: ruptura do substrato (S), ruptura na interface argamassa e substrato (S/A), ruptura da camada de argamassa colante (A), ruptura na interface argamassa e placa cerâmica (A/P), ruptura da placa cerâmica (P) e falha na colagem da peça metálica (F), conforme apresentado na Figura 10.

Figura 10 – Tipos de ruptura



Fonte: Adaptado da NBR 14081-3 (ABNT, 2012, p. 4).

Para cada placa cerâmica, deve ser calculada a tensão de ruptura (ft), através da Equação 1.

$$ft = \frac{T}{A} \quad (1)$$

Onde,

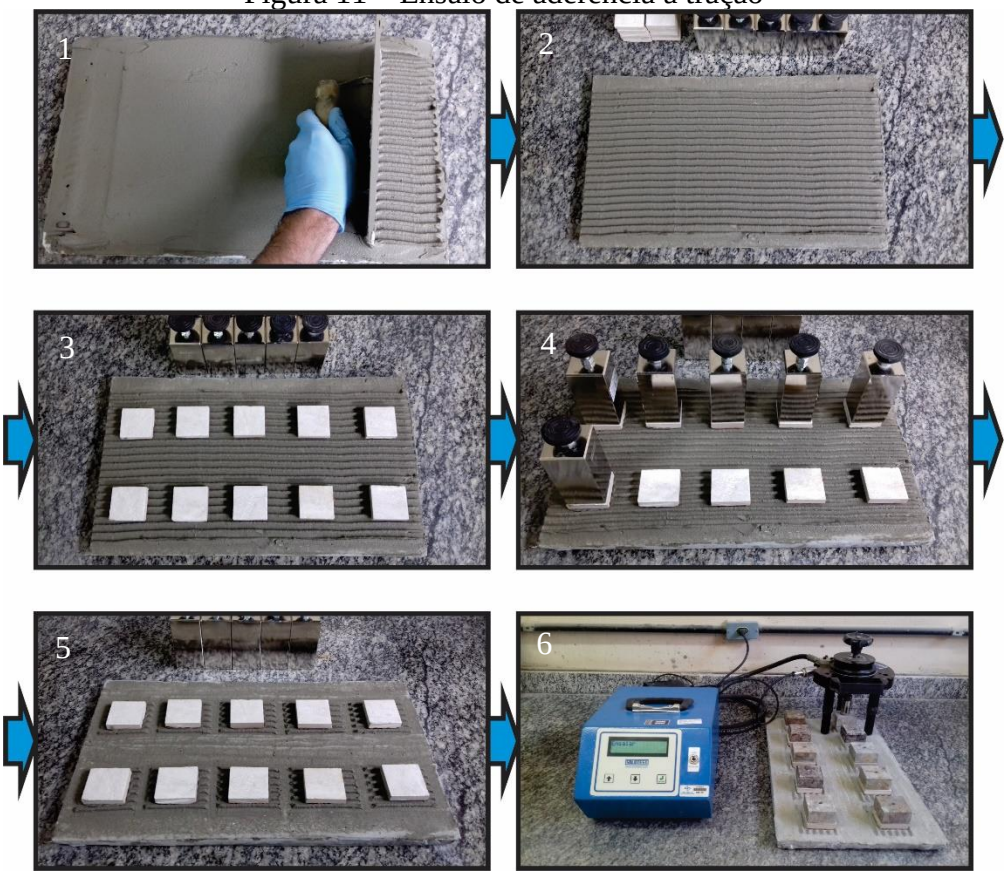
$f_{t,}$ é a tensão de ruptura expressa em Mpa, arredondada à segunda casa decimal;

T é a carga de ruptura em newtons (N);

A é a área da placa cerâmica, considerada 2500 mm².

A Figura 11 ilustra as etapas do ensaio.

Figura 11 – Ensaio de aderência à tração



Fonte: Autor (2018).

Considerando apenas os resultados de rupturas do tipo S, P e F, calcula-se a tensão média de ruptura por tração. Ao obter-se média superior ou igual à 0,3 MPa, descartam-se os resultados que se distanciarem mais de 20 % da média. Médias inferiores à 0,3 MPa, descartam-se os resultados que se distanciarem mais que 0,06 MPa da média. Com isso, é calculada uma nova média, obtendo ao mínimo cinco resultados individuais, sendo essa média final a tensão de ruptura da argamassa colante. No caso de restarem menos que cinco resultados individuais, deve-se repetir o ensaio.

3.2.4.4 Determinação do deslizamento

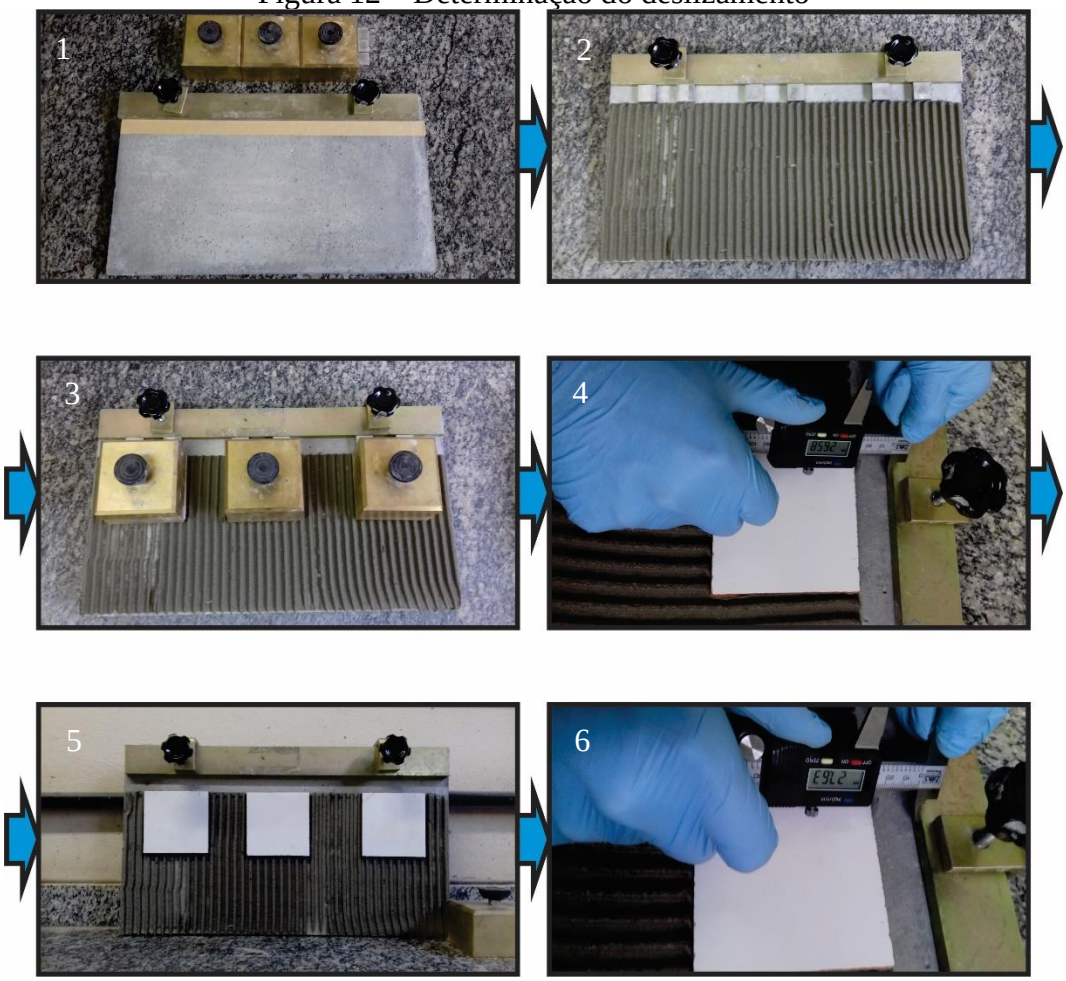
O ensaio de determinação do deslizamento normatizado pela NBR 14081-5, tem como etapa inicial a fixação de uma régua metálica rígida na borda longitudinal do substrato. Coloca-se uma fita adesiva sobre o substrato, de modo que sua aresta fique rente à régua metálica fixada. A próxima etapa consiste na aplicação da argamassa colante sobre o substrato, em seguida formar os cordões no sentido transversal, de modo que a argamassa sobreponha ligeiramente a fita, com objetivo de que os cordões fiquem perpendiculares à régua.

Em seguida, retira-se a fita, e imediatamente, são posicionados dois espaçadores, de seção quadrada de 25 mm de lado e espessura de 10 mm, para cada placa cerâmica, posicionados de modo que fiquem encostados contra a régua metálica. Após 2 minutos da aplicação da argamassa, posicionar 3 placas cerâmicas centralizadas sobre os cordões de argamassa e com uma das arestas fique encostada contra os espaçadores. As placas devem apresentar formato quadrado com 100 mm de lado, pertencendo ao grupo B Ia, com absorção de água menor ou igual à 0,5 % e pesar entre 190 e 200 gramas. Ao término do posicionamento, aplicar sobre cada placa cerâmica, durante 30 segundos, o peso padrão de 5 Kg, a ordem de colocação dos pesos padrão deve ser a mesma do posicionamento das placas cerâmicas sobre à argamassa.

Após a aplicação dos pesos padrão, são retirados os espaçadores e são feitas duas leituras iniciais para cada placa, nos pontos previamente marcados, da distância entre a placa cerâmica e a régua metálica. Em seguida, coloca-se o substrato na posição vertical durante 20 minutos. Decorrido o tempo, o substrato é posicionado na posição horizontal novamente, e são feitas as leituras nos mesmos pontos iniciais.

As etapas do ensaio são apresentadas na Figura 12.

Figura 12 – Determinação do deslizamento



Fonte: Autor (2018).

O resultado do deslizamento é calculado através da Equação 2:

$$L = \frac{\sum(Lf - Li)}{6} \quad (2)$$

Onde,

Lf, é a leitura final de cada ponto de leitura em cada placa, expresso em mm;

Li, é a leitura inicial de cada ponto de leitura em cada placa, expresso em mm;

Caso a diferença entre valores individuais seja superior à 2 mm, repetir o ensaio uma vez, sendo o resultado final o valor encontrado na repetição.

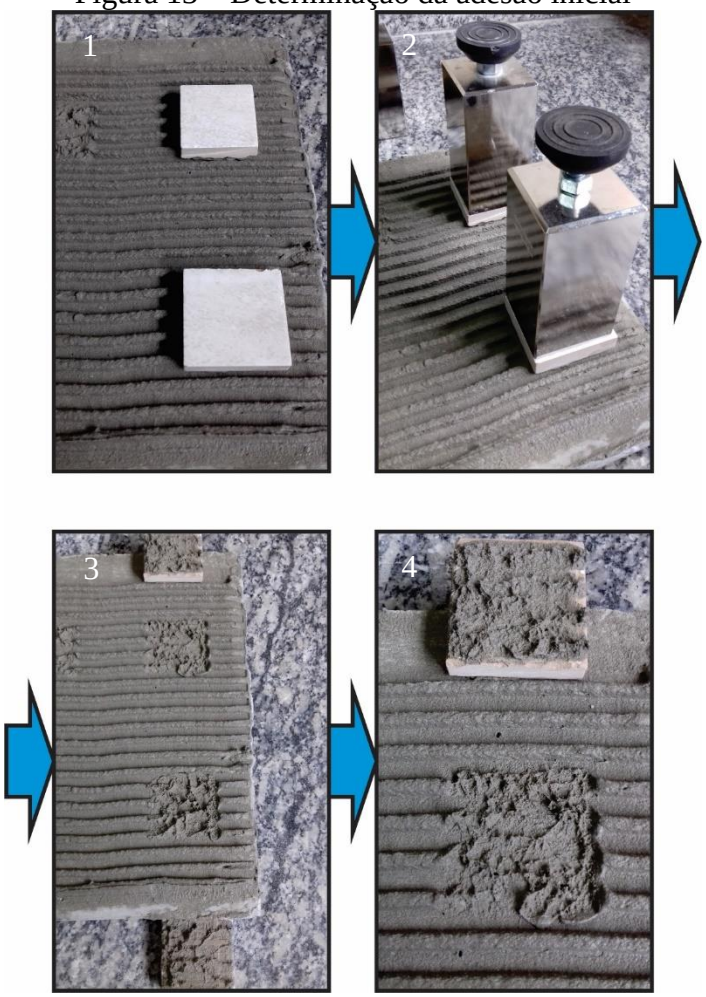
3.2.4.5 Determinação da adesão inicial

O ensaio de adesão inicial não possui normatização, dessa forma a realização de desse ensaio foi realizada conforme a metodologia exporta por Souza et al. (2013), tendo em vista a análise da área da placa cerâmica impregnada com argamassa.

Após a aplicação da argamassa e a formação dos cordões no sentido longitudinal, conforme apresentado no item 3.2.4.2, são posicionadas duas placas cerâmicas a cada cinco minutos, totalizando 10 placas e um tempo final de 25 minutos. As placas cerâmicas utilizadas neste ensaio apresentam as mesmas características das placas do ensaio de resistência de aderência à tração. Aplica-se sobre cada placa cerâmica, um peso padrão de 2 Kg durante 30 segundos. Após a aplicação do peso padrão, a placa cerâmica é arrancada de modo manual.

As etapas do ensaio são apresentadas na Figura 13.

Figura 13 – Determinação da adesão inicial



Fonte: Autor (2018).

O resultado do ensaio foi expresso pela porcentagem de área de cada placa cerâmica impregnada pela argamassa colante.

3.2.4.6 Determinação da retenção de água

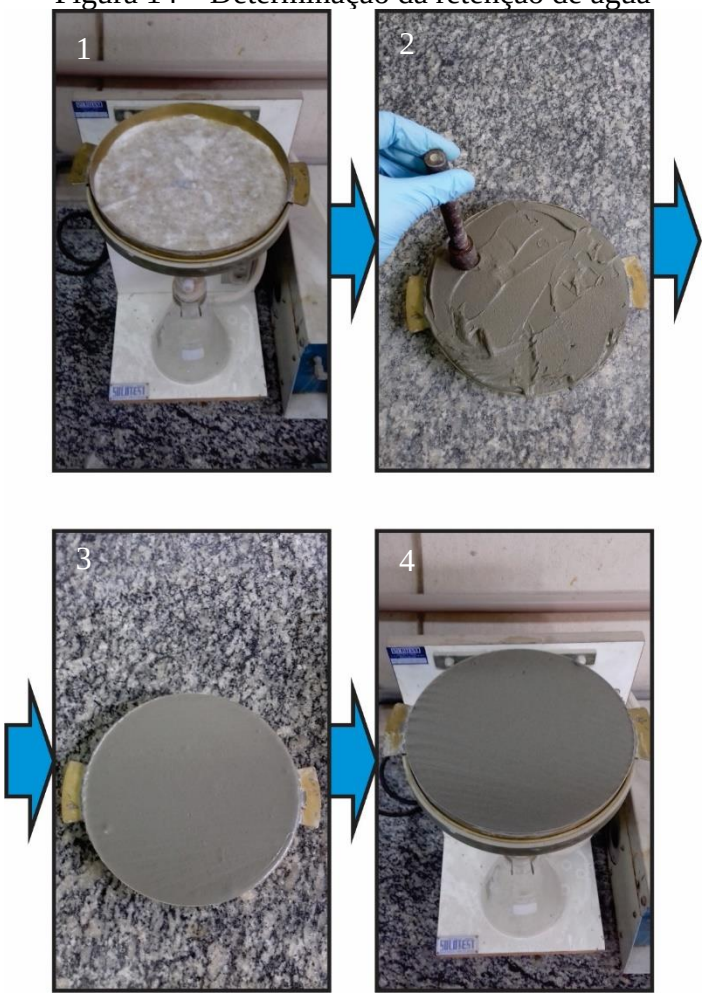
Para a realização deste ensaio, a argamassa colante foi preparada conforme o item 3.2.4.2, e não de acordo com a NBR 13277.

Desse modo, é colocado sobre o Funil de *Buchner* o prato de ensaio contendo ao fundo o filtro umedecido. Liga-se a bomba de vácuo, com a torneira ainda aberta, com a aplicação de sucção de 51 mm de mercúrio. Em seguida é aberta a torneira pelo tempo de 90 segundos após a retirada do excesso de água do filtro. O conjunto formado pelo funil e o filtro é pesado.

A argamassa é colocada no prato e adensada com soquete, sendo distribuídos 16 golpes junto à borda e 21 golpes na região central. Rasar a superfície retirando o excesso de argamassa e pesar o novo conjunto. Com a torneira aberta, durante um intervalo de 15 minutos, aplica-se uma sucção de 51 mm de mercúrio, e em seguida o conjunto é pesado novamente.

As etapas do ensaio são ilustradas na Figura 14.

Figura 14 – Determinação da retenção de água



Fonte: Autor (2018).

A retenção de água, expressa em porcentagem, é determinada através da Equação 3.

$$Ra = \left[1 - \frac{(ma - ms)}{\left(\frac{mw}{m + mw}\right) \cdot (ma - mv)}\right] . 100 \quad (3)$$

Onde,

m_a, é a massa em gramas do conjunto com argamassa;
m_s, é a massa em gramas do conjunto após sucção;
m_v, é a massa em gramas do conjunto vazio;
m_w, é a massa em gramas de água utilizada na execução da argamassa;
m, é a massa em gramas da argamassa anidra.

3.2.4.7 Determinação do teor de ar incorporado

As etapas do ensaio seguiram o previsto na NBR 13278. A preparação da argamassa colante seguiu o mencionado no item 3.2.4.2.

Primeiramente é pesado o recipiente cilíndrico vazio. Em seguida o recipiente é cheio com água destilada e registra-se seu volume. A argamassa é colocada no recipiente cilíndrico, em 3 camadas. Em cada camada, são aplicados 20 golpes com espátula, ao fim desse processo, aplica-se quedas no recipiente. A superfície é rasada, de modo que não permaneçam não vazios entre a parede do recipiente e a argamassa. Pesa-se o recipiente com argamassa.

As etapas do ensaio são apresentadas na Figura 15.

Figura 15 – Determinação do teor de ar

Fonte: Autor (2018).

A densidade de massa da argamassa (*A*), expressa em g/cm³, é obtida através da Equação 4.

$$A = \frac{Mc\ -\ Mv}{Vr} \qquad (4)$$

Onde,

Mc, é a massa em gramas do recipiente cilíndrico contendo a argamassa;

Mv, massa de recipiente vazio;

Vr, é o volume do recipiente cilíndrico.

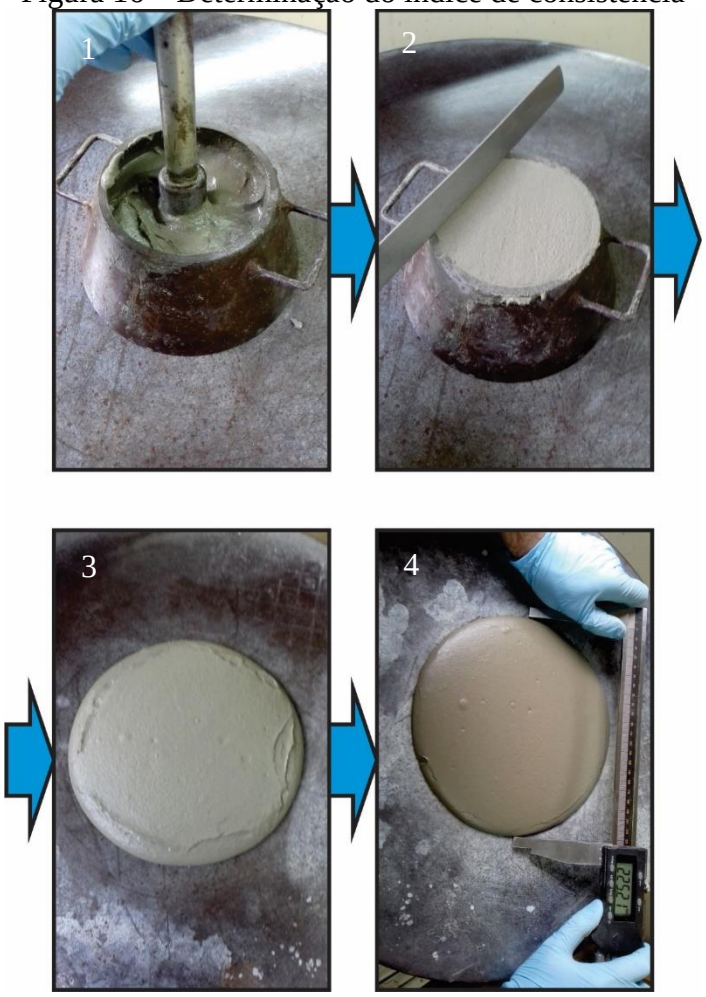
3.2.4.8 Determinação do índice de consistência

O ensaio foi realizado conforme a NBR 13276, a preparação da argamassa colante seguiu o mencionado no item 3.2.4.2.

Após o preparo, coloca-se a argamassa no molde tronco-cônico, já centralizado na mesa de consistência, em três camadas, adensadas com respectivamente 15, 10 e 5 golpes como soquete. Em seguida, após rasar a argamassa, retira-se o molde, e são aplicadas 30 quedas na mesa. O resultado do índice de consistência é a média de três medidas do diâmetro de espalhamento da argamassa em milímetros.

As etapas do ensaio podem ser observadas na Figura 16.

Figura 16 – Determinação do índice de consistência



Fonte: Autor (2018).

3.2.4.9 *Squeeze Flow* e *Pull Out Flow*

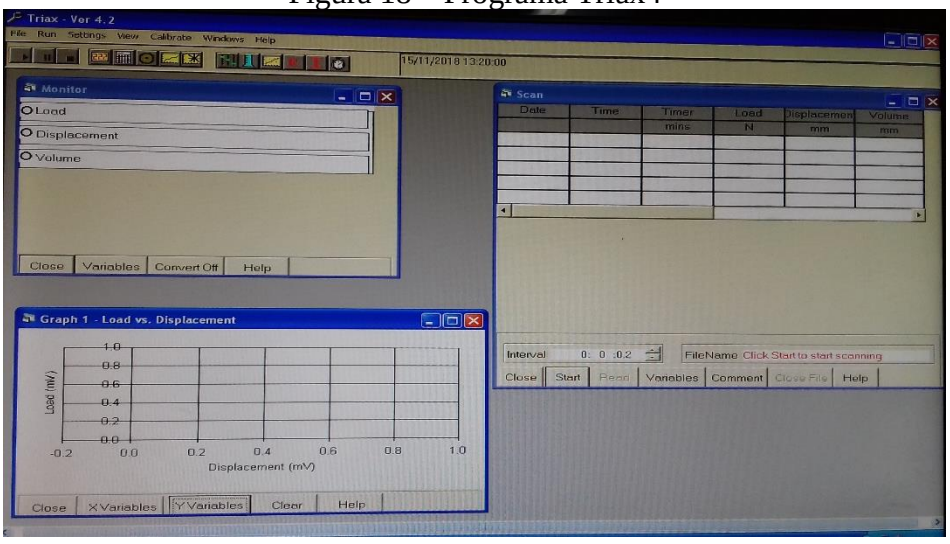
O ensaio deve como base o estabelecido pela NBR 15839, sendo necessária a realização de ajustes para a realização dos ensaios pelo fato de serem ensaiadas argamassas colantes, e esta norma estabelecer procedimentos para argamassa de reboco. A configuração do ensaio de *Squeeze Flow* e *Pull Out Flow*, seguiu recomendações baseadas em diferentes autores mencionados no capítulo 2 de forma a obter uma melhor análise dos resultados do ensaio. Para a realização do ensaio foi utilizada a prensa *Wykeham Farrance* (Figura 17). A capitação dos

dados foi feita pelo programa Triax4 (Figura 18) junto com um módulo datascan Msl (Figura 19).

Figura 17 – Prensa *Wykeham Farrance*

Fonte: Autor (2018).

Figura 18 – Programa Triax4



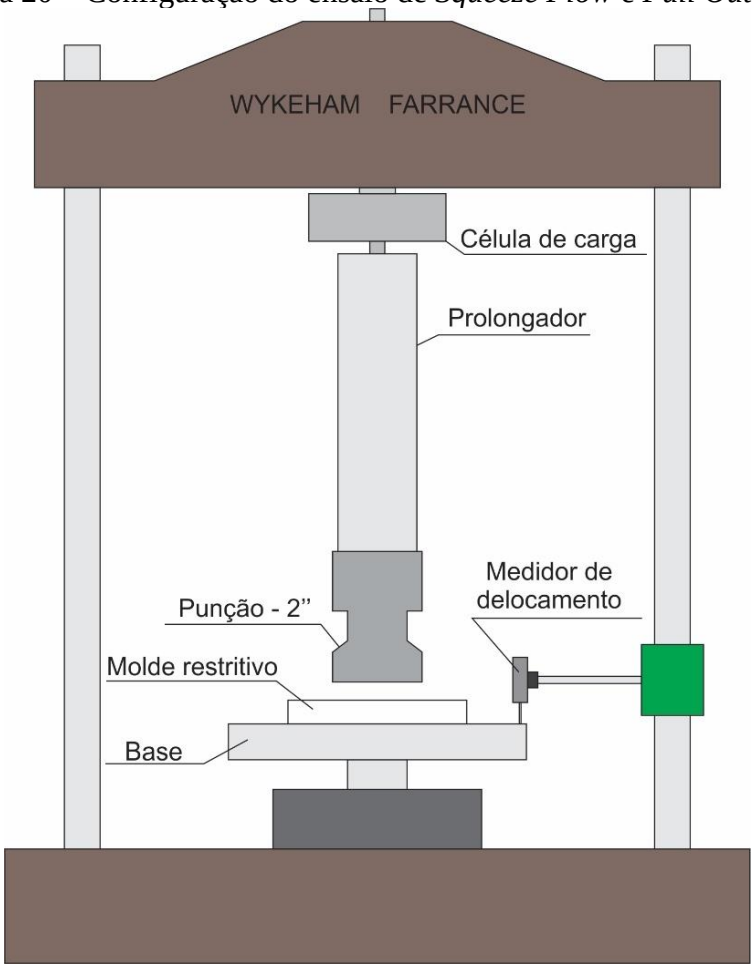
Fonte: Autor (2018).

Figura 19 – Módulo datascan Msl

Fonte: Autor (2018).

O ensaio foi realizado utilizando punção de 50,8 mm e molde restritivo de 101 mm de diâmetro e altura de 10 mm. Segundo Kudo (2012), essas configurações são mais adequadas para a melhor análise dos ensaios de *Squeeze Flow* e *Pull Out Flow* em argamassa colante, pois apresentam mais sensibilidade para detectar seu comportamento. As configurações de ensaio são apresentadas na Figura 20.

Figura 20 – Configuração do ensaio de *Squeeze Flow* e *Pull Out Flow*



Fonte: Autor (2018).

A taxa de aquisição de dados foi de 10 dados por segundo. A velocidade de deslocamento foi de 0,1 mm/s, esse deslocamento foi o recomendado (0,1 mm/s).

Os ensaios de *Squeeze flow* e *Pull Out Fl*ow são realizados na mesma amostra, sendo que o ensaio de *Squeeze Flow* ocorre durante a compressão da amostra (até o deslocamento de 9 mm), e o ensaio de *Pull Out Flow* ocorre durante o processo de tração da amostra. O ensaio foi realizado colocando-se, primeiramente a argamassa no molde restritivo, centralizando-o com o auxílio do gabarito, em seguida a argamassa é adensada no molde. O pistão é posicionado até que encoste contra a argamassa, mas de maneira que não lhe aplique carga. A prensa é ligada e enquanto é feita a aquisição dos dados, o deslocamento é controlado até que atinja 9 mm. O deslocamento então é interrompido, espera-se 3 minutos para a consolidação da argamassa nas novas condições. Passado esse período, a amostra é submetida à tração, processo que ocorre até o momento da ruptura do cordão formado pela argamassa colante.

As etapas dos ensaios são apresentadas na Figura 21.

Figura 21 – Etapas dos ensaios de *Squeeze Flow* e Pull Out *Flow*

Fonte: Autor (2018).

Os resultados dos ensaios são apresentados na curva de tensão *vs*. deslocamento.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O presente capítulo apresenta os resultados obtidos nos ensaios realizados, as análises das variações reológicas das diferentes argamassas, além de considerações e discussões sobre estes resultados.

4.1 PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS COLANTES

Os resultados obtidos para cada traço decorrente dos ensaios realizados são apresentados na Tabela 9, com exceção dos ensaios de *Squeeze Flow* e *Pull Out Flow*, que são apresentados através das curvas de Carga *vs.* Deslocamento.

Tabela 9 – Resumo dos resultados

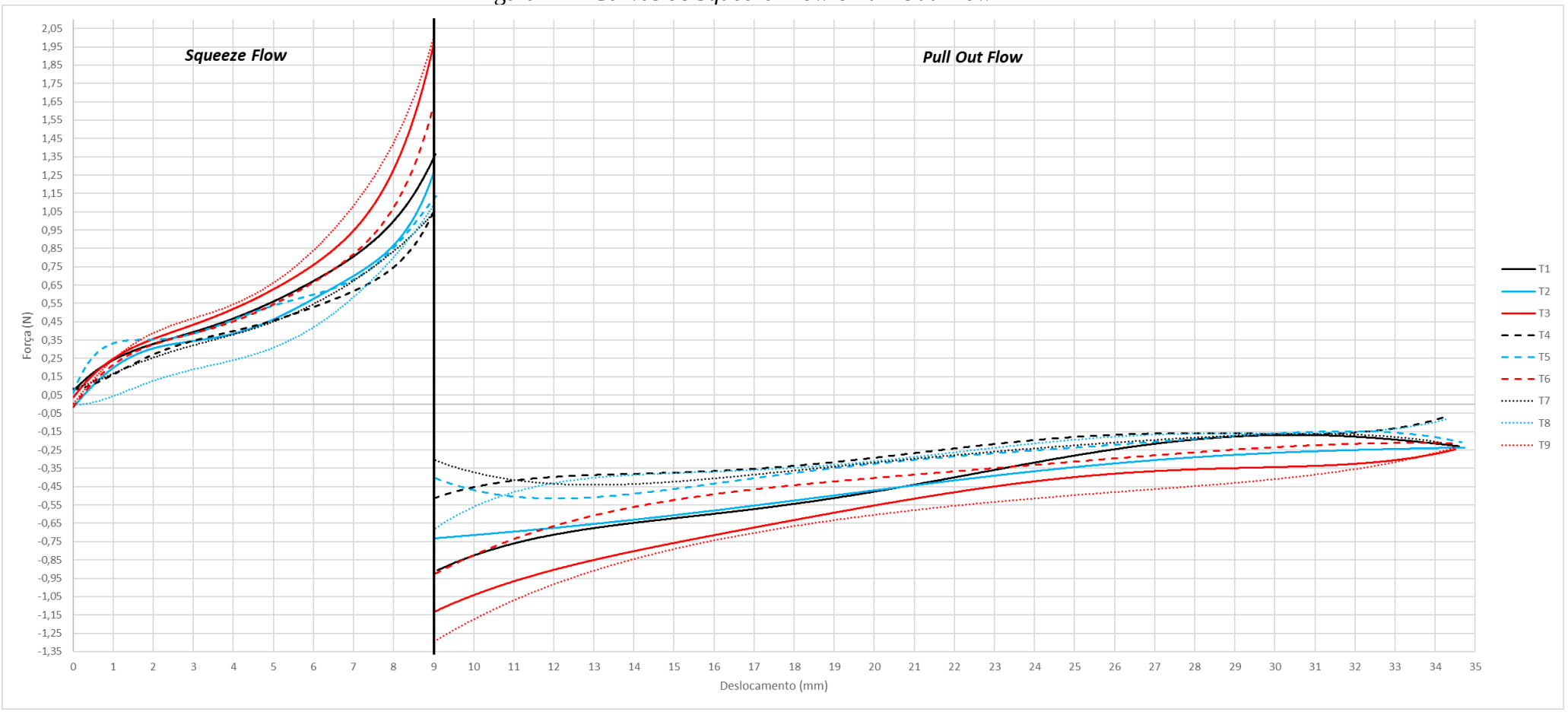
Traço	Aderência Cura Normal	Deslizamento	Retenção de Água	Teor de Ar	Consistência
	(MPa)	(mm)	(%)	(%)	(mm)
1	0,01	0,07	99,33	8,1	232,95
2	0,72	0,10	99,41	7,9	212,86
3	0,68	0,25	99,38	7,5	176,03
4	1,27	0,06	99,57	8,4	226,81
5	1,41	0,13	99,43	8,3	226,43
6	1,27	0,22	99,50	7,8	184,47
7	1,18	0,21	99,37	8,4	224,20
8	0,93	0,09	99,17	8,5	229,44
9	1,18	0,35	99,42	7,9	183,26
Traço	Adesão Inicial (5 mim)	Adesão Inicial (10 mim)	Adesão Inicial (15 mim)	Adesão Inicial (20 mim)	Adesão Inicial (25 mim)
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
1	100,0	95,0	85,0	80,0	80,0
2	100,0	82,5	80,0	80,0	80,0
3	100,0	97,0	95,0	87,5	85,0
4	98,0	77,5	27,5	7,0	6,0
5	97,5	87,5	62,5	20,0	10,0
6	100,0	80,0	57,5	42,5	32,5
7	97,0	87,5	57,5	32,5	7,5
8	95,0	87,5	50,0	32,5	10,0
9	92,5	37,5	17,5	10,0	10,0

Fonte: Autor (2018).

4.1.1 Caracterização reológica

Com o objetivo de caracterizar reologicamente as argamassas colantes, foram realizados os ensaios de *Squeeze Flow* e *Pull Out Flow*. A caracterização é apresentada através das curvas de Carga *vs.* Deslocamento expostas na Figura 22.

Figura 22 – Curvas de *Squeeze Flow* e *Pull Out Flow*



Fonte: Autor (2018).

As curvas de Força vs. Deslocamento são apresentadas em dois estágios. O primeiro ensaio ilustra o ensaio de *Squeeze Flow*, onde a argamassa é comprimida. O segundo estágio, que ocorre logo após o tempo de consolidação da argamassa colante após o término da compressão, representa o ensaio *de Pull Out Flow*, fase em que a argamassa é tracionada.

Através das curvas apresentadas na Figura 19, foram obtidos os valores da tensão de escoamento, viscosidade e a força máxima de resistência à tração no ensaio de *Pull Out Flow*. Esses valores são expostos na Tabela 10.

Tabela 10 – Parâmetros de caracterização reológica

Traço	Tensão de Escoamento (KPa)	Viscosidade (Pa.s)	Força Máx. *Pull Out Flow* (N)
1	0,138	0,135	0,880
2	0,168	0,128	0,730
3	0,158	0,190	1,100
4	0,143	0,106	0,510
5	0,168	0,112	0,600
6	0,192	0,161	0,920
7	0,124	0,105	0,430
8	0,117	0,110	0,660
9	0,266	0,200	1,300

Fonte: Autor (2018).

Através das curvas de Força *vs.* Deslocamento pode-se perceber os diferentes comportamentos reológicos dos 9 traços de argamassa colante. Dentre os traços ensaiados, os traços 3 e 9 foram os que apresentaram maior força de compressão, da mesma forma que se mostraram os traços que apresentaram maior força tração. Esse fator está diretamente relacionado com a viscosidade.

Segundo Cardoso, *et al.* (2005), o estágio II do ensaio de *Squeeze Flow* expressa o comportamento apropriado para a aplicação da argamassa colante. Pode-se identificar através das curvas, as argamassas que demanda menor força para chegarem nesse estágio, sendo estas as argamassas menos viscosas. Esse comportamento pode ser percebido também no estágio III do ensaio, onde as argamassas menos viscosas no estágio II apresentaram menor força máxima de compressão, confirmando seu aspecto menos viscoso quando comparadas às demais. Esse comportamento também é apresentado na Tabela 10.

No estágio III das curvas *Squeeze Flow*, apresentam-se as cargas máximas para a deformação da amostra. Segundo Cardoso (2009), nesse estágio a argamassa apresenta-se em grandes deformações, gerando forças restritivas ao fluxo devido à aproximação das partículas. Sendo as argamassas ensaiadas constituídas de materiais iguais, as diferenças de

comportamento reológico nesse estágio representam a influência das diferentes dosagens no comportamento reológico das argamassas colantes.

O estágio III do ensaio de *Squeeze Flow* também representa, segundo Cardoso, *et al.* (2005), uma condição de dificuldade para a aplicação da argamassa resultando em maiores tensões necessárias para a deformação. O ensaio pode caracterizar esse comportamento através das curvas, sendo essas argamassas mais viscosas, como também pode ser observado na Tabela 10, assim como foram as argamassas que apresentaram maior dificuldade de espalhamento na execução dos ensaios devido sua viscosidade.

As argamassas que se apresentaram mais viscosas no ensaio de *Squeeze Flow*, também apresentaram as maiores forças de adesão no ensaio de *Pull Out Flow*, essas forças máximas do ensaio de *Pull Out Flow* confirmam a maior coesão e viscosidade das argamassas.

Apesar dessas relações dos comportamentos dos ensaios de *Squeeze Flow* e *Pull Out Flow*, não foi possível relacionar a força máxima de adesão do ensaio de *Pull Out flow*, com os desempenhos apresentados no ensaio de adesão inicial.

Os comportamentos das curvas de Força *vs*. Deslocamento também podem ser relacionadas com o desempenho final das argamassas. O traço de melhor desempenho do ensaio de aderência à tração por cura normal (traço 5), apresentou viscosidade não muito elevada. Confirmando esse comportamento no estágio 2 do ensaio de *Squeeze Flow*, assim como não apresentou grande resistência à deformação (estágio 3 do mesmo ensaio). Esse comportamento reflete uma maior facilidade para o espalhamento da argamassa e conformação nos poros do substrato.

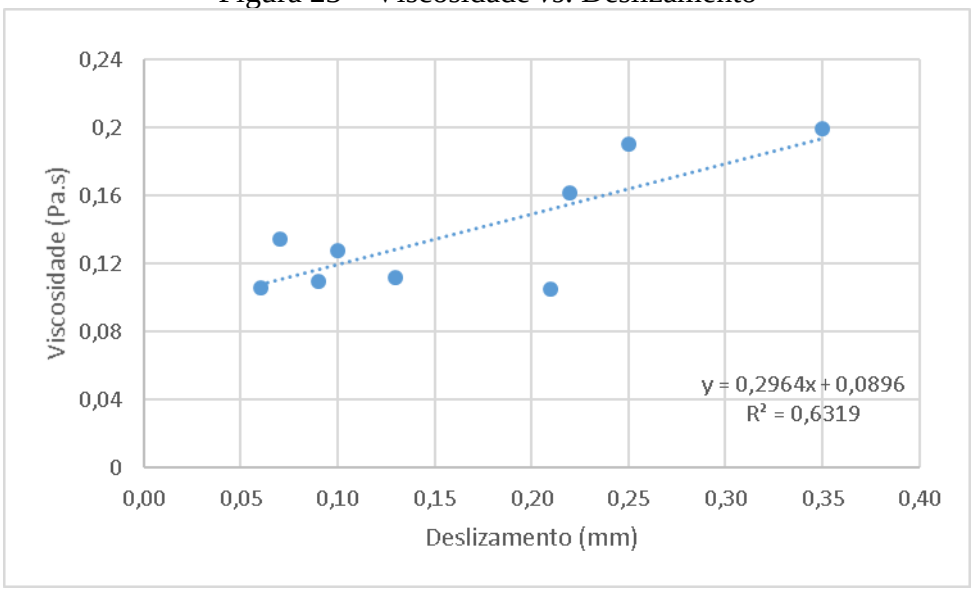
No entanto, a viscosidade não pode ser tratada como um fator decisivo para o desempenho final da argamassa. Isso pode ser observado nos traços 4 e 6, que se apresentam como os traços de segunda maior resistência de aderência à tração em cura normal. Apesar de obter o mesmo desempenho nessa propriedade, os traços 4 e 6 apresentaram comportamentos distintos nas curvas de Força *vs.* Deslocamento. Essa análise mostra mais uma vez os diversos fatores que influenciam o desempenho final da argamassa, configurando seu complexo comportamento.

4.1.2 Propriedades tecnológicas *vs.* comportamento reológico

Por meio das curvas de Força *vs.* Deslocamento, foram obtidos os valores de tensão de escoamento, viscosidade e a força máxima de adesão do ensaio de *Pull Out Flow*. Essas propriedades foram relacionadas com os resultados dos ensaios tradicionais de caracterização.

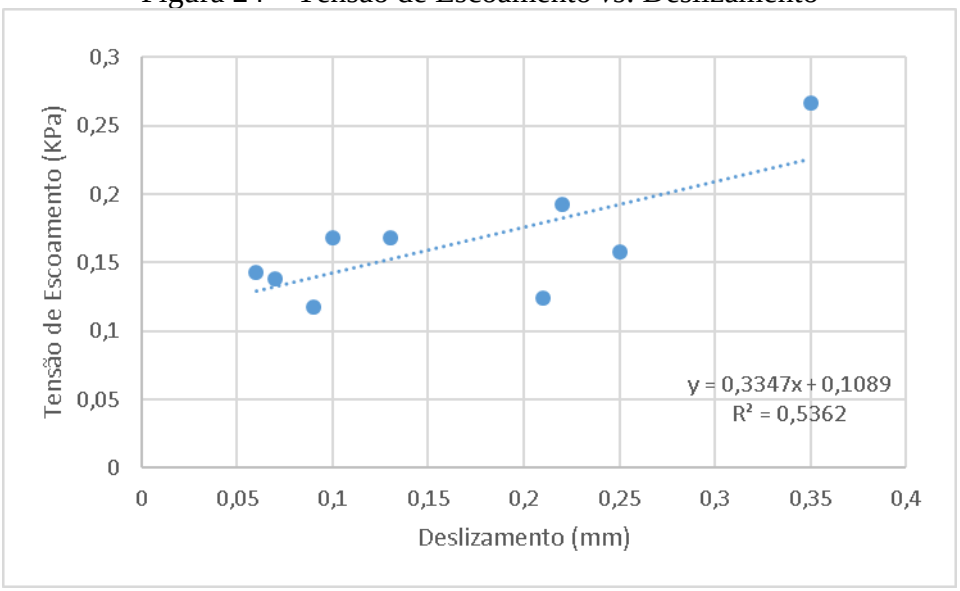
O comportamento do deslizamento é relacionado com a viscosidade (Figura 23), e com a tensão de escoamento (Figura 24).

Figura 23 – Viscosidade *vs*. Deslizamento



Fonte: Autor (2018).

Figura 24 – Tensão de Escoamento *vs*. Deslizamento

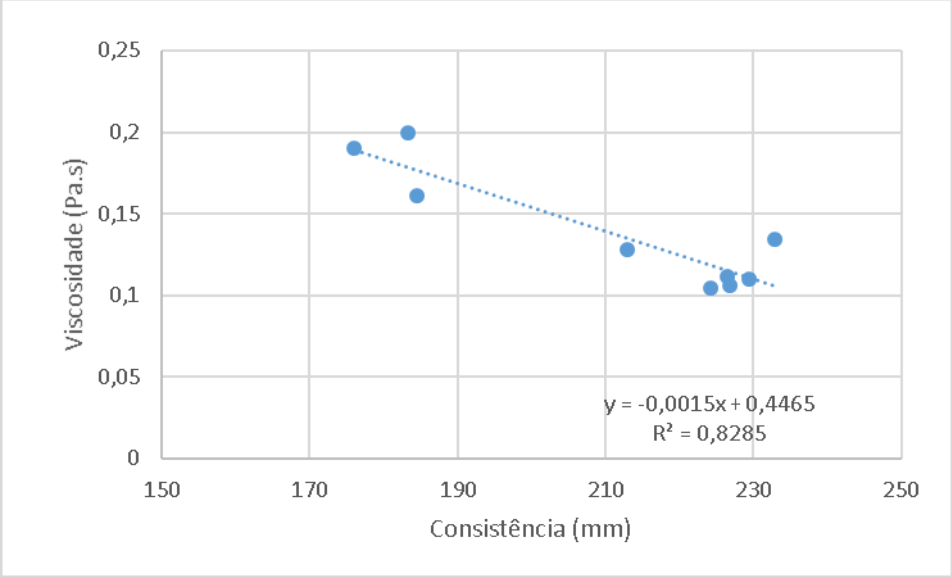


Fonte: Autor (2018).

Conforme apresentado nas Figuras 23 e 24, percebe-se que o deslizamento não apresentou uma alta relação com as propriedades de viscosidade e tensão de escoamento. Sua melhor relação é com a viscosidade, conforme comentado por Costa (2006).

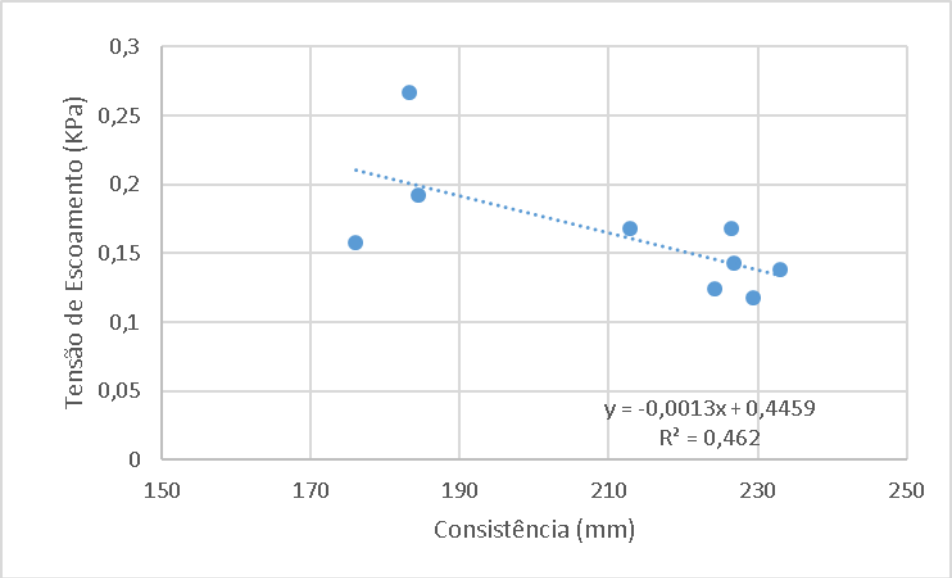
A consistência é relacionada com a viscosidade (Figura 25) e com a tensão de escoamento (Figura 26).

Figura 25 – Consistência *vs.* Viscosidade



Fonte: Autor (2018).

Figura 26 – Consistência *vs.* Tensão de Escoamento

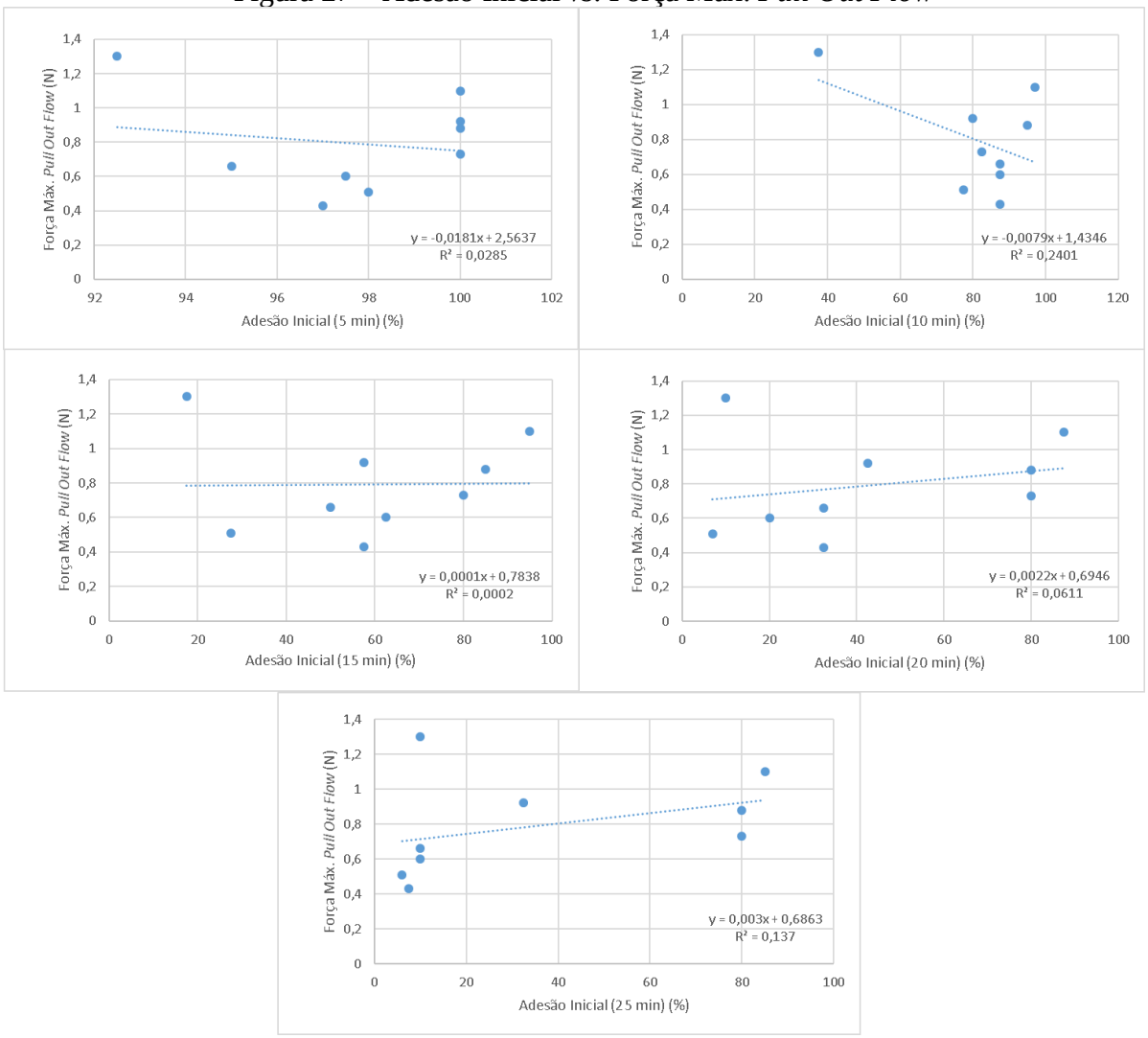


Fonte: Autor (2018).

Os resultados do ensaio de consistência apresentaram melhor relação com viscosidade quando comparado à tensão de escoamento, conforme apresentado por Carasek (2017).

Na Figura 27, é apresentada a relação entre a adesão inicial e a força máxima do ensaio de *Pull Out Flow*.

Figura 27 – Adesão Inicial *vs*. Força Máx. *Pull Out Flow*



Fonte: Autor (2018).

Conforme exposto na Figura 27, a adesão inicial não apresentou relação com a força máxima de adesão. Essa falta de relação pode se dar ao fato do ensaio de adesão inicial considerar apenas a área impregnada de argamassa da placa cerâmica. Desse modo, o ensaio de adesão avalia apenas um parâmetro da propriedade da argamassa colante. Através dessa análise e das observações na realização dos ensaios, pode se considerar pertinente, avaliar a massa de argamassa aderida pela aplaca cerâmica, juntamente com a área impregnada da placa. Desse modo, se avaliaria mais um parâmetro no ensaio de adesão inicial, considerado a área impregnada da placa e a massa de argamassa impregnada, ou uma relação entre os dois parâmetros.

A baixa relação do deslizando com a viscosidade e a tensão de escoamento, pode ser devido ao fato do ensaio medir apenas um valor de deslizamento em um intervalo de tempo.

Dessa forma, não é possível constatar o tempo para o deslizamento apresentado e a relação com a trabalhabilidade e adesão inicial da argamassa colante.

Conforme exposto, a consistência também apresentou baixa relação com a viscosidade e a tensão de escoamento. Essa análise pode refletir o fato do ensaio ser considerado monoponto. Dessa forma não consegue expressar a influência das demais propriedades atuantes durante o ensaio.

Expostas as relações dos ensaios tradicionais com os resultados das curvas de Força vs. Deslocamento, percebe-se a eficiência de caracterização dos ensaios de *Squeeze Flow e Pull Out Flow*. Os ensaios tradicionais não se mostraram eficientes para avaliar as influencias das diferentes propriedades da argamassa colante em um mesmo ensaio.

4.2 DIAGRAMA DE DOSAGEM

Com o processo de dosagem, foram determinados 9 traços de argamassas colantes, variando-o em três níveis o aditivo polimérico, o aditivo retentor de água, o teor de areia e por consequência o fator a/c. As curvas de Força *vs.* Deslocamento expressaram as mudanças de comportamento reológico das argamassas colantes perante as diferentes dosagens.

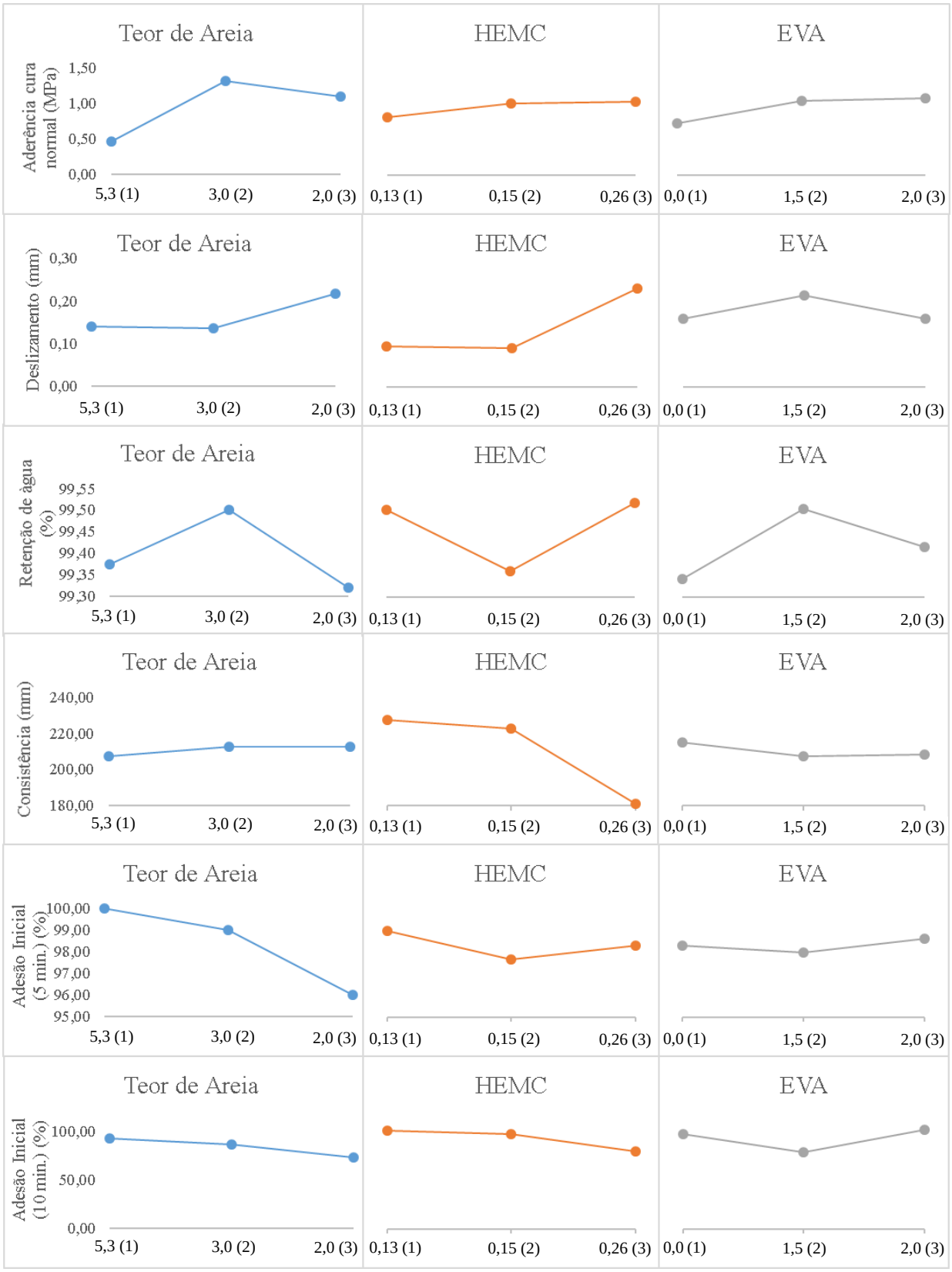
Através dos resultados obtidos com a realização dos ensaios e com a análise das curvas de Força *vs*. Deslocamento, são apresentados na Figura 28 os diagramas de dosagem. Os mesmos apresentam os resultados dos parâmetros analisados em função dos três níveis de dosagem.

O diagrama de dosagem expressa a influência de cada nível de parâmetro no desempenho das argamassas colante. Através do diagrama, pode-se analisar o desempenho da argamassa e assim obter-se o nível de dosagem para cada parâmetro, a fim de formular uma dosagem de argamassa que atenda aos requisitos desejados, e por fim confirmar a dosagem através de parâmetros de ensaios reproduzindo apenas um traço.

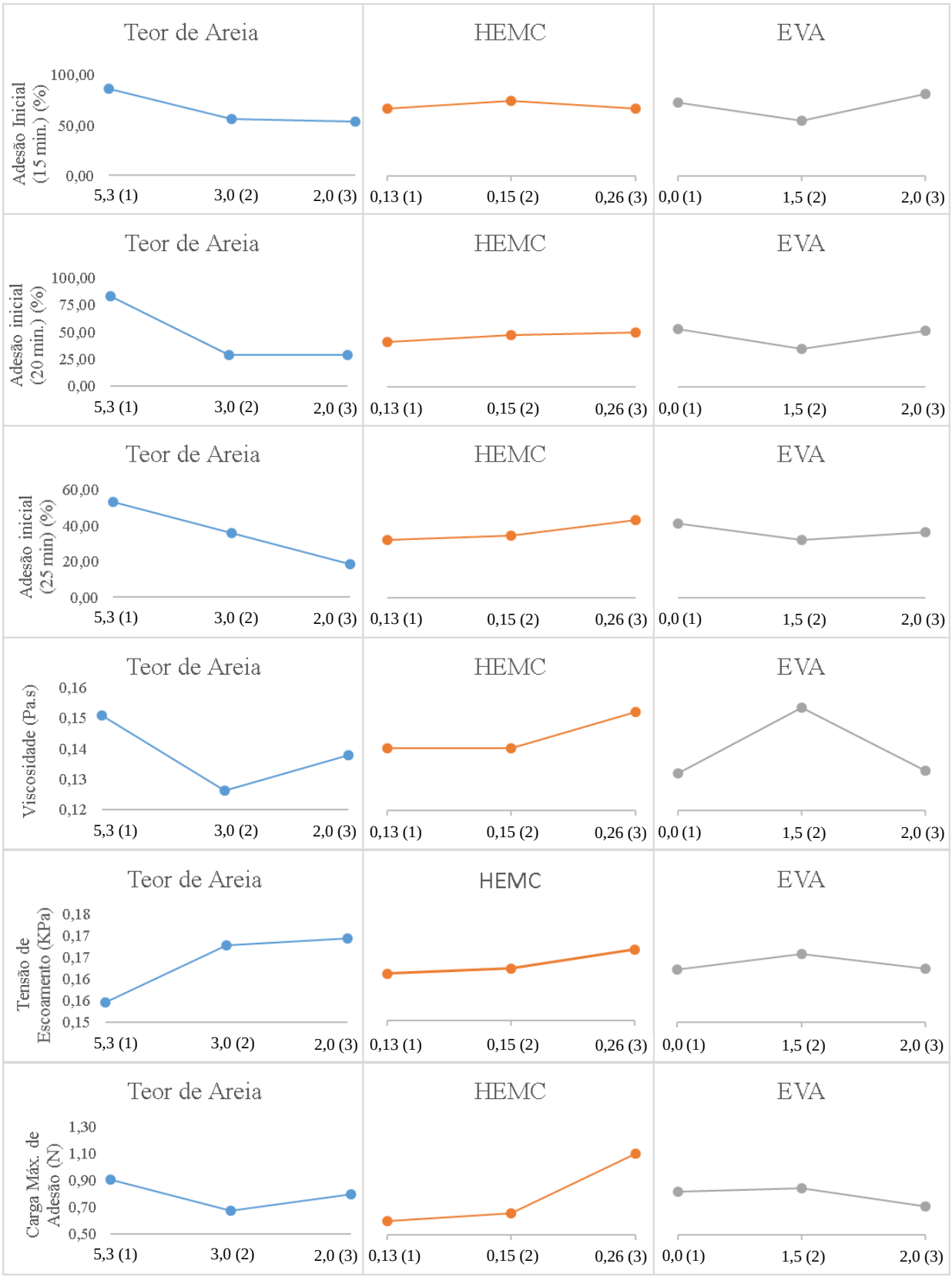
Através do diagrama, a análise dos níveis de dosagem é feita comparando os parâmetros uns com os outros. Dessa forma, o diagrama não analisa um parâmetro isoladamente, isso em função da complexidade de influência das propriedades das argamassas colantes. Analisando-se uma propriedade isoladamente, não se considera que elas influem na argamassa de forma não independente.

(Continua)

Figura 28 – Diagrama de dosagem



(Conclusão)



Obs.: Teor de areia é o valor do (m) em tecnologia de argamassa e de concreto refere-se à proporção unitária (em peso) dos agregados em relação ao cimento.
Fonte: Autor (2018).

Analisando o ensaio de aderência com cura normal, a argamassa que melhor apresentou desempenho foi composta pelo nível 2 de teor de areia, apresentando fator a/c de 0,8. O melhor desempenho ainda apresentou o aditivo retentor de água em nível 3, assim como o aditivo polimérico. Nesse caso, pode-se perceber que um melhor desempenho final da argamassa não depende apenas do fator a/c, mas também de outras propriedades que caracterizam a argamassa colante, uma vez que a argamassa de fator a/c de 0,8 apresentou melhor desempenho que a argamassa com a/c de 0,6. O que não segue as relações convencionalmente utilizadas em tecnologia de materiais a base de cimento.

O ensaio de deslizamento apresentou melhor resultado quando foi composto por teor de areia de nível 1 ou 2 (5,3 e 3). O aditivo retentor de água influenciou mais positivamente quando compôs a argamassa com nível 1 ou 2 na dosagem. O aditivo polimérico apresentou-se em nível 1 ou 3 para o menor deslizamento da argamassa colante.

A retenção de água apresentou melhor desempenho quando teve teor de areia em nível 2. A adição do aditivo retentor de água apresentou melhor desempenho em nível 3, sendo que para essa propriedade, o fator a/c também tem grande influência, neste caso foi de 0,8. O aditivo polimérico em nível 2 de adição caracterizou o melhor desempenho neste fator.

Para a consistência das argamassas, o teor de areia em nível 3, e a/c de 0,6, expressou o melhor nível de adição. O aditivo retentor em nível 1 constituiu o melhor desempenho. O aditivo polimérico proporciono melhor espalhamento para a argamassa quando adicionado em nível 1.

O ensaio de consistência não caracterizou a argamassa colante da mesma forma que as curvas de *Squeeze Flow*, quando a partir das curvas obteve-se a viscosidade, quanto aos níveis de adição expressos pelo diagrama de dosagem. As adições apresentam a argamassa com menor viscosidade quando constituída de teor de areia em nível 2 e a/c 0,8, adição de retentor de água em nível 1 ou 2, e aditivo polimérico em níveis 1 ou 3.

A tensão de escoamento, obtida através das curvas de *Squeeze Flow*, apresentou-se menor quando o teor de areia em nível 1 com a/c de 1,3. O aditivo retentor em nível 1 e o aditivo polimérico em nível 1 ou 3.

O ensaio de adesão inicial para os tempos de 5 e 10 minutos apresentou os melhores níveis de dosagens com teor de areia em nível 1 e a/c de 1,3. O aditivo retentor de água em nível 1 e o aditivo polimérico em nível 3. Para o tempo de 15 minutos, o teor de areia em nível 1, aditivo retentor em nível 2 e o polimérico em nível 3. Para os tempos de 20 e 25 minutos, o melhor desempenho foi apresentado pelo teor de areia em nível 1, aditivo retentor em nível 3, assim como aditivo polimérico em nível 1.

As cargas máximas de adesão, obtida através das curvas do ensaio de *Pull Out Flow*, apresentaram melhores resultados com nível 1 de teor de areia e a/c 1,3. A adição de aditivo retentor de água com nível 3 e aditivo polimérico em nível 2.

5 CONCLUSÃO

Como pode ser observado no que foi exposto, as argamassas colantes apresentam um complexo comportamento reológico. Sua natureza de suspensão bifásica concentrada e reativa caracterizam esse comportamento. As variações de dosagem, juntamente com as adições de aditivos, que alteram as propriedades reológicas das argamassas colantes, também contribuem expressivamente para seu complexo comportamento (CARDOSO; PILEGGI; JOHN, 2005; COSTA; CINCOTTO; PILEGGI, 2005; NAKAKURA; CINCOTTO, 2004).

Nesse contexto, os ensaios de *Squeeze Flow* e *Pull Out Flow* se mostram mais eficientes para expressar o comportamento reológico das argamassas. Através das curvas de Força *vs*. Deslocamento foram obtidas propriedades reológicas das argamassas colantes que apresentam seu comportamento em função das diversas solicitações em que as argamassas são submetidas. O detalhamento do comportamento das argamassas colantes obtido pelos ensaios de *Squeeze Flow* e *Pull Out Flow*, não pode ser expresso pelos ensaios normatizados para a caracterização dessas argamassas, tendo em vista que o único requisito da norma brasileira para o estado fresco das argamassas colantes é o ensaio de deslizamento.

Os fatores de dosagem também apresentaram grande influência no comportamento das argamassas colantes. Resultantes do processo de dosagem, os 9 traços ensaiados apresentaram características diferentes, perante os ensaios tradicionais realizados. Os diagramas de dosagem, baseados no método de Taguchi, foram capazes de avaliar a influência dos parâmetros de dosagem utilizados. Dessa forma, os níveis de dosagem mostraram-se influentes no desempenho dessas argamassas.

As variações de dosagem também puderam ser expressas pelos ensaios de *Squeeze Flow* e *Pull Out Flow*. O comportamento das curvas de Força vs. Deslocamento mostraram as influências das variações de dosagem no comportamento reológico das argamassas colantes, sendo possível relacionar esses diferentes comportamentos com o desempenho das argamassas.

Dessa forma, o comportamento reológico das argamassas colantes pode ser considerado um critério de dosagem. Conforme exposto, o comportamento reológico é um dos fatores de influência consideravelmente no desempenho final das argamassas.

Tendo em vista as considerações feitas, o desempenho das argamassas colantes está atrelado a combinação de suas propriedades. Dessa forma, não foi possível considerar uma propriedade que influenciou o comportamento das argamassas colantes de forma independente. As propriedades das argamassas então intrinsicamente relacionadas, de forma que o mau desempenho de uma propriedade pode comprometer o desempenho de outras.

Uma argamassa colante que apresente uma boa trabalhabilidade e uma boa adesão inicial, pode ter seu desempenho final de aderência comprometido se apresentar uma baixa retenção de água. Da mesma forma, uma argamassa com boa trabalhabilidade e alta retenção de água, pode ter seu desempenho final comprometido caso não apresente uma boa adesão inicial. Portanto, pode-se dizer, que cada propriedade presente no ciclo desempenho da argamassa colante (do preparo ao estado endurecido), influi em seu desempenho final, sendo o comportamento reológico um fator de suma influência.

A complexidade do comportamento reológico das argamassas colantes, juntamente com as influências e relações de suas propriedades, enfatiza a importância de sua caracterização reológica. Considerando o importante papel da argamassa colante no setor da construção civil, sua caracterização reológica torna-se indispensável para o controle e desenvolvimento de suas tecnologias.

REFERÊNCIAS

ALVES, N. J. D.; Ó, S. W.. **Aditivos Incorporadores de Ar e Retentores de Água.** In: ELTON BAUER. (Org.). Revestimentos de Argamassa - Características E Peculiaridades. 2005, p. 30-36.

ANFACER. **Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para revestimento**. Disponível em: http://www.anfacer.org.br. Acessado em 14/11/2014.

ANTUNES, G. R.. **Estudo de manifestações patológicas em revestimento de fachada em Brasília – Sistematização da incidência de casos.** 2010. 178 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Faculdade de Tecnologia Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13276:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13277:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da retenção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **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: ABNT, 2005.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14081-3:** Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas Parte 3: Determinação do tempo em aberto. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14081-4:** Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas Parte 4: Determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14081-5**: Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas Parte 5: determinação do deslizamento. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211:** Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

BEALL, C. **Masonry design and detailing for architects, engineers, and builders.** New York, McGraw – Hill Book Company, 1987.

BENINGFIELD, N. Air entrainment of mortar. In: 8th IBMAC (International Brick and Block Masonry Conference, **Proceedings** v. 1, Dublin, 1988.

BREA, F. M.; GUIMARÃES, M. B.; SILVA, C.. Influência dos diversos tipos de éteres de celulose nas propriedades das argamassas colantes. In: SBTA, VIII. 2009, Curitiba. **Anais do VIII Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas.** Curitiba: SBTA, 2009. p. 1 - 14.

CARASEK, H.. **Argamassas.** In: ISAIA, G. C.. (Org.). Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. 3ed.São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto, 2017, v. 2, p. 922-969.

CARDOSO, F. A. **Método de formulação de argamassas de revestimento baseado na distribuição granulométrica e comportamento reológico**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, São Paulo-SP. 2009.

CARDOSO, F. A.; PILEGGI, R. G.; JOHN, V. M.. **Caracterização reológica de argamassas pelo método de squeeze-flow.** In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, VI. Florianópolis, 2005.

CASALI, J. M.. **Estudo da interação entre argamassa de assentamento e bloco de concreto para alvenaria estrutural: transporte de água e aderência.** 2008. 348 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

CIMENTAL FERMAFLEX. **Ficha técnica Vaepol DM4:** polímero redispersível. Cariacica: Cimental Fermaflex, [2017?]. 1 p.

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

COSTA, M. R. M. M.; CINCOTTO, M. A.; PILEGGI, R. G.. Análise do deslizamento da argamassa colante através do seu comportamento reológico. In: SBTA, IX, 2011, Belo Horizonte. **Anais do IX Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas.** Belo Horizonte: SBTA, 2011. p. 1.

DOWWOLFF CELULOSICS. **Ficha técnica do aditivo Walocel MKX 60000 PF 01.** Bomlitz, Alemanha: Dowwolff Celulosics, [2017?]. 2 p. Product information.

FIORITO, A. J. S. I.. **Manual de argamassas e revestimentos: estudos e procedimentos de execução.** São Paulo: PINI, 2009.

ITAMBÉ. **Relatório de Ensaio.** 2017. Disponível em: <http://www.cimentoitambe.com.br/relatorios-de-ensaio/?pro=368#>. Acesso em: 02 out. 2018.

KACI, A.; BOURAS, R.; PHAN, V. T.; ANDRÉANI, P. A.; CHAOUCHE, M.; BROSSAS, H.. **Adhesive and rheological properties of fresh fibre-reinforced mortars.** Cement & Concrete Composites. n º 33, 2011. p. 218 – 224.

KUDO, E. K.. **Caracterização reológica de argamassas colantes.** 2012. 141 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

NAKAKURA, E.H.; CINCOTTO, M. A.. **Análise dos requisitos de classificação de argamassas de assentamento e revestimento.** São Paulo, EPUSP, 2004. (Boletim Técnico BT/PCC/359).

OLIVEIRA, M. J. D.. **Avaliação do tempo de consolidação de argamassas colantes através de métodos reológicos.** 2015. 98 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.

PEREIRA, B. A.. **Proposta de um método de dosagem racional para argamassa colante.** Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade do Sul de Santa Catarina. 2017.

PÓVOAS, Y. V; JOHN, V. M.; CINCOTTO, M.A.. **Influência da perda de água por evaporação na resistência à aderência entre argamassa colante e placa cerâmica.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v2, n2, p 7-18. abr/jun2002.

PRUDÊNCIO JR., L. R.. **Argamassas.** Notas de aula, Curso de Graduação em Engenharia Civil – UFSC, 2005.

SILVA, C. O. **Análise crítica dos requisitos e critérios de qualidade da argamassa colante.** Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo – SP. 2003.

SOUSA, J. G. G.; LARA, P. L. O.. **Reologia e Trabalhabilidade das Argamassas.** In: ELTON BAUER. (Org.). Revestimentos de Argamassa - Características E Peculiaridades. 2005, p. 23-29.

SOUZA, L. P.; PEREIRA, E.; SILVA, I. J.; COSTA, M. R. M. M. C.. Avaliação do tempo em aberto (quick open time) de argamassas colantes através do ensaio modificado de retenção de água. In: SBTA, X, 2013, 2013, Fortaleza. **Anais do X Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas.** Fortaleza: SBTA, 2013. p. 1 - 15.