

Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Escola de Engenharia  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Construção e  
Infraestrutura

**Influência dos parâmetros de forma do agregado na  
formulação de argamassas de projeção**

César Winter de Mello

Orientadora: Angela Borges Masuero

Porto Alegre  
2018

César Winter de Mello

**INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DE FORMA DO  
AGREGADO NA FORMULAÇÃO DE ARGAMASSAS DE  
PROJEÇÃO**

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia na modalidade Acadêmico.  
Orientação: Profa. Dra. Angela Borges Masuero.

Porto Alegre  
2018

CIP - Catalogação na Publicação

Mello, César Winter de  
Influência dos parâmetros de forma do agregado na  
formulação de argamassas de projeção / César Winter de  
Mello. -- 2018.  
205 f.  
Orientadora: Angela Borges Masuero.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio  
Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de  
Pós-Graduação em Engenharia Civil: construção e  
infraestrutura, Porto Alegre, BR-RS, 2018.

1. Argamassa de projeção. 2. Fator forma. 3.  
Composição granulométrica. 4. Reologia. I. Borges  
Masuero, Angela, orient. II. Título.

CÉSAR WINTER DE MELLO

**INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DE FORMA DO  
AGREGADO NA FORMULAÇÃO DE ARGAMASSAS DE  
PROJEÇÃO**

Porto Alegre, 12 de dezembro de 2018

Profa. Angela Borges Masuero  
Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Orientadora

**Prof. Carlos Torres Formoso**  
Ph.D. pela University of Salford  
Coordenador do PPGCI/UFRGS

**BANCA EXAMINADORA**

**Prof. Carlos Pérez Bergmann (UFRGS)**  
Dr. pela Rheinisch Westfälische Technische Hochschule Aachen, RWTH-AACHEN,  
Alemanha

**Prof. Daniel Tregnago Pagnussat (UFRGS)**  
Dr. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

**Profa. Edna Possan (UNILA)**  
Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

**Profa. Marianne do Rocio de Mello Maron da Costa (UFPR)**  
Dra. pela Universidade de São Paulo

À minha esposa Samara, à minha filha Eduarda e meus filhos João e Felipe, pelo meu amor incondicional.

## AGRADECIMENTOS

Ao Supremo Arquiteto do Universo por permitir a evolução do meu conhecimento.

Ao meu pai Jorge Alves de Mello (in memorian), à minha mãe Dulcina Winter de Mello, aos meus irmãos Fernando e Rodrigo, ao meu sobrinho Leonardo pelo incentivo em continuar os meus estudos.

À minha madrinha Vivaldina e aos primos Jorge Luis Fernandes, Eliane e a Sofia, por possibilitar a minha hospedagem durante todo o período de realização das disciplinas.

À UFRGS e ao PPGCI por me dar a oportunidade de continuar a aprimorar a minha educação e conhecimento técnico-científico.

À professora e orientadora Angela Borges Masuero pelo esforço e dedicação durante o desenvolvimento da pesquisa.

Aos colegas do NORIE que me auxiliaram durante todo o período da realização da pesquisa, em especial a Carina Stolz, Carolina Giornadi, Fernanda Lamego Guerra, Marlon Longhi, Lais Zuecchetti e Daniel Pagnussat.

Aos servidores do PPGCI-NORIE pelo suporte nas relações acadêmicas.

Aos técnicos do laboratório de materiais, em especial ao Airton Freitas que me auxiliou e conduziu de forma muito profissional os ensaios necessários para o desenvolvimento do trabalho.

À UNILA e ao curso de graduação de Engenharia Civil de Infraestrutura por conceder afastamento integral das minhas atividades para o meu aperfeiçoamento.

À Fundação Araucária a qual financiou equipamentos ao Laboratório de Desempenho, Estruturas e Materiais - **LADEMA**, indispensáveis na realização deste trabalho.

Aos colegas e amigos Edna Possan, Helena Graf, Jiam Pires Frigo e Ana Carolina Parapinski dos Santos, Oswaldo Hideo Ando Junior pelo auxílio na cobertura das disciplinas na graduação e ao incentivo no meu aperfeiçoamento.

Às alunas e estagiárias Deborah Nardi e Samanta Klering pelo grande auxílio nos ensaios desenvolvidos em laboratório.

Ao Laboratório de Tecnologia do Concreto da Usina Hidrelétrica de Itaipu Binacional, nas figuras dos profissionais João Bernardino Lopes, Mauricio Ichikawa, Claudinei Dias, Nilo Bernardi, Fábio Wilrish, Étore Funchal, Ricardo Rodríguez Báez e Luis

Guillermo Vellacich pelo total apoio tecnológico e de infraestrutura para a realização desta pesquisa.

Às empresas fabricantes de argamassas de projeção que forneceram materiais para o desenvolvimento do trabalho.

À empresa Lajes Patagônia, unidade Medianeira - PR, pelo auxílio e patrocínio dos blocos de concreto para a confecção das paredes dos substratos de aderência das argamassas.

À Distrial Ferro e Aço, grande parceira e patrocinadora de insumos para a fabricação das argamassas de projeção, em especial aos profissionais Paulo Fernando Quintella, Adailton Silva e Juliano Ribeiro.

Aos meus amigos de longa data Gian Regis Frick e Egon Vetorazzi pela grande amizade, conversas e estada durante alguns dias em Porto Alegre.

E, aos meus Ven.ºs Ilr.ºs da A.ºR.ºL.ºS.º Universitária Panamericana, os quais tenho muito apreço e que me incentivaram desde o início do doutorado. O meu sincero T.ºF.ºA.º.

## RESUMO

MELLO, C. W. de. **Influência dos parâmetros de forma do agregado na formulação de argamassas de projeção**. 2018. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura, UFRGS, Porto Alegre.

Esse trabalho busca enfatizar a influência dos parâmetros de forma de areias na formulação de argamassas de projeção. O objetivo principal deste trabalho é o de determinar parâmetros de projetabilidade através da análise do fator forma do agregado miúdo e do comportamento reológico para a formulação de argamassas de revestimentos. O programa experimental contou com a seleção de três tipos de agregados, um quartzo de rio (APR), e duas de britagem de origem basáltica, porém uma britada pelo sistema *vertical shaft impactor* (VSI) e outra britada pelo sistema de britador de impacto (CONV). Foram produzidas cinco composições granulométricas (CG-APR, CG-VSI, CG-CONV, CG-VSI 1 e CG-CONV 1) sendo que as duas últimas corrigidas com a CG-APR, buscando suprir a defasagem de finos das areias britadas. Foram feitas as caracterizações física e parâmetros de forma das areias através de ensaios prescritos pelas normas brasileiras e análise morfológica e aquisição de imagens pela lupa estereoscópica e posterior tratamento das mesmas utilizando o software *ImageJ*. Produziram-se 15 dosagens de argamassas de projeção utilizando as composições em três diferentes proporcionamentos, quais sejam: 1:1:4 (T1), 1:1:6 (T2) e 1:1:8 (T3) (cimento:cal:areia, materiais secos em massa). As argamassas foram caracterizadas nos estados fresco e endurecido e submetidas a ensaios reológicos através das técnicas de reometria rotacional e de squeeze-flow além de teste de projeção. Após transcorrido pelo menos 28 dias de cura realizou-se a caracterização dos revestimentos através dos ensaios de resistência de aderência à tração e permeabilidade pelo método do cachimbo. Os resultados mostraram que as areias apresentaram diferenças significativas quanto aos parâmetros de forma (forma, arredondamento e esfericidade) sendo que as composições CG-APR, CG-VSI 1, CG-VSI e CG-CONV 1 foram consideradas como bem arredondadas e CG-CONV como arredondada. Considerando os ensaios de *squeeze-flow* verificou-se influência da composição granulométrica nas argamassas, visto que àquelas produzidas com as composições mais grossas mostraram-se mais rígidas, produzindo menores deformações e com elevadas cargas de aplicação. Pode-se inferir que o fator forma gera influência na resistência ao fluxo que contém grãos com formas irregulares e com superfícies rugosas. Já os resultados de reometria rotacional mostraram que o agregado fino influencia nos parâmetros reológicos analisados. Pôde-se perceber que os principais fatores que influenciaram significativamente no comportamento reológico das argamassas de projeção foram os parâmetros de forma e granulometria dos agregados, ar incorporado e densidade de massa. Os ensaios de resistência de aderência à tração e permeabilidade pelo método do cachimbo realizados nos revestimentos produzidos mostraram influência significativa dos parâmetros de forma, granulometria e dosagem das argamassas analisadas. Deste modo pode-se traçar parâmetros reológicos limites os quais são: fator forma utilizável (rugosos e polidos a polidos, arredondados e de baixa esfericidade), composição granulométrica utilizável (agregados com maior porcentagem de finos passantes na peneira #0,6mm) e viscosidade aparente entre 14 a 28 Pa.s para grãos polidos e 16 a 48 Pa.s. para grãos rugosos e polidos.

**Palavras-chave:** reologia, argamassa de projeção, fator forma, composição granulométrica

## ABSTRACT

MELLO, C. W. de. **Influence of the shape parameters of the aggregate in the formulation of sprayed mortars.** 2018. Thesis (Phd Engineering)- School of Engineering, Civil Engineering Post-Graduate Program: Construction and Infrastructure, UFRGS, Porto Alegre.

This study emphasizes the influence of aggregate shape parameters on the mix design of sprayed mortars. The main objective of this work is to determine the parameters of projectability through the analysis of the form factor of the sands and rheology for the mix design of mortars of coatings. The experimental program consisted of the selection of three types of sands, one river quartz (APR), and two crusher of basaltic origin, one crushed by the vertical shaft impactor system (VSI) and the other crushed by the impact crusher system CONV). Five compositions were produced, CG-APR, CG-VSI, CG-CONV, CG-VSI 1 and CG-CONV 1, the last two of which were corrected with CG-APR, aiming to overcome the demarcation of fines from the crushed sands. The physical characterization and shape parameters of the sands were performed through tests prescribed by the Brazilian standards and morphological analysis and image acquisition by the stereoscopic loupe and subsequent treatment of them using the ImageJ software. 15 means of **sprayed mortars** were made using the compositions in three different mix design, which are: 1: 1: 4 (T1), 1: 1: 6 (T2) and 1: 1: 8 (T3) (cement: lime : sand, dry bulk materials). The mortars were characterized in the fresh and hardened states and submitted to rheological tests using the rotational rheometry and squeeze-flow techniques in addition to the **sprayed** test. After at least 28 days of curing, the coatings were characterized by tensile strength and permeability tests by the pipe method. The results showed that the sands presented significant differences regarding shape parameters (shape, roundness and sphericity) and CG-APR, CG-VSI 1, CG-VSI and CG-CONV 1 compositions were considered as well rounded and CG- CONV as rounded. Considering the squeeze-flow tests, there was influence of the granulometric composition on the mortars, since those produced with the thicker compositions showed to be more rigid, producing smaller deformations and with high loads of application. It can be inferred that the form factor generates influence in the resistance to the flow that contain grains with irregular forms and with rough surfaces. The results of rotational rheometry showed that the sands influenced the rheological parameters analyzed. It was observed that the main factors that influenced significantly the rheological behavior of the projection mortars were the parameters of form and granulometry of the aggregates, incorporated air and mass density. The tensile strength and permeability tests by the pipe method performed on the coatings produced showed significant influence of the shape parameters, particle size and dosage of the analyzed mortars. In this way, rheological parameters can be drawn which are: usable range form factor (rough and polished to polished, rounded and of low sphericity), usable range granulometric composition (aggregates with higher percentage of fines in the sieve # 0.6mm) and viscosity apparent between 14 to 28 Pa.s for polished grains and 16 to 48 Pa.s. for rough and polished grains.

**Keywords:** Rheology, mortar, sprayed mortars, shape factor, particle size, granulometric composition

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE TABELAS</b>	12
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	17
<b>LISTA DE SIGLAS</b>	22
<b>1 INTRODUÇÃO</b>	24
1.1 COTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA DE PESQUISA	24
1.2 JUSTIFICATIVA DO TEMA	27
1.3 OBJETIVOS	28
1.3.1 Objetivo principal	28
1.3.2 Objetivos específicos	28
1.4 HIPÓTESE	28
1.5 LIMITAÇÕES	29
1.6 ESTRUTURA DA PESQUISA	29
<b>2 A INFLUÊNCIA DO AGREGADO MIÚDO NO COMPORTAMENTO REOLÓGICO DAS ARGAMASSAS</b>	30
2.1 INFLUÊNCIA DAS CARACTERÍSTICAS DO AGREGADO MIÚDO NO COMPORTAMENTO REOLÓGICO DAS ARGAMASSAS	31
2.2 INFLUÊNCIA DA FINURA DO AGREGADO NO COMPORTAMENTO REOLÓGICO DAS ARGAMASSAS	35
2.3 FORMA E TEXTURA DO AGREGADO MIÚDO	39
2.4 MODELOS DE AVALIAÇÃO DA FORMA DE AGREGADOS POR IMAGEM	43
2.5 PROPRIEDADES DA ARGAMASSA NO ESTADO FRESCO	47
2.6 FORMAS DE CARACTERIZAÇÃO REOLÓGICA EM ARGAMASSAS	49
2.6.1 Método do <i>Squeeze Flow</i>	50
2.6.2 Reometria rotacional	53
<b>3 PROGRAMA EXPERIMENTAL</b>	58
3.1 DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS DE RESPOSTA	58
3.2 MATERIAIS E MÉTODOS	60
3.2.1 Materiais utilizados na pesquisa	60
3.2.1.1 Cimento	60
3.2.1.2 Cal hidratada	60
3.2.1.3 Agregado miúdo e composição das areias	61
3.2.1.4 Aditivos	65
3.2.1.5 Água	65
3.2.1.6 Substrato de aderência	66

3.2.1.7	Equipamento de projeção	67
3.3	MÉTODOS DE ENSAIOS	67
3.3.1	Caracterização física e parâmetros de forma das areias	67
3.3.2	Ensaio de mini abatimento ou mini slump	71
3.3.3	Dosagens das argamassas de projeção	76
3.3.4	Caracterização das argamassas de projeção produzidas no estado fresco	77
3.3.4.1	<i>Squeeze-flow</i>	77
3.3.4.2	Reometria rotacional	78
3.3.5	Caracterização das argamassas de projeção produzidas no estado endurecido	79
3.3.6	Ensaio de avaliação do revestimento	80
3.3.6.1	Resistência à aderência	80
3.3.6.2	Ensaio de permeabilidade	82
<b>4</b>	<b>APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS</b>	<b>85</b>
4.1	CARACTERIZAÇÃO DAS AREIAS	85
4.1.1	Caracterização física das areias	85
4.1.2	Caracterização dos parâmetros de forma das areias compostas	88
4.1.2.1	Análise visual	88
4.1.2.2	Forma, arredondamento e esfericidade	90
4.2	CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS DE PROJEÇÃO PRODUZIDAS	95
4.2.1	Caracterização no estado fresco	95
4.2.1.1	<i>Squeeze-flow</i>	99
4.2.1.2	Reometria rotacional	108
4.2.1.3	O impacto dos parâmetros reológicos nas argamassas de projeção	113
4.2.2	Caracterização no estado endurecido	118
4.3	TESTE DE PROJEÇÃO DAS ARGAMASSAS PRODUZIDAS	123
4.3.1	Resistência de aderência à tração	125
4.3.2	Permeabilidade pelo método do cachimbo	134
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>142</b>
5.1	CONCLUSÕES	143
5.2	SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS	147
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>149</b>
	<b>ANEXOS</b>	<b>165</b>
	<b>APÊNDICES</b>	<b>168</b>

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Quadro comparativo entre propriedades e características granulométricas da areia. Adaptado de ABCP (S/D)	32
Tabela 2: Propriedades e características de agregados miúdos, conforme NBR 7389 (ABNT, 2009)	42
Tabela 3: resumo das características físicas e químicas do cimento CP II Z 32	60
Tabela 4: caracterização física da cal hidratada CH-III	61
Tabela 5: análise granulométrica e características físicas das areias utilizadas	62
Tabela 6: composições granulométricas e características físicas das areias para as argamassas de projeção	64
Tabela 7: caracterização físico química dos aditivos incorporador de ar e retentor de água	65
Tabela 8: caracterização dos blocos de concreto	66
Tabela 9: ensaios de caracterização das areias	68
Tabela 10: compacidade (C) e abatimento obtido por mini abatimento	75
Tabela 11: nomenclatura adotada para as diferentes argamassas de projeção produzidas	77
Tabela 12: ensaios de caracterização das argamassas no estado fresco	77
Tabela 13: ensaios de caracterização das argamassas no estado endurecido	79
Tabela 14: limites de resistência de aderência à tração para emboço e camada única, de acordo com a NBR 13749 (ABNT, 2013)	81
Tabela 15: composições granulométricas e características físicas das areias para as argamassas de projeção	86

Tabela 16: limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo (adaptado da NBR 7211 (ABNT, 2005))	86
Tabela 17: Resultados das superfícies específicas	88
Tabela 18: análise visual da superfície dos grãos das frações das composições granulométricas	89
Tabela 19: valores médios individuais de forma (F), arredondamento (Ar) e esfericidade (Es) de cada fração	90
Tabela 20: Valores médios de forma, arredondamento e esfericidade das composições granulométricas	90
Tabela 21: ANOVA dos fatores controláveis (CG) propostos sobre as variáveis de resposta	91
Tabela 22: análise múltipla de médias pelo Método de Fisher o impacto da forma nas composições granulométricas	94
Tabela 23: análise múltipla de médias pelo Método de Fisher o impacto da arredondamento nas composições granulométricas	94
Tabela 24: análise múltipla de médias pelo Método de Fisher o impacto da esfericidade nas composições	94
Tabela 25: índices de consistências médios das argamassas de projeção	96
Tabela 26: retenção de água média das argamassas de projeção	97
Tabela 27: densidade de massa no estado fresco das argamassas de projeção	98
Tabela 28: ar incorporado das argamassas de projeção	98
Tabela 29: resumo das características das argamassas no estado fresco e fator forma	112
Tabela 30: ANOVA dos fatores controláveis (CG e proporcionamentos) propostos sobre as variáveis de respostas ar incorporado, retenção de água, densidade de massa no estado fresco, viscosidade aparente	114
Tabela 31: análise múltipla de médias pelo Método de Fisher o impacto da viscosidade aparente em função das composições granulométricas	117
Tabela 32: análise múltipla de médias pelo Método de Fisher o impacto do ar incorporado em função das composições granulométricas	118

Tabela 33: análise múltipla de médias pelo Método de Fisher o impacto da densidade de massa no estado fresco em função das composições granulométricas	118
Tabela 34: análise múltipla de médias pelo Método de Fisher o impacto da retenção de água em função das composições granulométricas	118
Tabela 35: resistência à compressão das argamassas de projeção produzida	119
Tabela 36: resistência à tração na flexão das argamassas de projeção produzida	120
Tabela 37: módulo de elasticidade dinâmico das argamassas de projeção produzida	121
Tabela 38: densidade aparente no estado endurecido das argamassas de projeção produzidas	122
Tabela 39: coeficiente de absorção de água por capilaridade C médio das argamassas de projeção produzida	123
Tabela 40: resistência de aderência à tração das argamassas de projeção	125
Tabela 41: ANOVA dos fatores controláveis (fator forma e granulometria - CG), os traços T1, T2 e T3 com as diferentes composições granulométricas e alturas de aplicações no substrato dos traços T1, T2 e T3 com as diferentes composições granulométricas propostos sobre as variáveis de respostas (resistência de aderência à tração)	127
Tabela 42: análise múltipla de médias pelo Método de Fisher do impacto do fator forma e granulometria do agregado na resistência de aderência à tração	130
Tabela 43: análise múltipla de médias pelo Método de Fisher do impacto dos mesmos traços (T1) e diferentes areias na resistência de aderência à tração	130
Tabela 44: análise múltipla de médias pelo Método de Fisher do impacto dos mesmos traços (T2) e diferentes areias na resistência de aderência à tração	131
Tabela 45: análise múltipla de médias pelo Método de Fisher do impacto dos mesmos traços (T3) e diferentes areias na resistência de aderência à	131

tração

Tabela 46: análise múltipla de médias pelo Método de Fisher do impacto da resistência de aderência à tração dos mesmos traços (T1) nas diferentes alturas do substrato (inferior, médio, superior)	133
Tabela 47: análise múltipla de médias pelo Método de Fisher do impacto da resistência de aderência à tração dos mesmos traços (T2) nas diferentes alturas do substrato (inferior, médio, superior)	133
Tabela 48: análise múltipla de médias pelo Método de Fisher do impacto da resistência de aderência à tração dos mesmos traços (T3) nas diferentes alturas do substrato (inferior, médio, superior)	133
Tabela 49: permeabilidade média pelo método do cachimbo	134
Tabela 50: ANOVA dos fatores controláveis (fator forma e granulometria do agregado no comportamento reológico e aplicabilidade das faixas de resultados do fator forma, granulométricos e reológicos propostos sobre as variáveis de respostas (coeficiente de permeabilidade pelo método do cachimbo)	135
Tabela 51: análise múltipla de médias pelo Método de Fisher do impacto do fator forma e granulometria (CG) do agregado no coeficiente de permeabilidade pelo método do cachimbo	137
Tabela 52: análise múltipla de médias pelo Método de Fisher do impacto dos mesmos traços (T1) e diferentes areias no coeficiente de permeabilidade pelo método do cachimbo	138
Tabela 53: análise múltipla de médias pelo Método de Fisher do impacto dos mesmos traços (T2) e diferentes areias no coeficiente de permeabilidade pelo método do cachimbo	138
Tabela 54: análise múltipla de médias pelo Método de Fisher do impacto dos mesmos traços (T3) e diferentes areias no coeficiente de permeabilidade pelo método do cachimbo	138
Tabela 55: análise múltipla de médias pelo Método de Fisher do impacto do coeficiente de permeabilidade pelo método do cachimbo dos mesmos traços (T1) nas diferentes alturas do substrato (inferior, médio, superior)	140

Tabela 56: análise múltipla de médias pelo Método de Fisher do impacto do coeficiente de permeabilidade pelo método do cachimbo dos mesmos traços (T2) nas diferentes alturas do substrato (inferior, médio, superior)	140
Tabela 57: análise múltipla de médias pelo Método de Fisher do impacto do coeficiente de permeabilidade pelo método do cachimbo dos mesmos traços (T3) nas diferentes alturas do substrato (inferior, médio, superior)	140
Tabela 58: resumo dos parâmetros de projetabilidade	143
Tabela 59: resumo dos principais resultados obtidos na pesquisa	146

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: (a) Partículas em contato; (b) Partículas separadas por uma distância D em decorrência da adição de fluido que suficientemente recobre a superfície e preenche os vazios deixados pelo empacotamento, afastando-as (PILEGGI, 2001).	37
Figura 2: Representação de um plano de corte das partículas de agregado (a) e após a simplificação (b) (LU <i>et al.</i> , 2008).	39
Figura 3: Representação da forma, rugosidade e textura da superfície em uma linha tridimensional (BARRETT, 1980)	40
Figura 4: Esquema ilustrativo para determinação da forma dos grãos de agregado adaptado de Powers (1953)	42
Figura 5: a) <i>Squeeze flow</i> assimétrico com massa constante de amostra entre placas e b) <i>Squeeze flow</i> assimétrico com área de contato constante entre a amostra e placas (ENGMANN, SERVAIS e BURBIDGE, 2005)	51
Figura 6: Perfil típico de carga <i>versus</i> deslocamento de um ensaio de <i>squeeze flow</i>	52
Figura 7: Determinação da carga de escoamento pelo gráfico carga <i>versus</i> deslocamento	52
Figura 8: diferentes tipos de fluxo em solicitações aplicadas (SCHRAMM, 2006)	53
Figura 9: Perfil reométrico obtido a partir de reômetro: a) torque X rotação; b) viscosidade X rotação (HOPPE, CINCOTTO e PILEGGI, 2007)	54
Figura 10: exemplos de reômetros: a) reômetro Viskomat (CARDOSO, 2009); b) reômetro RheoCAD; e c) reômetro Brookfield;	55
Figura 11: geometria de palhetas: a) palheta com seis lâminas; b) palheta cilíndrica serrilhada; e c) palheta cilíndrica lisa (BARNES e NGUYEN, 2001)	57
Figura 12 - Fluxograma do programa experimental	59
Figura 13: curvas granulométricas da areia natural (APR), areia de de britagem beneficiada através do sistema VSI e areia de britagem beneficiada através do sistema de britador de impacto (CONV.)	63
Figura 14: curvas granulométricas das composições das areias das argamassas de projeção	65

Figura 15: aspecto das paredes subdivididas em painéis; a) parede 1 e b) parede 2	66
Figura 16: conjunto misturador e bomba/projetor utilizados para a projeção das argamassas produzidas; (a) misturador de eixo horizontal; (b) misturador e conjunto de bomba/projetor de eixo helicoidal	67
Figura 17: aspectos visuais das lâminas da areia ANPR nas frações: a) 0,6 mm; b) 0,3 mm; c) 0,15 mm; e d) 0,074 mm, respectivamente.	69
Figura 18: lupa estereoscópica com câmera digital acoplada, pertencente ao Laboratório de Materiais e Tecnologia do Ambiente Construído (LAMTAC) do NORIE/UFRGS	70
Figura 19: imagens em lupa estereoscópica da composição CG-APR com aumento de 20x0,65; (a) fração 0,6 mm; (b) fração 0,3 mm; (c) fração 0,15 mm; (d) fração 0,074 mm	70
Figura 20: <i>Quantachrome Gas Sorption System NOVA Instrument</i> , pertencente ao Laboratório de Desempenho, Estruturas e Materiais (LADEMA) da UNILA	71
Figura 21: a) esquema das dimensões do molde (MONTE, 2003); b) aspecto da pasta após remoção do molde	72
Figura 22: fases do empacotamento por demanda de água a) estado seco; b) estado pendular, c) estado funicular; d) estado capilar (SOBRAL, 1990)	73
Figura 23: fases do empacotamento do cimento a) estado seco; b) estado pendular; c) estado funicular; d) estado capilar	74
Figura 24: sequência de dosagem dos traços das argamassas de projeção; a) preparação dos materiais, colocação dos materiais na betoneira, homogeneização dos materiais, d) material sendo pesado e ensacado, e) acondicionamento em paletes de madeira	76
Figura 25: Reômetro Brookfield R/S plus pertencente ao Laboratório de Materiais e Tecnologia do Ambiente Construído (LAMTAC) do NORIE/UFRGS	78
Figura 26: rotina aplicada para a análise das argamassas de projeção no reômetro	79
Figura 27: procedimento padrão de projeção e aplicação de régua tipo H	80
Figura 28: formas de ruptura dos corpos de prova no ensaio de resistência de aderência à tração, conforme 13528 (ABNT, 2010)	81

Figura 29: ensaio de aderência à tração a) corpos de prova cortados colagem das pastilhas e; b) execução do ensaio de arrancamento	82
Figura 30: a) cachimbo de vidro graduado e; b) cachimbos fixos no revestimento prontos para ensaio	83
Figura 31: curvas granulométricas das areias compostas e limites de distribuição granulométrica do agregado miúdo	87
Figura 32: Intervalos de confiança das médias da forma das composições granulométricas	91
Figura 33: Intervalos de confiança das médias do arredondamento das composições granulométricas	92
Figura 34: Intervalos de confiança das médias da esfericidade das composições granulométricas	93
Figura 35: comportamento das argamassas separadas por composição granulométrica, no ensaio de <i>squeeze-flow</i> , no tempo de 10 minutos com velocidade de 3 mm/s	100
Figura 36: comportamento das argamassas separadas por composição granulométrica, no ensaio de <i>squeeze-flow</i> , no tempo de 15 minutos com velocidade de 0,1 mm/s	100
Figura 37: comportamento das argamassas separadas por composição granulométrica, no ensaio de <i>squeeze-flow</i> , no tempo de 60 minutos com velocidade de 3 mm/s	102
Figura 38: comportamento das argamassas separadas por composição granulométrica, no ensaio de <i>squeeze-flow</i> , no tempo de 65 minutos com velocidade de 0,1 mm/s	103
Figura 39: comportamento das argamassas em relação às composições granulométricas com mesmo traço, no ensaio de <i>squeeze-flow</i> , no tempo de 10 minutos com velocidade de 3 mm/s	104
Figura 40: comportamento das argamassas em relação às composições granulométricas com mesmo traço, no ensaio de <i>squeeze-flow</i> , no tempo de 15 minutos com velocidade de 0,1 mm/s	105
Figura 41: comportamento das argamassas em relação às composições granulométricas com mesmo traço, no ensaio de <i>squeeze-flow</i> , no tempo de 60 minutos com velocidade de 3 mm/s	106

Figura 42: comportamento das argamassas em relação às composições granulométricas com mesmo traço, no ensaio de <i>squeeze-flow</i> , no tempo de 65 minutos com velocidade de 0,1 mm/s	106
Figura 43: comparação de composição granulométrica pelas dosagens	110
Figura 44: comparação das dosagens em relação a viscosidade e a tensão de cisalhamento	112
Figura 45: intervalo de confiança entre ar incorporado e composições granulométricas	114
Figura 46: relação entre viscosidade, ar incorporado com composições granulométricas	115
Figura 47: intervalo de confiança entre ar incorporado e composições granulométricas	115
Figura 48 intervalo de confiança entre densidade de massa no estado fresco e composições granulométricas	116
Figura 49: Intervalos de confiança das médias das viscosidades aparentes em função das composições granulométricas	117
Figura 50: Intervalos de confiança das médias de resistência de aderência à tração pelas diferentes composições granulométricas (fator forma e granulometria)	128
Figura 51: Intervalos de confiança das médias de resistência de aderência à tração pelos mesmos traços (T1) de diferentes composições granulométricas	128
Figura 52: Intervalos de confiança das médias de resistência de aderência à tração pelos mesmos traços (T2) de diferentes composições granulométricas	129
Figura 53: Intervalos de confiança das médias de resistência de aderência à tração pelos mesmos traços (T3) de diferentes composições granulométricas	129
Figura 54: Intervalos de confiança das médias de resistência de aderência à tração pelos mesmos traços (T1) nas diferentes alturas do substrato (inferior, médio, superior)	132
Figura 55: Intervalos de confiança das médias de resistência de aderência à tração pelos mesmos traços (T2) nas diferentes alturas do substrato (inferior, médio, superior)	132
Figura 56: Intervalos de confiança das médias de resistência de aderência à tração mesmos traços (T3) nas diferentes alturas do substrato (inferior, médio,	133

superior)

Figura 57: Intervalos de confiança das médias do coeficiente de permeabilidade pelas diferentes composições granulométricas (fator forma e granulometria)	136
Figura 58: Intervalos de confiança das médias do coeficiente de permeabilidade pelos mesmos traços (T1) de diferentes composições granulométricas	136
Figura 59: Intervalos de confiança das médias do coeficiente de permeabilidade pelos mesmos traços (T2) de diferentes composições granulométricas	137
Figura 60: Intervalos de confiança das médias do coeficiente de permeabilidade pelos mesmos traços (T3) de diferentes composições granulométricas	137
Figura 61: Intervalos de confiança das médias do coeficiente de permeabilidade pelos mesmos traços (T1) nas diferentes alturas do substrato (inferior, médio, superior)	139
Figura 62: Intervalos de confiança das médias do coeficiente de permeabilidade pelos mesmos traços traços (T2) nas diferentes alturas do substrato (inferior, médio, superior)	139
Figura 63: Intervalos de confiança das médias do coeficiente de permeabilidade pelos mesmos traços (T3) nas diferentes alturas do substrato (inferior, médio, superior)	140
Figura 64: Relação entre os valores médios de resistência de aderência e coeficiente médio de permeabilidade dos traços executados	141

## LISTA DE SIGLAS

ABCP: Associação Brasileira de Cimento Portland

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANOVA: Análise de variância

APR: Areia do rio Paraná

Ar: Arredondamento

ASTM: *American Society for Testing and Materials*

CG: composição granulométrica

CG-APR: Composição granulométrica de areia do rio Paraná

CG-VSI: Composição granulométrica de britagem do sistema VSI

CG-CONV: Composição granulométrica de britagem do sistema de britagem de impacto (convencional)

Es: Esfericidade

F: Forma

LAMTAC: Laboratório de materiais e do ambiente construído

LTCI: Laboratório de Tecnologia do Concreto da Usina Hidrelétrica de Itaipu Binacional

NBR: Norma Brasileira Regulamentada

NM: Asociación Mercosur de Normalización

NORIE: Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação

PPGCI: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura

PR: Paraná

RS: Rio Grande do Sul

SANEPAR: Companhia de Saneamento do Paraná

T1 APR: Traço 1:1:4 com areia do rio Paraná

T2 APR: Traço 1:1:6 com areia do rio Paraná

T3 APR: Traço 1:1:8 com areia do rio Paraná

T1 VSI: Traço 1:1:4 com areia de britagem VSI

T2 VSI: Traço 1:1:6 com areia de britagem VSI

T3 VSI: Traço 1:1:8 com areia de britagem VSI

T1 CONV: Traço 1:1:4 com areia de britagem convencional

T2 CONV: Traço 1:1:6 com areia de britagem convencional

T3 CONV: Traço 1:1:8 com areia de britagem convencional

T1 VSI 1: Traço 1:1:4 com areia de britagem VSI corrigida com APR

T2 VSI 1: Traço 1:1:6 com areia de britagem VSI corrigida com APR

T3 VSI 1: Traço 1:1:8 com areia de britagem VSI corrigida com APR

T1 CONV 1: Traço 1:1:4 com areia de britagem convencional corrigida com APR

T2 CONV 1: Traço 1:1:6 com areia de britagem convencional corrigida com APR

T3 CONV 1: Traço 1:1:8 com areia de britagem convencional corrigida com APR

UFRGS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul

VSI: *Vertical shaft impactor*

## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA DE PESQUISA

Os revestimentos em argamassa vêm sendo estudados há muito tempo, sendo que muitos autores já levantaram diversos fatores que influenciam na sua qualidade tanto no estado fresco quanto no estado endurecido podendo citar os trabalhos de Banfill (1994), Banfill (1999), Austin, Robins e Boodier (1999), Bauer *et al.* (2007), Recena (2012). Um exemplo disso são os questionamentos que, em meados dos anos 90, Cincotto, Silva e Cascudo (1995) discutiam a respeito das dificuldades em se determinar parâmetros como referências de qualidade, tais como caracterização de materiais e de quais propriedades que as argamassas de revestimento devem atender para atingir a qualidade requerida.

Como forma de explicação para esses fatos, pode-se dizer que os principais problemas encontram-se na falta de treinamento da mão de obra, utilização de equipamentos inadequados, falta de critérios e especificações na dosagem das argamassas e falhas na escolha dos materiais constituintes (CARASEK, 1996; BAUER, 2005; COSTA, 2005). Efetivamente, estes fatores comprometem a qualidade final do revestimento e, aliado a isso, o método de execução compromete a vida útil, de uma maneira geral o subsistema vedação.

Para elucidar esta situação, vê-se que os revestimentos em argamassas ainda são produzidos e executados de maneira artesanal, onde se verificam que os procedimentos básicos são: o recebimento das matérias-primas *in natura* no canteiro de obras (cimento portland, cal hidratada, areia e aditivos), a dosagem e mistura da argamassa em betoneiras ou em masseira, o transporte horizontal (com carrinhos de mão, gericas, ou baldes) e vertical (com roldanas, guinchos ou guias) e lançamento manual por pedreiros (chapisco, emboço e reboco). Tais procedimentos vêm sendo aplicados há décadas e é notável que sejam gargalos nos cronogramas de construção

de edificações, proporcionando incertezas, tanto no quesito do cumprimento do planejamento da obra, como no desempenho quanto à vida útil do revestimento.

Algumas pesquisas já foram realizadas com a intenção em proporcionar melhorias no processo produtivo, sendo uma delas a de Costa (2005), onde a autora identificou as causas do baixo desempenho de revestimentos de fachadas além de propor melhorias de processos. Verificou, no âmbito da sua pesquisa, que nenhuma empresa investigada apresentou desempenho satisfatório, principalmente no que tange às espessuras de revestimentos, variabilidade nos traços utilizados durante a confecção das argamassas, variabilidade nos métodos de produção dentro da mesma obra, elevadas perdas de mão-de-obra e de materiais, baixa produtividade e problemas na forma de movimentação e armazenamento de materiais, além de manifestações patológicas nos revestimentos. De uma forma geral, apresenta como principal constatação a necessidade de mudança organizacional através de uma integração entre os diferentes processos sendo primordial o planejamento do canteiro de obras.

Percebe-se que as empresas construtoras vêm procurando se aperfeiçoar com a implantação de sistemas de qualidade e produtividade. Mas, verifica-se, também, que alguns processos produtivos ainda são vulneráveis quando se trata de melhorias de produtividades e desempenho.

Na tentativa de melhorar a produtividade na produção de revestimentos em argamassa, surgem no mercado brasileiro tecnologias de projeção mecânica de argamassa que trazem conceitos de industrialização para a execução desse processo. São ofertados vários tipos de equipamentos tanto importados como de fabricação nacional, além de diversos tipos de argamassas industrializadas ensacadas ou fornecidas a granel (isto é, instalação de silos nas obras).

Percebe-se que o sistema de projeção de argamassa apresenta algumas inconformidades quanto à sua eficiência, de modo que se ocorrer uma mudança no comportamento reológico da argamassa o sistema de projeção fica comprometido. Este fato pode ocorrer desde a adição de menos água ou até excesso de água de mistura, bem como excesso de tempo de mistura e variações na morfologia do agregado miúdo quando na formulação. Neste contexto, o tema de pesquisa elencado é o de investigar o que interfere no comportamento do sistema de projeção de argamassa quanto aos materiais constituintes, principalmente, o agregado miúdo.

Nesse último quesito, existem pesquisas acerca da influência da morfologia do agregado miúdo nas propriedades das argamassas de um modo geral. Pode-se citar o

estudo realizado por Tristão (1995) o qual verificou que o módulo de finura é um parâmetro muito utilizado para determinar a granulometria das areias, porém não é suficiente para identificar a influência desta nas propriedades das argamassas. Para tanto, o autor mostra que uma análise conjunta entre coeficiente de uniformidade e o módulo de finura permite uma melhor visualização da variação das propriedades das argamassas.

Já o estudo de Araújo (2001) verificou os parâmetros texturais das areias para argamassas de revestimento através da análise de imagens, visando apresentar uma correlação entre esta variável e sua influência nas propriedades das argamassas. Neste sentido, a autora afirma que o método de análise por imagens é mais eficiente que os métodos de peneiramento, pois ocorreram grandes variações nos valores médios das dimensões dos grãos em relação às malhas das frações das peneiras influenciando assim nos resultados das áreas específicas das areias analisadas em sua pesquisa.

Tristão (2005) apresentou a influência dos parâmetros texturais de areias nas propriedades das argamassas. Ele verificou que areias com diferentes composições granulométricas conduzem a diferentes volumes de vazios e que os parâmetros texturais exercem grande influência no índice de vazios. Dessa forma, quanto maior a esfericidade, arredondamento e fator forma dos grãos, menores os índices de vazios das areias. Pôde mostrar ainda que, as propriedades das argamassas no estado fresco variam em função dos parâmetros texturais do agregado miúdo, concluindo que quanto mais esféricos e arredondados e menos rugosa sua superfície, menor será o consumo de pasta de cimento nas argamassas (TRISTÃO, 2005).

Outro exemplo disso foi o estudo que Arnold (2011) realizou analisando a influência da forma dos grãos e do teor de filer de areias de britagem nas propriedades das argamassas. A autora relata que observou diferentes comportamentos nas argamassas produzidas com este tipo de areia, tais como: perda da trabalhabilidade, redução da densidade de massa, redução das resistências à compressão e tração na flexão, além da diminuição do módulo de elasticidade dinâmico e aumento da absorção de água.

E, por outro lado, diversos são os trabalhos relacionados à avaliação morfológica através de análise por imagens dos agregados miúdos e graúdos, tanto para concretos como argamassas, sendo alguns deles (CARR, MISRA e LITCHFIELD, 1992; HYSLIP e VALLEJO, 1997; MORA, KWAN e CHAN, 1998; AKBULUT, 2002;

LEE, SMITH e SMITH, 2007; ARASAN, HASILOGLU e AKBULUT, 2010; GOLDONI, *et al.*, 2015; HAFID, OVARLEZ, *et al.*, 2016; TIERRIE, BAAJ e DARMEDRU, 2016), dentre outros.

## 1.2 JUSTIFICATIVA DO TEMA

No âmbito das argamassas de projeção percebe-se poucas pesquisas que determinam o que realmente influencia no comportamento reológico, tais como traço, tipos de aglomerantes, variação do consumo de água de amassamento e, principalmente, no que se refere às características dos agregados miúdos (composição granulométrica e parâmetros texturais).

Nesse sentido, pode-se citar o trabalho de Goodier (2000) que estudou o processo de projeção de micro concreto e argamassa de reparos, enfatizando o agregado miúdo, além de compreender o que influencia no processo de bombeamento/projetabilidade. O autor concluiu, dentre outros fatores, que a granulometria do agregado, assim como a proporção, afetam a taxa de fluxo da argamassa. Quanto mais fino for o agregado, maior será o teor de água para obter uma trabalhabilidade que resulta num fluxo de projeção adequada.

Santos (2003) buscou apresentar alguns critérios de projetabilidade de argamassas industrializadas de revestimento. Neste sentido, a autora mostra que a bombeabilidade das argamassas é uma característica definida pelas propriedades reológicas, o que determina a sua consistência. Por outro lado, tais propriedades dependem das características dos aglomerantes, quantidade de ar incorporado e das características granulométricas do agregado miúdo.

Por outro lado Zanelatto (2012) avaliou a influência da técnica de execução no comportamento dos revestimentos de argamassas de projeção. Verificou que, apesar da técnica conseguir um incremento significativo na resistência à aderência ao substrato em comparação ao executado convencionalmente, o teor de água das argamassas, condições de umidade dos substratos, tempo de demãos e as técnicas de acabamento, podem influenciar significativamente no comportamento dos revestimentos no estado endurecido, podendo diminuir ou até aumentar a resistência à aderência.

Segundo Cechin, Stolz e Masuero (2018) o sistema de projeção de argamassa pode ser afetado pelo processo de mistura e bombeamento, tipos de equipamentos (bomba

e misturador), velocidade de rotação e tempo de mistura. Em consequência disso, o autor afirma que tais variáveis afetam significativamente as propriedades das argamassas nos estados fresco e endurecido.

Neste contexto, pretende-se contribuir para o entendimento dos parâmetros de projetabilidade de argamassas de revestimento, buscando enfatizar a influência dos parâmetros de forma do agregado na formulação deste tipo de material.

## 1.3 OBJETIVOS

### 1.3.1 Objetivo principal

O objetivo principal deste trabalho é o de determinar parâmetros de projetabilidade através da análise do fator forma do agregado miúdo e de comportamento reológico para a formulação de argamassas de revestimentos.

### 1.3.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos desta pesquisa consistem em:

- a) verificar a influência do fator forma e da granulometria do agregado no comportamento reológico em dosagens de argamassas projetáveis;
- b) verificar a aplicabilidade das faixas granulométricas, fator forma e parâmetros de comportamento reológicos na formulação de argamassas projetáveis;
- c) verificar as propriedades nos estados fresco e endurecido das argamassas de projeção formuladas e verificar a influência dos parâmetros especificados nos resultados.

## 1.4 HIPÓTESE

Os parâmetros de forma, densidade de massa, ar incorporado e viscosidade aparente influenciam diretamente na reologia das argamassas de projeção. Sendo assim, como hipótese tem-se é possível determinar parâmetros limites para o proporcionamento de argamassas de projeção.

## 1.5 LIMITAÇÃO

As limitações desta pesquisa são:

a) a produção das argamassas de projeção foram realizadas em laboratório mantendo-se constantes as quantidade de aglomerantes (cimento e cal hidratada de mesmo tipo e fabricantes) e mesmas porcentagens de aditivos incorporador de ar e retentor de água;

b) o substrato de aderência escolhido para os testes de projeção foi paredes constituídas de blocos de concreto de um único fabricante sem a aplicação de chapisco.

## 1.6 ESTRUTURA DA PESQUISA

Este trabalho está dividido em seis capítulos. A introdução apresenta um panorama geral e contextualização da pesquisa, direcionando o tema, os objetivos e a hipótese.

No capítulo 2 discute-se a influência do agregado miúdo (areia) no comportamento reológico e propriedades das argamassas, norteando os estudos sobre a morfologia deste material e os métodos de caracterização reológica de argamassas utilizadas nesta pesquisa.

Já no capítulo 3 apresenta-se o programa experimental, o qual define as variáveis da pesquisa e mostra os materiais e os métodos para execução das fases da pesquisa.

No do capítulo 4, apresentam-se os resultados e discussões. E, por fim, o capítulo 5 refere-se às considerações finais do trabalho, as conclusões e sugestão para trabalhos futuros.

## **2 A INFLUÊNCIA DO AGREGADO MIÚDO NO COMPORTAMENTO REOLÓGICO DAS ARGAMASSAS**

Os agregados são materiais naturais, ou são fabricados, numa ampla variedade de formatos e tamanhos. Agregados produzidos em pedreiras são geralmente derivadas de pedras britadas e podem apresentar grãos angulares. Já os agregados que são tipicamente arredondados são oriundos de leitos de rios. As propriedades morfológicas dos agregados podem ser descritas em diferentes escalas de comprimento, em termos de forma (em grande escala), angularidade (escala intermediária), e rugosidade ou textura (pequena escala) (BARRETT, 1980).

No que diz respeito aos diferentes tipos de britadores, pode-se citar, por exemplo, o britador de impacto de eixo vertical (VSI), britador de impacto de eixo horizontal, o britador de cone e britador de mandíbula. Tais britadores são utilizados para produção de agregados. Agregados de diferentes trituradores podem ter diferentes características de forma. Além disso, sequências de trituradores também podem influenciar a morfologia dos agregados (RAJAN, SINGH, 2017).

Os agregados têm uma influência significativa sobre as propriedades reológicas e mecânicas de argamassas e concretos. Sua densidade, distribuição granulométrica das partículas, forma e textura da superfície influenciam decisivamente em tais propriedades. Ademais, a composição, a dureza, o módulo de elasticidade, mineralogia e grau de alteração de agregados podem afetar diretamente a qualidade destes produtos no estado endurecido (NEVILLE, 1996).

Nesse sentido, como forma de nortear a caracterização das argamassas no estado fresco, vê-se a necessidade de apresentar a influência do agregado miúdo no comportamento reológico.

Assim, no decorrer deste capítulo abordam-se aspectos relacionados aos agregados miúdos, tais como: características do agregado miúdo, granulometria, superfície

específica, textura e morfologia, além de modelos de avaliação por imagem dos grãos da areia, como forma de quantificação de tais parâmetros.

## 2.1 INFLUÊNCIA DAS CARACTERÍSTICAS DO AGREGADO MIÚDO NO COMPORTAMENTO REOLÓGICO DAS ARGAMASSAS

De uma forma geral, Recena (2012) classifica as argamassas quanto à granulometria do agregado, sendo que podem ser finas, médias e grossas. O autor comenta que as argamassas eram trabalhadas em revestimentos de paredes através de duas formas: emboços produzidos com areias mais grossas e reboco contendo areia fina. Desse modo, o revestimento era composto de duas camadas e executadas em duas operações: emboço e reboco. Porém, como o passar do tempo, o revestimento passou a ser executado com apenas uma camada, empregando-se uma areia com granulometria mais contínua, o que garantia um acabamento compatível com o revestimento final da parede.

A NBR NM 248 (ABNT, 2001) determina os métodos de ensaio para a caracterização granulométrica das areias para concretos, a qual consiste na utilização de uma série de peneiras (normal e intermediárias) que variam de 4,8 mm à 0,15 mm de diâmetro de malha. Tristão (2005) relata que a determinação da composição granulométrica por peneiramento resulta nas porcentagens em massa dos grãos retidos ou passantes nas peneiras.

Nas argamassas, o agregado é parte integrante e influencia diretamente nas propriedades, a saber: retração, resistência mecânica, módulo de deformação, dentre outras. Desse modo, este constituinte importante dos sistemas de revestimentos argamassados podem ser considerados como "esqueleto" (BAUER, 2005).

O agregado miúdo não participa nas reações químicas de endurecimento advindas da pasta de cimento, porém a composição granulométrica e o formato dos grãos interferem nas propriedades das argamassas, como por exemplo, na trabalhabilidade, na retenção de água e, também, nas propriedades no estado endurecido, como nas resistências mecânicas, capacidade de absorver deformações e na permeabilidade (CARNEIRO e CINCOTTO, 1999).

A granulometria das areias tem influência na dosagem das argamassas o que determina as proporções de aglomerantes e água da mistura. De um modo geral, quando existe deficiência na curva granulométrica ou excesso de finos nas

argamassas, ocorre maior consumo de água de amassamento. Tais fatores podem afetar a resistência mecânica e causar o aparecimento de fissuras advindas da retração por secagem na argamassa (ABCP, S/D).

Além disso, o aumento da quantidade de fração mais fina da areia na produção de argamassas, ocorre a diminuição dos poros capilares, logo diminui-se a capacidade de sucção do substrato de aderência. Ao contrário, frações mais grossas proporcionam argamassas com maior quantidade de poros ativos cedendo maior quantidade de água para o substrato (CARASEK, 1996).

O Manual de Revestimentos de Argamassa (ABCP, S/D) sugere um quadro comparativo entre as propriedades das argamassas e as características granulométricas do agregado miúdo apresentado a seguir:

Tabela 1: Quadro comparativo entre propriedades e características granulométricas da areia. Adaptado de ABCP (S/D)

Propriedade	Quanto mais fino	Quanto mais descontinua for a granulometria	Quanto maior o teor de grãos angulosos
Trabalhabilidade	Melhor	Pior	Pior
Retenção de água	Melhor	-	Melhor
Retração na secagem	Aumenta	Aumenta	-
Porosidade	-	Aumenta	-
Aderência	Pior	Pior	Melhor
Resistência mecânica	-	Pior	-
Impermeabilidade	Pior	Pior	-

A distribuição granulométrica do agregado miúdo pode ser avaliada através do conceito de uniformidade, o qual é expresso por um coeficiente C. Para o cálculo desse parâmetro, deve-se considerar a relação entre os diâmetros correspondentes a 60% e 10% passantes sendo tomados na curva granulométrica e determinado conforme a equação 6 (VARGAS, 1978):

$$C = d_{60}/d_{10}$$

Equação 1

Esta relação indica que quando as areias são muito uniformes apresentam  $C < 5$ , areais com uniformidade média  $5 < C < 15$  e quando são desuniformes  $C > 15$  (CAPUTO, 1996).

Porém, este parâmetro não é suficiente para caracterizar a granulometria de uma areia, pois dois materiais com diferentes granulometrias podem apresentar um mesmo coeficiente de uniformidade. Dessa forma, deve-se associar este coeficiente com a

continuidade da curva granulométrica, inferindo-se que quanto maior o coeficiente de uniformidade maior será a continuidade da curva em análise (CARNEIRO e CINCOTTO, 1999).

Ao analisar a influência do agregado miúdo nas argamassas de revestimento, Tristão (1995) afirma que ensaios realizados em argamassas nos traços 1:1:6 e 1:2:9 com diferentes curvas granulométricas e origens de areias, constatou-se uma correlação entre o volume de vazios e os coeficientes de uniformidade das mesmas. Tal correlação mostra que areias classificadas como de uniformidade média ou desuniforme apresentam menores volumes de vazios do que aquelas classificadas como muito uniformes. Afirma ainda que, quanto maior o volume de vazios da areia, maior o consumo de aglomerantes e de água de amassamento, assim como a relação água/materiais secos com volume de vazios das areias. E aquelas areias muito uniformes também produzem argamassas com maior consumo de aglomerantes e água de amassamento.

Para Stolz e Masuero (2018) agregados com granulometrias uniformes não apresentam bom desempenho quanto ao fluxo de argamassas de revestimento. Além disso, a quantidade de materiais finos presentes influenciam na viscosidade das argamassas.

Por outro lado, Vasco, Costa e Silva (2009) mostraram a influência da granulometria das areias em argamassas industrializadas para revestimentos através de ensaios de *squeeze flow*. Verificaram que aquelas argamassas que continham granulometrias uniformes apresentaram, possivelmente, falta de pasta na mistura provocando o embricamento das partículas sólidas logo no início do ensaio, pois as amostras logo atingiram o deslocamento máximo previsto para o ensaio de *squeeze*. Além disso, esse fato reflete no empacotamento, na densidade da mistura e no seu comportamento reológico de maneira geral.

Fialho *et al.* (2012) corroboram ao afirmar que na distribuição granulométrica o coeficiente de uniformidade e o módulo de finura não consideram o fator forma dos grãos do agregado miúdo, refletindo diretamente no empacotamento das partículas que compõem a argamassa.

Já Tristão (2005) salienta que em areias de diferentes composições granulométricas, as mesmas apresentam diferentes valores de índice de vazios. Além disso, os parâmetros texturais exercem forte influência neste índice, sendo mais intenso do que na distribuição granulométrica.

Por outro lado, a esfericidade e arredondamento revelam aspectos da história de formação das partículas e desempenham um papel importante na determinação do comportamento em massa do agregado. Formas irregulares limitam a mobilidade das partículas e sua capacidade para atingir o mínimo de energia potencial para atingir o empacotamento desejado. Como resultado, o índice de vazios máximo ( $e_{max}$ ), o índice de vazios mínimo ( $e_{min}$ ) e a diferença  $I_e = e_{max} - e_{min}$ , aumenta na medida que as partículas se tornam mais angulares e irregulares (CORTES et. al, 2008).

Outro ponto importante citado por Tristão (2005) é que a distribuição granulométrica representada pelo coeficiente de uniformidade correlaciona-se com o volume de vazios das areias. Considera que areias muito uniformes apresentam menor compactidade, comparadas com àquelas desuniformes que apresentam maiores coeficientes de uniformidade e menor volume de vazios.

Por outro lado, Lu et al. (2008) estudou o efeito da diferença do tamanho dos agregados nas argamassas. Concluíram que argamassas produzidas com agregados maiores possuíam melhor trabalhabilidade. Já aquelas com agregados menores resultaram em uma maior tensão de escoamento e viscosidade. Desse modo, quando se diminui o diâmetro máximo do agregado, geralmente, aumenta a demanda de água de amassamento de argamassas e concretos (METHA e MONTEIRO, 2014).

Além disso, percebe-se a influência dos aditivos na granulometria das areias, podendo ser decisiva na formulação de argamassas. Nesse sentido, em um estudo realizado por Romano *et al.* (2015) em que abordaram a avaliação associada ao impacto da distribuição granulométrica e ar incorporado nas propriedades no estado fresco e endurecido das argamassas, revelou que as argamassas estudadas sem aditivo incorporador de ar e com dimensão de agregados maiores apresentaram maiores dificuldades para serem misturadas, gerando maior porosidade e dificuldade no empacotamento.

Num outro momento do estudo, quando analisado argamassas com adição destes aditivos, observou-se que ocorreu um comportamento diferenciado diminuindo a energia de mistura. Desse modo, os autores concluem que o uso de aditivos incorporadores de ar diminuem a energia de mistura devido ao distanciamento entre os agregados causado pelas bolhas de ar. Nesse sentido, a utilização desses aditivos é muito favorável, à medida que reduz o impacto de eventuais falhas ou variações na granulometria dos agregados durante a produção de argamassas. Assim, a distribuição da dimensão do agregado e do ar incorporado afeta os níveis de torque

durante a mistura e, conseqüentemente, a energia para o processamento da argamassa (ROMANO *et. al.*, 2015).

No que tange aos revestimentos executados com projeção mecânica através de bomba com eixo helicoidal, Santos (2003) apresenta a influência da distribuição das partículas finas na bombeabilidade das argamassas. A autora afirma que quanto mais uniforme for o agregado, maior será a massa unitária, diminuindo assim o volume de vazios. Afirma ainda que, esta propriedade proporciona menores resultados de tensão de escoamento e de teor de ar incorporado, aumentando a fluidez das argamassas.

## 2.2 INFLUÊNCIA DA FINURA DO AGREGADO NO COMPORTAMENTO REOLÓGICO DAS ARGAMASSAS

Muito se tem estudado a respeito da influência da finura dos agregados no comportamento e propriedades de argamassas e concreto. Um desses estudos datam do final década de 60, onde Wills (1967) avaliou o efeito da forma das partículas finas e grossas dos agregados na demanda de água em concretos. O autor constatou que a forma do agregado fino tem impacto significativo na demanda de água em comparação ao grosso. Hewlett (1998) afirma que a distribuição do agregado fino tem maior influência nas propriedades do concreto do que o do agregado grosso. Dessa forma, a escolha do tipo de agregado fino mais adequado para uma determinada aplicação é de grande importância à medida crescem exigências das propriedades da argamassa e concretos (GONÇALVES *et al.*, 2007).

Levando-se em consideração o teor de finos do agregado, o consumo de água de amassamento das argamassas aumenta em função do aumento desse teor, o que inclui a parcela do aglomerante (TRISTÃO, 1995; WESTERHOLM, *et al.*, 2008).

Já, considerando o comportamento reológico das argamassas produzidas com areias naturais e de britagem, os agregados finos exercem forte influência, principalmente, na demanda de água. Westerholm *et al.* (2008) concluíram que em argamassas produzidas com areias de britagem geram maiores tensões de escoamento e viscosidade plástica que nas argamassas produzidas com areia natural. Esse fato pode ser resultado da maior quantidade de finos e da forma mais irregular apresentada pelas partículas.

Além disso, Cepuritis *et al.* (2014) afirmam que a porosidade da superfície dos grãos da fração fina de agregados naturais e de britagem absorvem água de amassamento podendo alterar comportamento reológico da argamassa.

Isso foi constatado por Banfill (1999) e Michel e Courard (2014) mostrando que o aumento da demanda de água depende das propriedades da fração fina do agregado influenciando no comportamento reológico das argamassas, sendo que está relacionada com as variações da superfície específica dessas frações. Assim, de acordo com Banfill (1994), aumentando-se a finura do agregado resulta, principalmente, no aumento na tensão de escoamento e da viscosidade plástica da argamassa.

Além disso, os finos dos agregados exercem significativa influência nas propriedades das argamassas, tanto no estado fresco como no estado endurecido, sendo que a superfície específica é um dos principais parâmetros utilizados para mensurar a qualidade dos agregados miúdos (CEPURITIS *et al.*, 2017).

Como forma de exemplificar isso, Zhang *et al.* (2013), mostra que a retração na secagem de argamassas e concretos aumentam proporcionalmente com o aumento da superfície específica dos agregados. Neste sentido, os autores relatam que a retração aumenta gradativamente quando se aumenta a quantidade de água de amassamento necessária para envolver todos os grãos de agregados.

Para Westerholm *et al.* (2008) esse aumento da relação água/cimento pode ser explicada em termos de atrito entre as partículas. Em agregados com baixos teores de finos, não há partículas suficientes para preencher os espaços vazios entre as maiores, resultando assim um elevado atrito interno e, por conseguinte, alta viscosidade. Por outro lado, a medida que o teor de finos aumenta, diminui-se o atrito interno entre as partículas maiores, consequentemente, se reduz a viscosidade. Quando se aumenta ainda mais o teor de finos, a viscosidade plástica também aumenta devido ao incremento da área específica total dos agregados finos. Nesse sentido pode-se traçar um paralelo com o conceito de empacotamento das partículas, que pode ser maximizado, segundo Cardoso (2009), através da correta seleção dos diâmetros dos grãos fazendo com que os espaços vazios sejam devidamente preenchidos com partículas de menores tamanhos.

Gonçalves *et al.* (2007) realizaram a comparação entre areias naturais e de britagem na produção de argamassas e constataram que as características das argamassas, tais como resistência à compressão e capacidade de absorção, consideradas pelo

autor como sendo propriedades secundárias ou dependentes, são regidas pela densidade de enchimento ou empacotamento da mistura.

Cortes *et al.* (2008) sugerem que a morfologia do agregado pode variar significativamente, alterando, assim, as condições de empacotamento das partículas. Isso foi constatado quando os autores avaliaram as areias de rio (grãos esféricos) e areias de britagem (grãos irregulares) apontando que quanto menos esféricas forem as partículas menor será o empacotamento de uma distribuição granulométrica. Logo, Hafid *et al.* (2016) afirmam que as propriedades de empacotamento entre as partículas demonstram que é o parâmetro morfológico dominante no comportamento reológico.

Por outro lado, como forma de interferir no comportamento reológico das argamassas compostas de agregados finos e mal graduadas seria o aumento do volume de pasta. Esse fato diminui o atrito interno entre as partículas (WESTERHOLM, *et al.*, 2008), separando uma das outras, ocorrendo assim, a lubrificação das mesmas. Os autores afirmam ainda que, para reduzir a tensão de escoamento e a viscosidade plástica que, nesse caso, é resultante de elevadas quantidades de finos, pode-se utilizar aditivos que alteram o comportamento reológico, como por exemplo, superplastificantes.

Nesse âmbito, Cardoso (2009) relata que em materiais como concreto e argamassas, os agregados influenciam decisivamente no comportamento reológico, podendo ser explicado através da distância de separação das partículas. Afirma ainda que o fluido que separa as mesmas é a pasta, sendo que a distância média entre elas é determinada através de parâmetros de espessura máxima da pasta, a qual pode ser visualizada esquematicamente através da figura 1, a seguir, e calculada através da Equação 7 MPT (*Maximum Paste Thickness*) (HU e LARRARD, 1995).

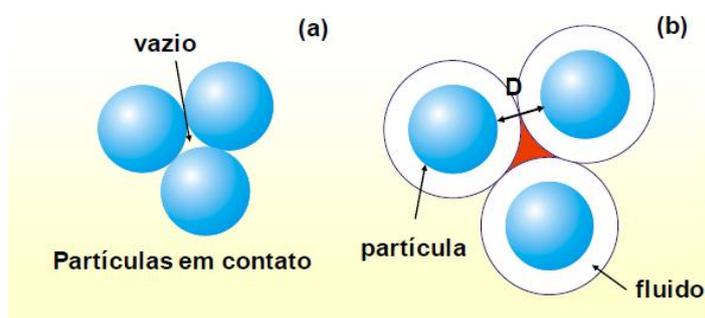


Figura 1: (a) Partículas em contato; (b) Partículas separadas por uma distância D em decorrência da adição de fluido que suficientemente recobre a superfície e preenche os vazios deixados pelo empacotamento, afastando-as (PILEGGI, 2001).

$$MPT = \frac{2}{VSA_g} \times \left[ \frac{1}{V_{sg}} - \left( \frac{1}{1 - P_{ofg}} \right) \right] \quad \text{Equação 2}$$

Onde:  $VSA_g$  = superfície volumétrica das partículas grossas ( $m^2/cm^3$ );  $V_{sg}$  = fração volumétrica das partículas grossas no sistema;  $P_{\alpha g}$  = porosidade da distribuição das partículas grossas no concreto ou argamassa.

Formulações de argamassas e concretos que contenham elevado empacotamento, apresentam baixa fluidez em virtude de altos teores de agregados. Porém, se os agregados apresentarem bom empacotamento, a formulação apresentará baixa porosidade e, considerando a equação anterior, maiores valores de MPT, visto que menor será a quantidade de pasta necessária para preencher os vazios entre os agregados e, também, em quantidade suficiente para afastá-los (CARDOSO, 2009).

Nesse mesmo sentido, na busca de entender o comportamento reológico de argamassas levando em consideração as partículas dos agregados, Lu *et al.* (2008) desenvolveram um modelo que busca identificar os principais aspectos que explicam como as argamassas com alta fluidez se comportam.

Para tanto, os autores avaliam a tensão de cisalhamento da argamassa com base na combinação do mecanismo de colisão das partículas dos agregados, mecânica dos fluidos, excesso de pasta, dentre outras, partindo do pressuposto de que, assim como o concreto, a argamassa é considerada como um compósito que consiste em duas fases distintas, sendo um grupo de partículas rígidas de grande diâmetro dispersos em uma matriz fluida (argamassa ou pasta) (LU *et al.*, 2008).

Como forma de ilustrar essas duas fases, apresenta-se a figura 2, onde em uma unidade de volume de argamassa que é composta de partículas de agregado de forma irregular recoberta por uma pasta de cimento fluido. A área sombreada no plano  $z$  representa as partículas do agregado e a área não sombreada é a pasta de cimento (LU *et al.*, 2008).

Assim, para investigar o efeito do teor de agregado no comportamento reológico, produziram-se argamassas com porcentagens diferentes de frações de agregados. Desse modo, quando o teor de agregado aumenta, tanto o limite de elasticidade aparente quanto a viscosidade da argamassa aumenta. Isto pode ter sido provocado por um maior grau de atrito interno e colisão de partículas sólidas, o que aumenta a tensão de cisalhamento e viscosidade da argamassa, afetando o seu fluxo devido ao aumento de partículas menores (LU *et al.*, 2008).

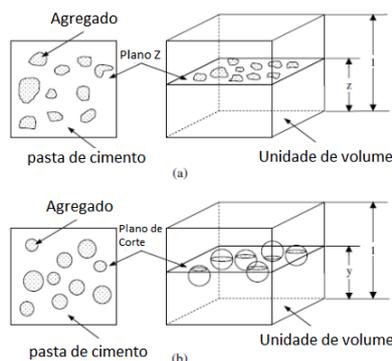


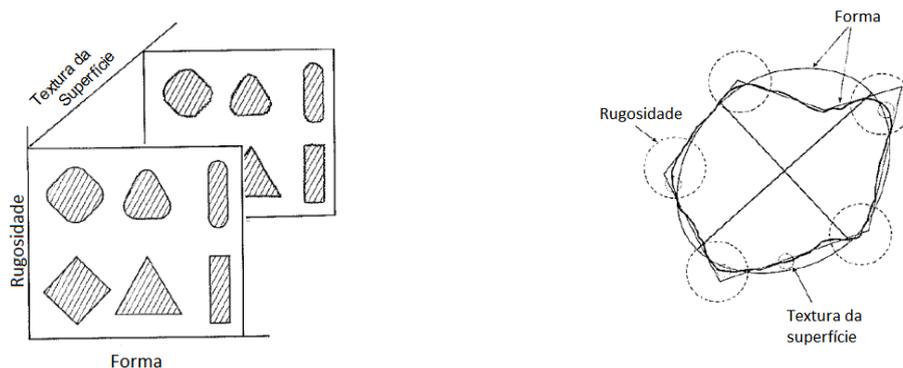
Figura 2: Representação de um plano de corte das partículas de agregado (a) e após a simplificação (b) (LU *et al.*, 2008).

Avaliando o efeito das características das partículas finas nas propriedades das argamassas, Kabagire *et al.* (2017) mostram que as características das partículas (forma, dimensão, distribuição e rugosidade) são decisivas no comportamento reológico. Os resultados dos ensaios realizados pelos autores revelam que valores mais altos de viscosidade é devido a maior influência da forma e distribuição granulométrica do agregado, refletindo em maiores tensões de escoamento.

### 2.3 FORMA E TEXTURA DO AGREGADO MIÚDO

Além da distribuição granulométrica dos agregados, a forma e textura dos grãos das areias é de grande importância para produção de argamassas para revestimentos internos e externos. A habilidade em caracterizar os agregados utilizados em diversos produtos (concreto, argamassas e asfaltos) com respeito ao tamanho, forma e textura da superfície trazem melhores resultados na gestão dos recursos e aumento da vida útil desses produtos (FERNLUND, 2005).

Forma, rugosidade e textura da superfície são propriedades essencialmente independentes sendo que a forma pode variar amplamente sem afetar as outras propriedades. A primeira reflete nas proporções das partículas. Já a segunda reflete as variações nos cantos, isto é, variações sobrepostas em forma. E por fim, a terceira propriedade é usada para descrever a irregularidade da superfície. Na figura 3 a seguir, apresentam-se esquematicamente a representação da forma, rugosidade e textura da superfície em uma linha tridimensional (BARRETT, 1980):



a) Representação da forma, rugosidade e textura de superfície por três linhas dimensionais para ilustrar suas independências.

b) Perfil da partícula (linha sólida mais forte) com seus componentes de forma (linhas finas, duas linhas aproximadas), rugosidade (angularidade - círculos tracejados) e textura (círculos pontilhados) (BARRETT, 1980)

Figura 3: representação da forma, rugosidade e textura da superfície em uma linha tridimensional (BARRETT, 1980)

Já Fernlund (2005) e Bentz *et al.* (2012) garante que a forma é importante para a adequação do agregado com relação ao seu uso nos diversos materiais de engenharia. As partículas alongadas, comparadas com as partículas cúbicas, têm a tendência de se quebrar ao longo do seu eixo longitudinal. E partículas esféricas resultam em bons resultados reológicos comparado com partículas lamelares que afetam esta propriedade de pastas de concretos e argamassas. Por outro lado, partículas com superfícies ásperas, comparadas com aquelas com superfícies lisas, apresentam melhores aderências em asfaltos e concretos.

Neste sentido, Ferraris e Martys (2003) relataram que a concentração em volume do agregado influencia principalmente a viscosidade plástica relativa, apesar de outros fatores, tais como a forma, também desempenhar um papel importante.

Para Metha e Monteiro (2014), a forma e textura superficial dos agregados são mais decisivos nas propriedades do concreto nos estados fresco e endurecido. As partículas mais lisas e arredondadas necessitam de menos pasta de cimento para produzir concretos trabalháveis devido à baixa área específica volumétrica, ao contrário daquelas partículas com textura áspera de formas angulosas e alongadas.

Os autores afirmam ainda que a forma se refere às características geométricas, como arredondadas, angulosas, alongadas, ou achatadas. Os agregados formados por atrito geram partículas arredondadas, que são os casos de areias naturais de depósitos eólicos ou de rios. Por outro lado, areias artificiais, oriundas de britagem, apresentam vértices e arestas bem definidos, sendo consideradas como angulosas, achatados e alongados (METHA e MONTEIRO, 2014).

Já a classificação de textura superficial, define-se pelo grau com que a superfície é lisa ou áspera, sendo realizada visualmente. Esta classificação depende fundamentalmente da dureza, tamanho do grão, porosidade da rocha matriz e a exposição do agregado às forças de atrito (METHA e MONTEIRO, 2014). Já a NBR 7389 (ABNT, 2009) classifica a textura superficial dos agregados como sendo polidos, foscos ou rugosos. Esta avaliação se dá através de análise visual de amostras coletadas.

Neste sentido, Arnold (2011) avaliou a influência da forma dos grãos das areias naturais e de britagem quanto às propriedades das argamassas. Quanto à forma dos grãos, a autora afirma que as areias naturais, no âmbito da sua pesquisa, apresentam alto grau de esfericidade, enquanto que as areias de britagem são de baixo grau. A análise qualitativa da autora vai ao encontro à análise quantitativa, afirmando que as areias naturais apresentaram melhor arredondamento e uma melhor esfericidade quando comparadas com as demais areias, revelando assim, que as mesmas são mais circulares. Assim, a autora, conclui que a forma dos grãos influencia diretamente no empacotamento das partículas das areias.

Em contrapartida, Donza *et al.* (2002) demonstram que a forma e textura de partículas das areias de britagem pode melhorar a resistência do concreto devido a um melhor interbloqueio entre as partículas. No entanto, agregados finos com forma angular produzem argamassas de baixa trabalhabilidade comparadas com aquelas produzidas com areias de grãos esféricos para um mesmo teor de água ou o mesmo volume de pasta de cimento (WESTERHOLM, 2006; QUIROGA e FOWLER, 2004).

Dessa forma, Westerholm *et al.* (2008) afirmam que, em termos de viscosidade, as argamassas produzidas com agregados britados apresentem maiores valores, visto que o efeito da forma da partícula é preponderante.

Como forma de análise dos parâmetros texturais dos agregados miúdos, a NBR 7389 (ABNT, 2009) sugere a avaliação petrográfica visando a utilização dos mesmos em concretos. A norma ainda identifica a quantificação das fases minerais presentes na amostra. Este método é aplicável aos agregados miúdos de origem natural ou de britagem de rochas.

A mesma norma apresenta como propriedades e características do agregado miúdo aquelas relacionadas com a cor, distribuição granulométrica, forma dos grãos, superfície dos grãos e composição mineralógica e classificação tecnológica (ABNT, 2009). A tabela 2 a seguir, resume tais definições e, na figura 4 apresentam-se um

esquema ilustrativo para determinação da forma dos grãos de agregado adaptado de Powers (1953)

Tabela 2: Propriedades e características de agregados miúdos, conforme NBR 7389 (ABNT, 2009)

Propriedades e Características	Definição
Cor	Cor predominante do conjunto de grãos no estado seco;
Distribuição granulométrica	Realizada de acordo com a NBR NM 248 (2003)
Forma dos grãos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Avaliada visualmente;</li> <li>- Auxílio de instrumento óptico (lupa ou estereomicroscópio);</li> <li>- Grau de esfericidade (alto ou baixo);</li> <li>- Grau de arredondamento (angular, subangular, subarredondado ou arredondado) conforme figura 20.</li> </ul>
Superfície dos grãos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Polido;</li> <li>- Fosco; ou</li> <li>- Rugoso</li> </ul>
Composição mineralógica e classificação tecnológica	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Contar no mínimo 500 grãos que representem mais de 15% da amostra total. Para frações que representem entre 5% a 15% da amostra total, contar no mínimo 100 grãos. E, para frações que representem menos de 5% da amostra total não devem ser consideradas.</li> <li>- Realizar a identificação mineralógica dos grãos com auxílio de microscópio estereoscópico</li> <li>- Fragmentos de rochas descrever de forma objetiva;</li> <li>- Classificar dentro das classes: inócuos, deletérios, parcialmente ativos ou friáveis.</li> </ul>

Classe de arredondamento	Muito Angular	Angular	Sub-angular	Sub-arredondado	Arredondado	Bem arredondado
Alta Esfericidade						
Baixa Esfericidade						
Índice de arredondamento	0,12 a 0,17	0,17 a 0,25	0,25 a 0,35	0,35 a 0,49	0,49 a 0,70	0,70 a 1,00

Figura 4: Esquema ilustrativo para determinação da forma dos grãos de agregado adaptado de Powers (1953)

## 2.4 MODELOS DE AVALIAÇÃO DA FORMA DE AGREGADOS POR IMAGEM

As técnicas de medição para caracterização da forma das partículas têm, ao longo do tempo, se desenvolvido dentro de muitas áreas de aplicação. Um exemplo disso são sedimentologistas interessados nas distribuições e forma e dimensão de grãos para a caracterização de diferentes depósitos (PERSSON, 1998).

A autora afirma ainda que a técnica de peneiramento para a determinação da composição granulométrica não é adequada quando analisado a parcela fina do agregado miúdo. A principal razão é que há a dificuldade do material fino em passar pelas malhas e a quantidade de partículas em relação à área da peneira. Além disso, a análise por peneiras apresenta apenas um valor aproximado do diâmetro das partículas (PERSSON, 1998).

A primeira técnica de medição por análise de imagem foi desenvolvida no final dos anos 60, onde Moore (1968)<sup>1</sup> apud Persson (1998), propôs uma análise de imagens por computador, lançando as bases para um método relativamente rápido de medições automatizadas. O autor acrescenta que na fase inicial da técnica era impossível salvar ou congelar as imagens, sendo que as medições haviam de ser feitas "semi-automática" diretamente no monitor. Por outro lado, hoje as imagens são armazenadas e mensuradas imediatamente através de programas de computador específicos, sendo possível a aquisição de quantidade de medições.

Em sua pesquisa, Persson (1998) apresentou um método de caracterização de frações finas de agregados naturais e britados utilizando análise de imagem. Uma vasta quantidade de agregados foram analisados, sendo que aqueles com diâmetros menores que 63 mm foram analisados utilizando microscopia de varredura, frações entre 63 e 125 mm e 125mm e 250mm foram analisadas usando microscopia polarizada com luz ultra-violeta.

A autora afirma que os resultados mostraram que existem múltiplas possibilidades de caracterização e classificação das partículas. Uma das constatações é que há uma importante diferença entre as formas dos agregados naturais e britados entre as diferentes frações. Nas frações finas ocorrem partículas mais alongadas e/ou lamelares e com superfícies mais rugosas que as mais grossas. Geralmente,

---

<sup>1</sup> MOORE, A.G. **Automatic scanning and computer process for the quantitative analysis of micrographs and equivalent subjects**. Pictorial Pattern Recognition, Washington, DC, pp. 275-326, 1968.

agregados britados são mais alongados e/ou lamelares e possuem superfície mais rugosa que os agregados naturais (PERSSON, 1998).

Neste sentido, a análise de imagem por computador traz novas oportunidades de desenvolver novas técnicas para determinação das características dos agregados. Tais técnicas são mais precisas e consomem menos tempo, comparando com os métodos tradicionais (FERNLUND, 2005).

Dessa forma, Goldoni *et al.* (2015) realizaram um estudo em que avaliaram a forma de grãos de areia de britagem através da aquisição de imagens. Eles levaram em consideração variáveis como alterações de captação de imagem (aproximação), organização dos grãos e o número de grãos.

Neste sentido, os autores prepararam as amostras de duas formas: grãos orientados colados sobre fita dupla-face em placas de vidro posicionadas sob a lupa e com grãos aleatoriamente lançados sobre uma lâmina de vidro a uma altura constante para posterior aquisição das imagens com lupa com câmera digital e de software específico para a captura (Goldoni *et al.*, 2015).

Após esta etapa, procedeu-se com o tratamento das imagens com o auxílio de um programa específico de análise de imagens, o qual permite a obtenção automática dos dados relativos ao cálculo dos parâmetros de forma das partículas. Tais valores são medidas de área, perímetro e maior dimensão dos grãos (Goldoni *et al.*, 2015).

De acordo com Goldoni *et al.* (2015) os parâmetros de forma são calculados utilizando-se as equações que seguem:

$$E = \frac{d_c}{D_c} = \frac{\sqrt{\frac{4A}{\pi}}}{d_{max}} \quad \text{Equação 3}$$

onde: E = esfericidade;  $D_c = d_{max}$  = diâmetro do menor círculo circunscrito no grão, que corresponde ao diâmetro máximo de Feret, medido diretamente na projeção do grão (mm);  $d_c$  = diâmetro correspondente à área da projeção do grão, calculado a partir da área do círculo ( $A_{circulo}$ ) através da equação 9 a seguir:

$$A_{circulo} = \frac{\pi \cdot (d_c)^2}{4} \therefore d_c = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} \quad \text{Equação 4}$$

onde: A = área da projeção do grão (mm<sup>2</sup>), medida diretamente na imagem bidimensional da projeção do grão;

$$A_r = \frac{4A_p}{\pi \cdot (d_{max})^2} \quad \text{Equação 5}$$

onde:  $A_r$  = arredondamento;  $A_p$  = área da projeção do grão, medida diretamente na imagem do grão ( $\text{mm}^2$ );

$$A_c = \frac{\pi \cdot (d_{max})^2}{4} \quad \text{Equação 6}$$

onde:  $A_c$  = área do círculo circunscrito ao grão;

$$F_{forma} = \frac{4\pi A}{P^2} \quad \text{Equação 7}$$

onde:  $F_{forma}$  = fator forma  $A$  = área da projeção do grão ( $\text{mm}^2$ ), medida diretamente na imagem bidimensional da projeção do grão;  $P$  = perímetro da projeção do grão, medido diretamente na imagem dos grãos (mm).

Os autores puderam concluir que a análise de forma para agregados miúdos requer padronização para que os resultados não sofram influência do método de aquisição de imagens (Goldoni *et al.*, 2015).

Da mesma forma que os autores citados anteriormente, Mertens e Elsen (2006) utilizaram o procedimento de aquisição de imagens em duas dimensões na determinação da distribuição granulométrica de areias utilizadas em argamassas.

Os autores mostraram que os resultados das análises das imagens são consistentes comparados com as curvas granulométricas obtidas a partir de peneiramento. De acordo com a pesquisa, o método de análise de imagem envolve dois passos: o tratamento da imagem, mensurando parâmetros em duas dimensões. Esta abordagem reduz o erro induzido pelo efeito de borda. Já o segundo passo, refere-se ao cálculos estereológicos, que também são mensurados em duas dimensões. O modelo estereológico baseado na esfericidade da partícula mostrou uma melhor correlação com a curva granulométrica obtida por peneiramento (MERTENS e ELSSEN, 2006).

De outra forma, Arasan, Hasiloglu e Akbulut (2010) propuseram uma caracterização das propriedades de forma de agregados naturais e de britagem através da análise de imagem. Para tanto, utilizaram a teoria matemática do fractal, a qual consegue descrever a geometria de formas irregulares em termos de números fractais. Neste sentido, os autores investigaram a dimensão fractal e a forma do agregado levando em conta o raio, alongamento, planicidade, fator forma, rugosidade e esfericidade das partículas. Chegaram à conclusão de que a forma da partícula afeta a dimensão fractal.

Por outro lado, Kwan, Mora e Chan (1999) realizaram um estudo envolvendo 25 amostras de agregados para concreto de diferentes tipos de rochas. Avaliaram o tamanho das partículas das amostras através do processo de análise de imagem e compararam com resultados obtidos através do método tradicional (peneiramento).

Através deste estudo, pôde-se propor um método de análise de alongamento e lamelaridade de agregados graúdos utilizando a técnica de análise de imagem. Este método é capaz de produzir uma relação entre espessura e largura do agregado, transformando os resultados em termos de frações de massa. Os resultados, após comparados com o processo tradicional de peneiramento mecânico e manual, apontaram que existe uma forte correlação entre os parâmetros de espessura média e o índice de lamelaridade medido pelo método de peneiramento. E, da mesma forma, o índice de alongamento obtido pelo método de análise de imagens se correlacionam com aqueles tratados pelo método tradicional (KWAN, MORA e CHAN, 1999).

Por outro lado, existem diversos métodos de caracterização morfológica de partículas que utilizam técnicas tridimensionais (FERNLUND, 2005). Alguns deles fornecem as análises individuais das partículas em 3-D (KUO, *et al.*, 1996) e outros determinam a distribuição granulométrica avaliando em três dimensões cada partícula da uma amostra, através de duas imagens de toda a população (FERNLUND, 2005).

Para Fernlund (2005) estes métodos para determinação de forma e distribuição de tamanho de partículas de agregados é de grande utilidade, visto que traz medidas mais precisas nos três eixos. Podem ser citadas algumas vantagens quanto à medição do grau de lamelaridade e do fator de forma: a análise é rápida; os resultados podem ser apresentados para a distribuição de tamanho bem como para distribuição da forma em uma mesma análise; e o tamanho e distribuição da forma podem ser determinados a partir de uma análise de apenas uma imagem das partículas da amostra.

A pesquisa realizada por Lee, Smith e Smith (2007) mostrou que com a triangulação de raios laser podem ser aplicadas efetivamente para adquirir informações tridimensionais. O tamanho das partículas, forma e angularidade podem ser quantificadas com precisão a partir dos dados coletados. Os autores afirmam ainda que, seu método de avaliação pode ser útil no monitoramento em tempo real da qualidade e controle dos parâmetros morfológicos dos agregados em ambientes industriais (LEE, SMITH e SMITH, 2007).

O estudo realizado por Tierri, Baaj e Darmedru (2016) sugere uma modelagem relacionando a forma real das partículas de areia, medidas usando equipamento de

captura de vídeo, com o tempo de fluxo da areia em um funil. Esta técnica visa eliminar a necessidade de medições em laboratório das partículas dos agregados.

## 2.5 PROPRIEDADES DA ARGAMASSA NO ESTADO FRESCO

Através do exposto anteriormente é necessário apresentar as formas de caracterização das argamassas de um modo geral, além de determinar quais são as melhores formas de verificação do comportamento reológico de argamassas.

Em se tratando de reologia de argamassas, inicialmente é necessário entender como é formada sua microestrutura. Assim, Cardoso, Pileggi e John (2005) descrevem a argamassa como uma suspensão bifásica concentrada, a qual é composta por uma fração grossa inerte (a areia) e uma pasta reativa de água e finos, geralmente aglomerantes a base de cimento e cal.

Os mesmos autores relatam que quando a argamassa é submetida a tensões de cisalhamento no estado fresco, as partículas grossas estão sujeitas a fenômenos mássicos, caracterizados por atrito e impacto. Por outro lado, as frações mais finas (principalmente o cimento) são afetadas pelas reações químicas de hidratação, passando de um estado fluido para o estado sólido elástico (estado endurecido). Com o passar do tempo, o comportamento reológico do material muda devido aos fenômenos de dissolução, aglomeração, precipitação de fases hidratadas ligantes, ação de aditivos, dentre outras (CARDOSO, PILEGGI e JOHN, 2005).

Alguns autores consideram o conceito de trabalhabilidade como sendo a facilidade com que o operário aplica a argamassa na superfície do substrato, espalhando-se por suas saliências e mantendo-se coesa, conferindo boa qualidade e produtividade, bem como apresentando consistência, plasticidade, retenção de água adequadas e tixotropia (CINCOTTO, SILVA e CASCUDO, 1995), (RILEM., 1982.) e (SELMO, 1989). Tais propriedades reológicas são características básicas que conferem a argamassa extensão de aderência adequada aos substratos.

Por outro lado, a trabalhabilidade é abordada por várias instituições de normalização em comissões especializadas. Neste contexto, a norma (ASTM, 2004) fornece uma definição para este termo: argamassa trabalhável é aquela que quando aplicada preenche facilmente as reentrâncias, além de suportar o peso das unidades da alvenaria, facilitando o alinhamento. Além do mais, a mesma norma afirma que é a capacidade que uma argamassa possui em se manter trabalhável sob influência da

umidade e sucção do substrato, bem como a taxa de evaporação, que depende da capacidade de sua retenção de água.

Assim, a trabalhabilidade é a principal propriedade que governa as condições de aplicabilidade das argamassas no estado fresco. Este requisito é influenciado diretamente por outras propriedades, tais como: consistência, retenção de água, coesão, plasticidade, exsudação, densidade de massa, teor de ar incorporado e adesão inicial (CARASEK, 2010), além da retração plástica.

A consistência pode ser entendida como sendo a maior ou menor facilidade da argamassa deformar-se sob a ação de cargas, sendo que esta propriedade deve ser mantida ao longo do tempo da aplicação. A argamassa pode ser classificada como secas, plásticas ou fluidas, sendo uma medida qualitativa (CINCOTTO, SILVA e CASCUDO, 1995).

Assim como a consistência, a plasticidade são propriedades reológicas básicas das argamassas que caracterizam a trabalhabilidade (DO Ó, 2004). Por este motivo, a plasticidade permite que a argamassa se deforme absorvendo outras deformações impostas a ela, após a redução das tensões de aplicação (CARASEK, 2010).

A coesão, por sua vez, relaciona-se com a força de atração existente entre as partículas sólidas da argamassa e às ligações químicas da pasta de aglomerante (CINCOTTO, SILVA e CASCUDO, 1995). Assim, considera-se que esses fenômenos são responsáveis pela capacidade da argamassa em manter-se homogênea e sem que ocorra segregação da mistura.

Já a retenção de água é a capacidade da argamassa em manter a água de amassamento nas situações de perdas para a superfície de contato (substratos porosos) mantendo a trabalhabilidade requerida. Maciel, Barros e Sabbatini (1998) consideram que este fenômeno auxilia nas reações de endurecimento da argamassa, ao passo que promove a hidratação gradativa do cimento promovendo ganho de resistência ao longo do tempo. Os mesmos autores relatam ainda que uma rápida perda de água pode provocar a perda de aderência da argamassa ao substrato, a perda da capacidade de absorver deformações, além de resistência mecânica, durabilidade e a estanqueidade do revestimento (MACIEL, BARROS e SABBATINI, 1998) podendo refletir diretamente na possibilidade de ocorrer a retração plástica da argamassa.

Outras propriedades que influenciam na trabalhabilidade da argamassa são a densidade de massa e o teor de ar incorporado. A primeira é determinada através da

relação entre a massa de materiais úmidos pelo seu volume, sendo assim um dado importante para a dosagem de argamassas. Já o teor de ar incorporado representa a quantidade de ar existente num certo volume de argamassa, sendo que quanto maior for a esta quantidade, menor será a massa específica relativa do material (MACIEL, BARROS e SABBATINI, 1998).

A exsudação corresponde a tendência pela qual a água de amassamento tem em se separar da argamassa fazendo com que a pasta fique na superfície e os agregados fiquem no fundo (CARASEK, 2010).

A adesão inicial da argamassa ao substrato está relacionada com a extensão de aderência ou, ainda, pela molhagem de um sólido por um líquido. Para Cincotto, Silva e Carasek (1995), a adesão inicial dependerá da velocidade de absorção da água pelo substrato, que depende da porosidade e da rugosidade do mesmo, além do tratamento prévio feito na superfície com o intuito de aumentar a área de contato para a aderência da argamassa, ou seja, reduzir a tensão superficial o ângulo de contato.

E, por fim, a retração plástica e a conseqüente fissuração, conforme Zhao *et al.* (2018) e Ghourchian *et al.* (2019), é decorrente da rápida perda de água por evaporação dos poros da superfície da argamassa, o que resulta em deformações superficiais. Este fenômeno causa a formação de meniscos nestes poros e o aumento da pressão capilar aumentando a rigidez da massa ocorrendo assim o aumento das tensões e iniciando o processo de microfissuração.

Grassl *et al.* (2010), afirmam que existe influência do tamanho do agregado e da fração volumétrica na microfissuração produzida pela retração plástica. Relata que esta patologia diminui com o aumento do diâmetro do agregado e da fração em volume do mesmo. Por outro lado, se diminuir a fração volumétrica e aumento de diâmetro do agregado, as fissuras surgem mais facilmente impactando, como conseqüência, no aumento da permeabilidade da argamassa.

## 2.6 FORMAS DE CARACTERIZAÇÃO REOLÓGICA EM ARGAMASSAS

Como visto anteriormente, a definição da trabalhabilidade relaciona-se com outros conceitos. Estas definições são, muitas vezes, realizadas através de avaliações qualitativas, não havendo um consenso quanto a melhor forma de quantificar. Os autores citados afirmam que existem diversas variáveis que influenciam na

quantificação, que giram em torno das características químicas (tipo de cimento, influência dos aditivos) e físicas das argamassas (adições, granulometria e forma do agregado) (CINCOTTO, SILVA e CASCUDO, 1995), (RILEM., 1982.) e (SELMO, 1989).

São diversas as formas de caracterização reológica tanto de argamassas como de concretos. Para Koehler e Fowler (2003) estas caracterizações podem ser divididas em testes dinâmicos e estáticos. Nos primeiros são utilizadas ações como cisalhamento, impacto ou vibração, sendo que nos segundos são caracterizadas através do fluxo do material ou próprio peso. Os autores afirmam ainda que nos testes dinâmicos são mais apropriados para baixa e moderada trabalhabilidade de concretos e para elevadas tixotropias onde a energia aplicada é necessária para superar a elevada tensão de repouso do concreto.

Métodos alternativos vêm sendo aplicados para caracterizar argamassas e concretos. Nestes casos as práticas reométricas trazem resultados promissores tanto em ensaios denominados de multipontos, quanto aqueles que caracterizam reologicamente fluídos e suspensões sob diferentes condições de tensão e taxa de cisalhamento (BARBOSA *et al.*, 2011). Neste sentido, os autores realizaram ensaios através do método do abatimento modificado por Pashias (1996), que permite estimar a tensão crítica do fluido; método do abatimento de tronco de cone modificado proposto por Ferraris e De Larrard (1998), que é capaz de determinar os dois parâmetros reológicos do concreto: viscosidade plástica e tensão de escoamento ou crítica; a reometria clássica utilizando reômetros, que determina as características dos fluidos em estado de deformação e que fornecem um número maior de informações (BARBOSA, *et al.*, 2011).

A seguir apresentam-se os métodos utilizados para a caracterização do comportamento reológico das argamassas de projeção estudadas na presente pesquisa, quais sejam, *squeeze flow* e reometria rotacional.

### 2.6.1 Método do *Squeeze Flow*

O ensaio de *squeeze flow* permite quantificar a energia necessária que um pedreiro exerce sobre a argamassa com um tijolo ou com a colher de pedreiro (HENDRICKX, 2009). O ensaio pode ser realizado com controle de força ou de deslocamento, sendo que no primeiro caso a força é aplicada no material e a deformação resultante é anotada. Já no segundo caso, submete-se o material a um deslocamento com velocidade constante, sendo que a força é registrada (MIN, ERWIN e JENNINGS, 1994).

O ensaio é realizado comprimindo um material entre duas placas paralelas e, portanto, esmagando o mesmo para fora radialmente, conforme mostra a figura 5.

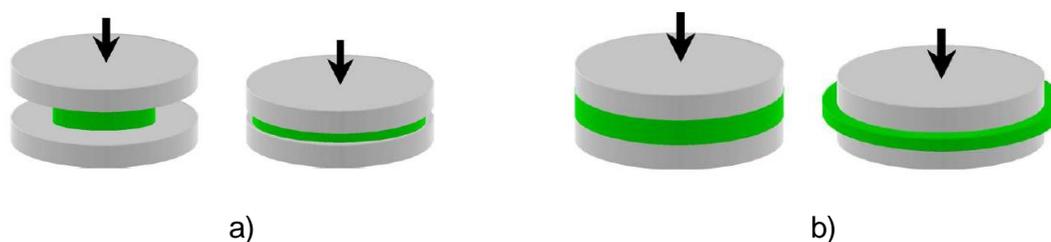


Figura 5: a) *Squeeze flow* assimétrico com massa constante de amostra entre placas e b) *Squeeze flow* assimétrico com área de contato constante entre a amostra e placas (ENGMANN, SERVAIS e BURBIDGE, 2005)

Para aplicação em argamassas escolhe-se a configuração de ensaio da figura 8 b), sendo que a área em que ocorre o carregamento permanece constante, porém a área submetida aos fenômenos de escorregamento e atrito entre a base e a amostra é variável. Dessa forma, esta configuração se aproxima mais da aplicação prática das argamassas no cotidiano (CARDOSO, PILEGGI e JOHN, 2005).

O ensaio é normalizado pela NBR 15839 (ABNT, 2010) e consiste na mensuração do esforço necessário para a compressão uniaxial de uma amostra cilíndrica de argamassa (HOPPE *et al.*, 2006). O método permite que se varie a taxa de cisalhamento através da variação da velocidade de carregamento bem como o controle da magnitude da deformação imposta na amostra (CARDOSO, PILEGGI e JOHN, 2005).

O princípio de análise da medida deste ensaio dá-se a partir da aplicação do carregamento ou deformação controlados sobre uma amostra de argamassa. Assim, induz-se a mesma a escoar de forma a dissipar a tensão gerada na sua estrutura. Dessa forma, a argamassa escoará devido a sua viscosidade, a qual corresponde à taxa de cisalhamento (HOPPE *et al.*, 2006).

Min, Erwin e Jennings (1994) utilizaram o método do *squeeze flow* para determinar o comportamento reológico em pastas de cimento o qual verificaram as alterações reológicas decorrentes da consolidação do ligante. Os autores afirmam que o perfil típico de um ensaio de *squeeze flow* com controle de deslocamento é expresso na forma de carga *versus* deslocamento, conforme é apresentado na figura 6. O gráfico apresenta 3 regiões distintas (HOPPE *et al.*, 2006), onde na fase 1, o material apresenta um comportamento elástico linear. Já na fase 2, o material apresenta deformação plástica ou fluxo viscoso. E, finalmente na fase 3, o material sofre

enrijecimento por deformação influenciado pela aproximação dos agregados e pelo atrito formado pelos mesmos (CARDOSO, PILEGGI e JOHN, 2005).

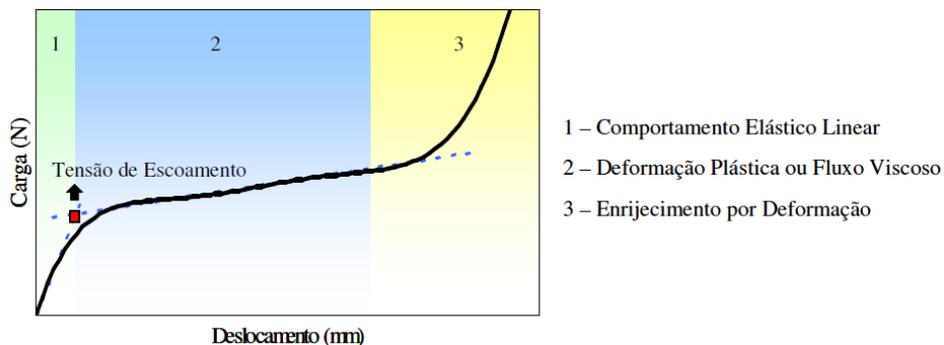


Figura 6: Perfil típico de carga *versus* deslocamento de um ensaio de *squeeze flow*

Um dado muito importante obtido por este ensaio é a tensão de escoamento do material. É a relação entre a carga absorvida pelo material no estado elástico antes de ocorrer o escoamento e a área de aplicação da carga. Este parâmetro permite determinar a capacidade da argamassa em absorver o seu próprio peso sem ocorrer o escorregamento próprio e da placa (COSTA, 2006).

A autora exemplifica como deve ser obtida a carga de escoamento pelo gráfico carga *versus* deslocamento. Deve-se traçar duas retas tangentes, uma ao trecho elástico e outra ao trecho a curva seguinte, ou seja, o trecho de deformação plástica, como mostra a figura 7. O ponto de interseção das duas retas é considerada a carga de escoamento da argamassa. A relação entre esta carga e área de aplicação representa a tensão de escoamento da argamassa.

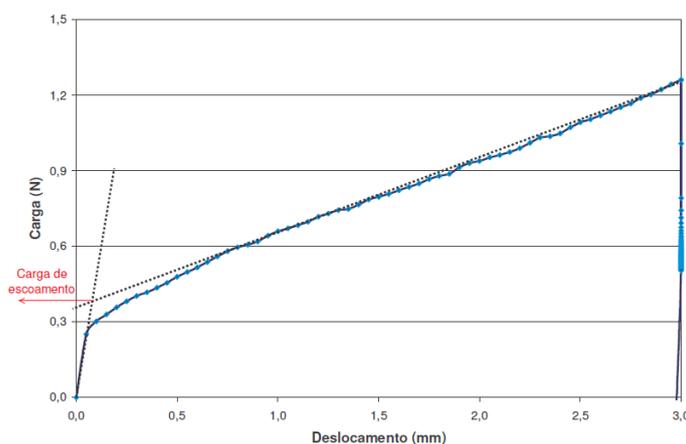


Figura 7: Deteminação da carga de escoamento pelo gráfico carga *versus* deslocamento

## 2.6.2 Reometria rotacional

O objetivo da reometria é determinar as características do fluido em estado de tensão a partir das medições realizadas em fluxos simples e controlados. Nestes testes o fluido é solicitado de forma simples, de modo que algumas partes do seu tensor de tensões são diferentes de zero. Assim, a partir dos componentes de tensão de cisalhamento e taxa de cisalhamento, uma equação característica pode ser obtida (KIRYU, 2006).

Os reômetros são utilizados para medir a viscosidade de um fluido. O material deve ser confinado em algum dispositivo, com condições de bordas fixas, as quais podem ser placas paralelas, entre cilindros concêntricos ou dentro de tubos (KIRYU, 2006).

Como forma de exemplificação das condições de confinamento e determinação da geometria de ensaio, Schramm (2006) apresenta esquematicamente, na figura 8, as diversas formas de fluxo que podem ser simuladas:

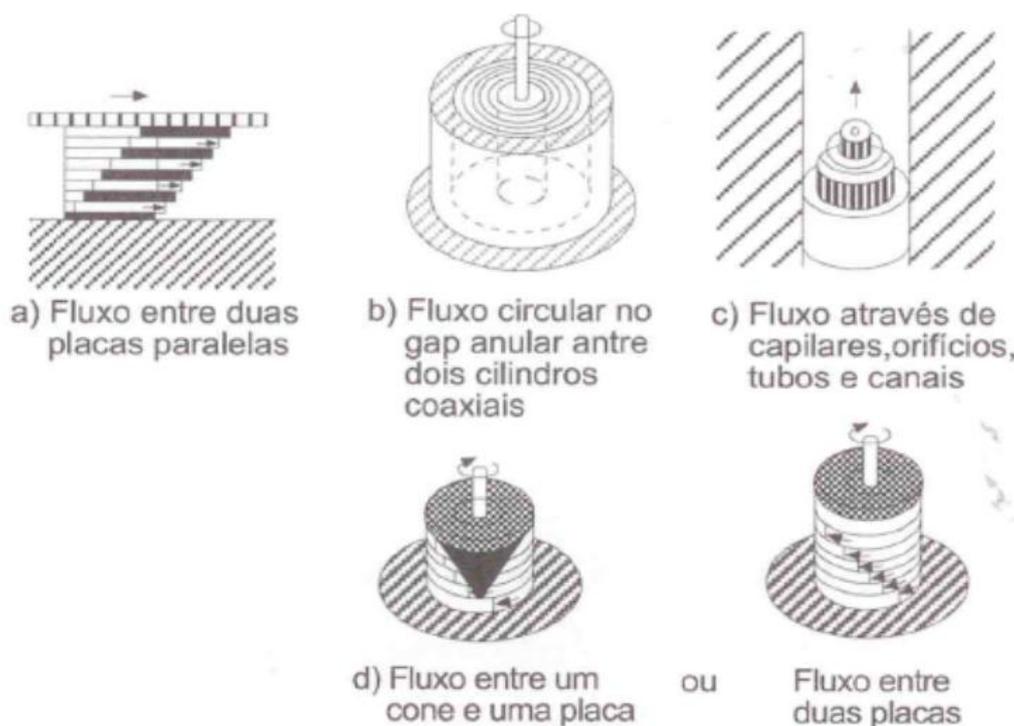


Figura 8: diferentes tipos de fluxo em solicitações aplicadas (SCHRAMM, 2006)

Os reômetros, além de serem equipamentos muito precisos para pesquisas, servem para estudos práticos e análise de controle de qualidade dos materiais, além de avaliar as propriedades de fluidos e suspensões (BARBOSA *et al.*, 2011).

Em métodos rotacionais, o fluido de teste é cisalhado continuamente entre duas superfícies, uma ou ambas das quais giram. Estes dispositivos têm a vantagem de ser

capaz de cisalhar a amostra por um período de tempo ilimitado, permitindo que seu comportamento possa ser monitorado ou que atinja o estado de equilíbrio em condições reométricas controladas. Métodos rotacionais também pode incorporar os testes de tensões normais e oscilatórios com o objetivo de caracterizar as propriedades viscoelásticas de amostras. Em geral, tais métodos são mais adequados para a medição de suspensões, géis e pastas (HACKLEY e FERRARIS, 2001).

Para Pileggi (2001), os reômetros determinam parâmetros fundamentais para análise do comportamento reológico, sendo a viscosidade e a tensão de escoamento como os principais. Tais dados são determinados a partir de dois princípios básicos de funcionamento: a aplicação de um torque ao fluido ou suspensão e medida da tensão de cisalhamento resultante e a aplicação de uma tensão de cisalhamento controlado, sendo avaliado o torque.

Em argamassas, o princípio básico de funcionamento dos reômetros são os de avaliarem a tensão de cisalhamento gerada pela argamassa em função do cisalhamento gerado por movimentos rotacional axial ou planetário que induzem ao escoamento. Através disso, podem-se obter curvas de rotação *versus* torque que representam o comportamento reológico de argamassas no estado fresco. Dessa forma, permitem obter a viscosidade da argamassa para diferentes taxas de cisalhamento. Na figura 9, apresentam-se os perfis reométricos obtidos através de reômetros (HOPPE, CINCOTTO e PILEGGI, 2007).

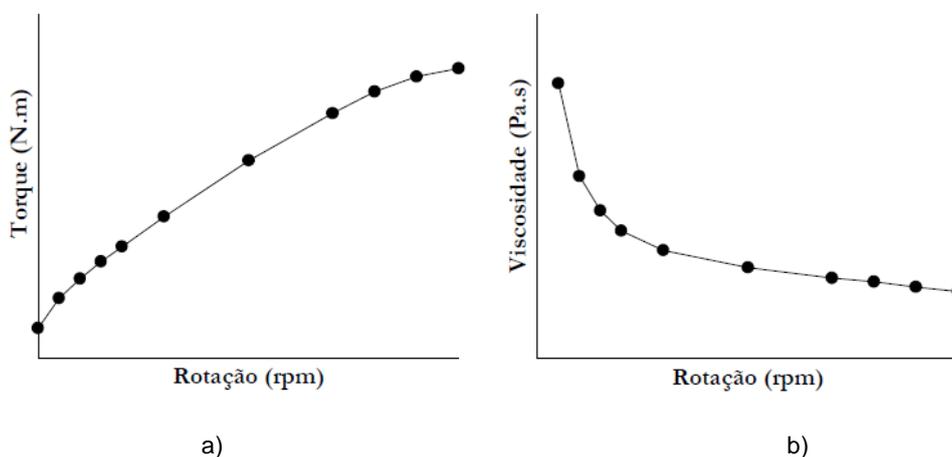


Figura 9: Perfil reométrico obtido a partir de reômetro: a) torque X rotação; b) viscosidade X rotação (HOPPE, CINCOTTO e PILEGGI, 2007)

Os autores afirmam ainda que ao impor taxas de cisalhamento controladas têm-se como retorno a resistência ao cisalhamento do material, a qual correlaciona-se com a viscosidade da argamassa (HOPPE, CINCOTTO e PILEGGI, 2007).

Existem diversos reômetros disponíveis no mercado internacional. Podem ser citados aqueles que mais se utilizam para a caracterização reométrica de argamassas e concretos, sendo eles o reômetro Viskomat, reômetro Brookfield e o reômetro RheoCAD, os quais podem ser visualizados na figura 10:

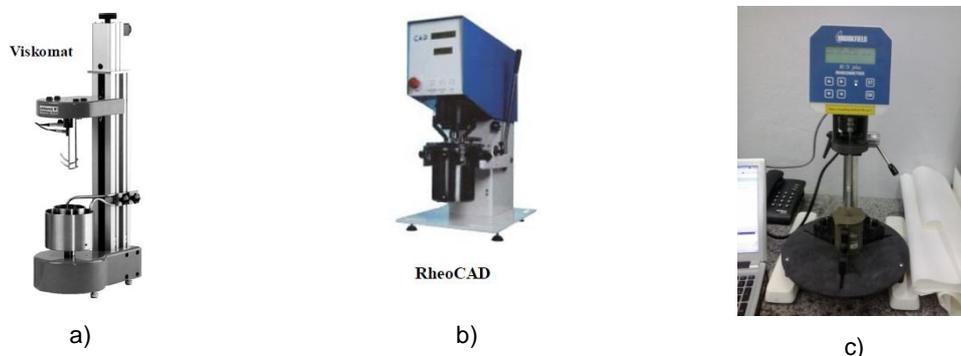


Figura 10: exemplos de reômetros: a) reômetro Viskomat (CARDOSO, 2009); b) reômetro RheoCAD; e c) reômetro Brookfield;

Além disso, Nascimento (2007) considera que a validade dos resultados de análise do comportamento de fluidos depende do atendimento de duas condições básicas:

- a) aderência da camada de fluido que está em contato direto com a superfície do reômetro;
- b) fluxo é laminar (sem a ocorrência de turbulência).

Ainda de acordo com Nascimento (2007), dependendo das informações que se deseja, as medidas podem ser feitas em regime permanente de cisalhamento, em regime oscilatório ou dinâmico. No regime permanente o rotor gira num único sentido e com velocidade constante, conferindo um fluxo laminar, sendo que a camada de material que está em contato com o rotor possui a mesma velocidade desde elemento, porém a camada em contato com o copo possui velocidade igual a zero. Já no regime oscilatório, o rotor gira alternadamente nos dois sentidos, interessando apenas a deformação do material e podendo, assim, determinar propriedades viscoelásticas do material.

Para Banfill (1994), o viscosímetro de cilindro coaxial é o instrumento mais indicado para testar argamassa fresca, pois as equações para o fluxo podem ser expressas precisamente. Afirma ainda que a escolha das dimensões da palheta é essencial devendo seguir a regra de que o tamanho do intervalo entre os cilindros interior e exterior deverá ser, no mínimo, 10 vezes o diâmetro da maior partícula, a fim de minimizar o efeitos da falta de homogeneidade no empacotamento de partículas nas

superfícies do cilindro. Além disso, a relação entre o raio exterior ao cilindro interior não deve ser maior do que 1,2 para assegurar uma pequena variação na taxa de cisalhamento através da abertura e para minimizar a gama de velocidade ao longo do qual ocorre fluxo. Já a relação entre altura e raio não deve ser inferior a 1,0 para minimizar a contribuição da parte inferior do cilindro interior. Finalmente, para evitar o deslizamento nas paredes do cilindro, a superfície do perfil não deve ser menor do que as maiores partículas do material.

Já Nascimento (2007), durante este ensaio, afirma que pode ocorrer a formação de pequenos rodamoinhos ou zonas de instabilidade na superfície do fluido, ou em caso de suspensões concentradas se a camada do material depositada na superfície do sensor possui buracos. Este fato, ainda segundo a autora, é decorrente da possibilidade de ocorrência de um regime turbulento, quando o material testado for submetido a taxas elevadas de cisalhamento, se manifestando nos resultados através do aumento brusco da viscosidade, como se o fluido tivesse um comportamento dilatante. Para estes casos, sugere-se a escolha de um conjunto copo/rotor com pequena distância entre estes elementos, sendo que no caso de suspensões essa distância deve ser de pelo menos cinco vezes o tamanho da maior partícula contida na amostra.

Neste sentido, Giordani (2017) corrobora com as afirmações anteriores, a qual verificou que nos ensaios com argamassas ocorreram exsudação no entorno da haste *spindle vane*, sendo que o fluxo e área de abrangência aumenta em virtude do aumento da taxa de cisalhamento, pois nesta região verificam-se velocidades máximas. Além disso, na região de giro do *spindle vane*, após o ensaio, observou-se uma diferenciação na homogeneidade da argamassa, ocorrendo até acúmulo de agregados ao redor da palheta.

Diante do exposto, Barnes e Nguyen (2001) afirmam que a geometria de palhetas, em suas diversas formas tem crescido em popularidade como um meio simples e eficaz de medir as propriedades dos fluidos não-newtonianos. Destacam, ainda, que a geometria de palhetas também é muito útil como um meio de medir a viscosidade de líquidos difíceis, especialmente quando combinadas com os reômetros que aplicam tensões controladas. Na figura 11 a seguir, são apresentadas as geometrias de palhetas.

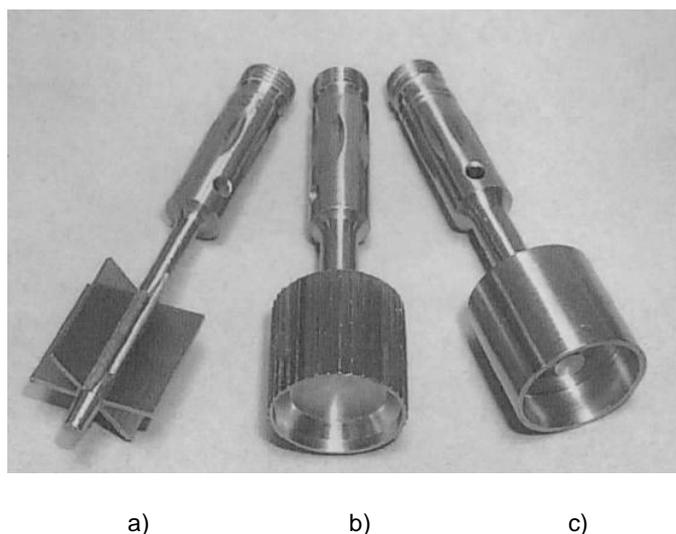


Figura 11: geometria de palhetas: a) palheta com seis lâminas; b) palheta cilíndrica serrilhada; e c) palheta cilíndrica lisa (BARNES e NGUYEN, 2001)

Através do conhecimento adquirido pela revisão bibliográfica, identificam-se fatores que influenciam no comportamento reológico das argamassas, quais sejam: granulometria, finura e parâmetros de forma dos agregados miúdos. Tais fatores devem ser investigadas quando se trata do sistema de projeção mecânica de argamassas. Neste sentido, percebe-se que existem poucos trabalhos que apontam quais são os reais parâmetros que caracterizam positivamente a qualidade deste material, visto que é uma tecnologia que muitas empresas já vêm utilizando. Assim, no próximo capítulo, apresenta-se o programa experimental que busca investigar as lacunas identificadas.

### 3 PROGRAMA EXPERIMENTAL

O planejamento experimental da pesquisa está embasado, inicialmente, na identificação das variáveis de resposta que são aspectos do produto que podem ser medidos e que permitem quantificar as características de qualidade (RIBEIRO e TEN CATEN, 2011). Além disso, também são elencados os fatores controláveis e constantes, sendo que o primeiro são parâmetros que foram escolhidos para serem estudados nos vários níveis da pesquisa e, o segundo são parâmetros que não entram no experimento e que são mantidos constantes durante o experimento. Ademais, surgem os fatores de ruído, ou fatores não controláveis, podendo ser responsáveis pelo erro experimental ou variabilidade residual ou variância do erro (RIBEIRO e TEN CATEN, 2011).

#### 3.1 DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS DE RESPOSTA

As variáveis de resposta da pesquisa relacionam-se com a reologia das argamassas, definidas assim como: parâmetros reológicos de projetabilidade das argamassas.

Como definido anteriormente, a Reologia pode ser entendida como sendo o estudo da deformação e do fluxo da matéria (POWERS, 1968; TANNER e WALTERS, 1998; TANNER, 2002; MALKIN e ISAYEV, 2006). Portanto, as argamassas podem ser avaliadas levando em consideração este conceito, visto que nas características de aplicabilidade das mesmas no estado fresco, observam-se situações de deformação, desde a mistura até o acabamento final do revestimento.

Nesse sentido, o emprego de argamassas com elevada plasticidade obtida pelo aumento do volume de pasta, até o limite de coesão, e pelo aumento do consumo de água de amassamento, facilita o acabamento dos revestimentos (RECENA, 2012).

É importante frisar que as propriedades das argamassas no estado fresco influenciam nas propriedades no estado endurecido, a saber: durabilidade, capacidade de

absorver deformações, aderência ao substrato e resistência mecânica (FIORITO, 2009; CARASEK, 2010; RECENA, 2012).

Assim, definem-se os fatores controláveis que compõem o programa experimental da pesquisa:

- a) fator forma e da granulometria do agregado miúdo
- b) proporção aglomerante:agregado;

Estas variáveis estão diretamente ligadas ao comportamento reológico das argamassas, sendo de suma importância para a qualidade do sistema de projeção.

A partir da definição das variáveis pode-se propor a estratégia do programa experimental de cada fase da pesquisa, através do fluxograma da figura 12.

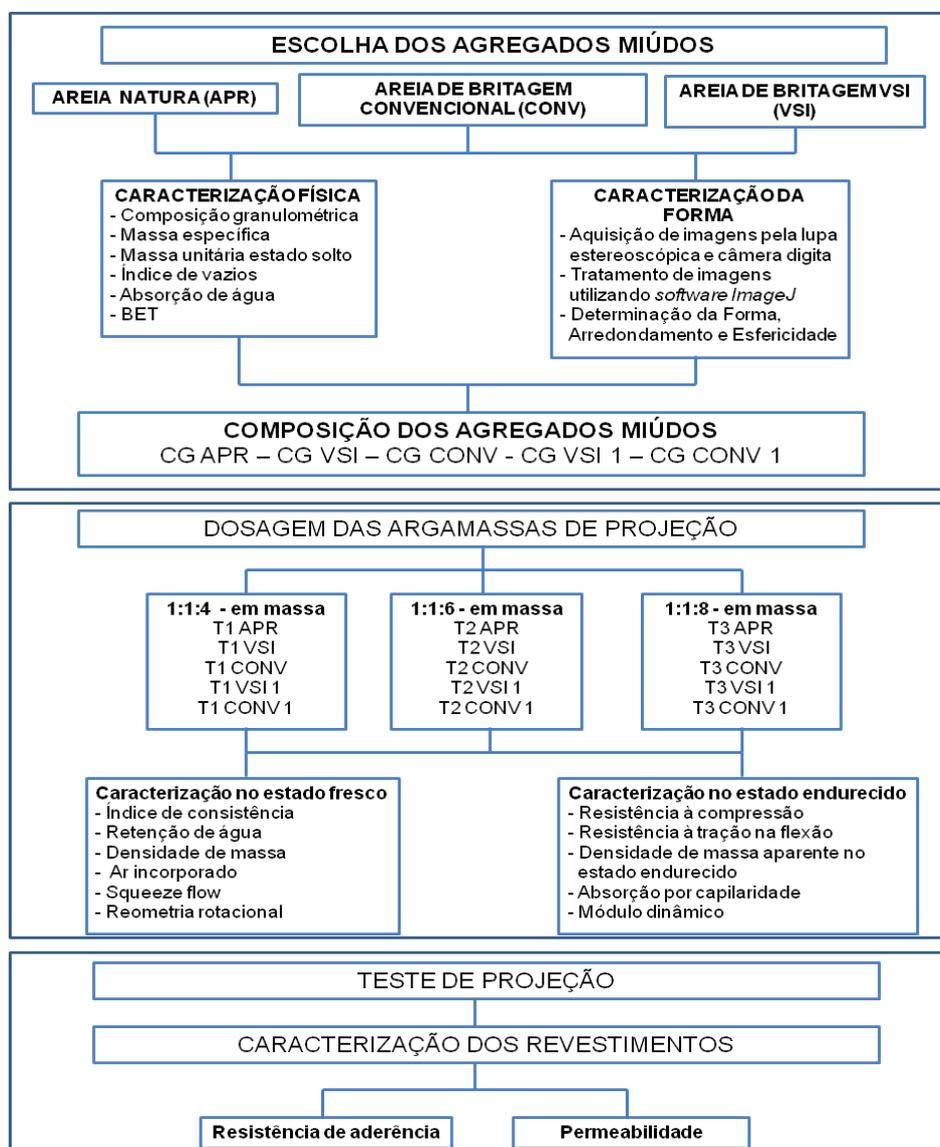


Figura 12 - Fluxograma do programa experimental

## 3.2 MATERIAIS E MÉTODOS

A seguir, são detalhados os materiais utilizados na pesquisa bem como o método de pesquisa adotado para o desenvolvimento da matriz experimental.

### 3.2.1 Materiais utilizados na pesquisa

Os materiais utilizados para o desenvolvimento da pesquisa são apresentados a seguir.

#### 3.2.1.1 Cimento

O cimento escolhido para a produção das argamassas de projeção foi o CP II Z 32, classificado pela NBR 11578 (ABNT, 1997) como um cimento composto de material pozolânico e indicado para uso em revestimentos.

Para a classificação do cimento escolhido, buscou-se informações junto ao fabricante das características física e química referente ao lote do cimento utilizado no decorrer da pesquisa e ensaios realizados no Laboratório de Tecnologia do Concreto de Itaipu Binacional. Desta forma, a tabela 3 mostra o resumo destas informações. Já no anexo A apresentam-se as características físicas e químicas fornecidas pelo fabricante.

Tabela 3: resumo das características físicas e químicas do cimento CP II Z 32

Ensaio	Método	Resultados	Exigências NBR 11578 / 97 <sup>2</sup>
Superfície específica Blaine*	NBR NM 76/98	3522 cm <sup>2</sup> /g	≥ 2600
Massa específica*	NBR NM 23/01	3,00 g/cm <sup>3</sup>	
Finura peneira nº 200**	NBR 11579/91	3,44%	≤ 12
Início de pega*	NBR NM 65/02	4h14min	≥ 1h
Fim de pega*	NBR NM 65/02	5h7min	≤ 12h
Resistência à compressão*	7 dias NBR 7215/96	26,00 MPa	≥ 20 MPa
	28 dias NBR 7215/96	32,30 MPa	≥ 32 MPa
Resíduo insolúvel**	NBR NM 22/04	11,05%	≤ 16,0%
Anidrido Sulfúrico (SO <sub>3</sub> )**	NBR NM 146/04	2,74%	≤ 5,0%
Óxido de Magnésio (MgO)**	NBR NM 14/04	3,45%	≤ 6,5%
Perda ao fogo**		5,69%	

\* Ensaio no Laboratório de Tecnologia do Concreto de Itaipu Binacional

\*\* Dados fornecidos pelo fabricante

#### 3.2.1.2 Cal hidratada

A cal utilizada na produção das argamassas de projeção é do tipo hidratada e classificada como CH-III pela NBR 7175 (ABNT, 2003).

<sup>2</sup> Não foram levados em conta as especificações da NBR 16697:2018 pois na época da execução da campanha experimental esta norma ainda não havia sido publicada.

A decisão da escolha deste tipo de cal hidratada foi em função da disponibilidade da mesma na região de Foz do Iguaçu - PR.

A caracterização física da cal hidratada é apresentada na tabela 4:

Tabela 4: caracterização física e química da cal hidratada CH-III

Descrição	Unidade	Resultados
CaO total**	%	42,3
MgO total**	%	30,6
Resíduos insolúveis**	%	2,1
Ca(OH) <sub>2</sub> **	%	70,3
Umidade**	%	0,0
Retenção em 200 mesh**	%	12,0
Massa específica*	g/cm <sup>3</sup>	2,37
Blaine*	cm <sup>2</sup> /g	9796,63

\* Ensaio no Laboratório de Tecnologia do Concreto de Itaipu Binacional

\*\* Dados fornecidos pelo fabricante

### 3.2.1.3 Agregado miúdo e composição das areias

Inicialmente foram selecionadas uma mineradora de areia natural e uma pedreira para classificação dos agregados miúdos e posterior seleção de três tipos de agregados para serem empregados na pesquisa.

A areia natural selecionada tem origem quartzosa, oriunda do Rio Paraná, com jazida situada na região da cidade de Guaíra - PR. Já as areias artificiais tem origem basáltica, oriundas da cidade de Foz do Iguaçu - PR.

A escolha por areias artificiais de britagem se justificam devido que, segundo Westerholm et al. (2008), as argamassas com agregados finos obtidos a partir de rochas trituradas apresentam, geralmente, maior tensão de escoamento e viscosidade plástica do que a argamassa produzidas com o areias naturais.

As areias receberam as seguintes denominações: APR, VSI, e CONV. As denominações correspondem, respectivamente areia natural do rio Paraná (APR), areia de britagem beneficiada através do sistema VSI (*vertical shaft impactor*) (VSI) e areia de britagem beneficiada através do sistema de britador de impacto (CONV).

O critério de seleção das areias foi determinado considerando que a forma das partículas fossem de, pelo menos, três tipos: arredondado, subanguloso e anguloso, de forma a poder avaliar a sua influência na reologia das argamassas de projeção.

Além disso, quanto maior a irregularidade da forma do agregado, maior será a viscosidade das suspensões aquosas de partículas sólidas, influenciando assim na sua fluidez. Com a utilização de partículas com elevada rugosidade superficial e formato assimétrico provoca-se o aumento da força de atrito entre elas, dificultando o escoamento das argamassas (OLIVEIRA *et al.*, 2000; TRISTÃO, 2005; COSTA, 2006).

A análise granulométrica e características físicas das areias selecionadas serão apresentadas na tabela 6:

Tabela 5: análise granulométrica e características físicas das areias utilizadas

Peneiras (mm)	APR		VSI		CONV	
	% Retido	% Retido Acumulado	% Retido	% Retido Acumulado	% Retido	% Retido Acumulado
4,8	0	0	0	0	0	0
2,36	0	0	1	1	17	17
1,18	1	1	24	25	26	43
0,6	6	7	41	66	21	64
0,3	32	39	21	87	12	76
0,15	57	96	5	93	9	85
0,074	3	100	2	95	6	90
Fundo	0	100	5	100	10	100
Módulo de finura	1,44		2,72		2,85	
Diâmetro máximo	1,18		2,36		4,8	
Massa unitária (g/cm <sup>3</sup> ) (NBR NM 45/96)	1,65		1,70		1,67	
Massa específica (g/cm <sup>3</sup> ) (NBR NM 52/02)	2,82		2,80		2,80	

Na figura 13, apresentam-se as curvas granulométricas com porcentagens retidas acumuladas.

As areias foram peneiradas e utilizados os materiais passantes na peneira 1,2 mm e retidos na peneira 0,074 mm, sendo que o material passante nessa última foi descartado, visto que se detectou elevado teor de fíler, principalmente, nas areias de britagem. Isso pode ser visualizado na tabela 6, correspondendo porcentagens retidas maiores que 5 e 10%, respectivamente VSI e CONV, no fundo da série de peneiras.

Apesar de que a NBR 7211 (2005) considera que os limites de materiais que passam pela peneira 0,074 mm sejam de até 12%, optou-se por retirar o fíler deste material em função de que misturas com muito pó podem causar fissuração por retração na secagem de argamassas e concretos produzidas com ele (SILVA *et al.*, 2005).

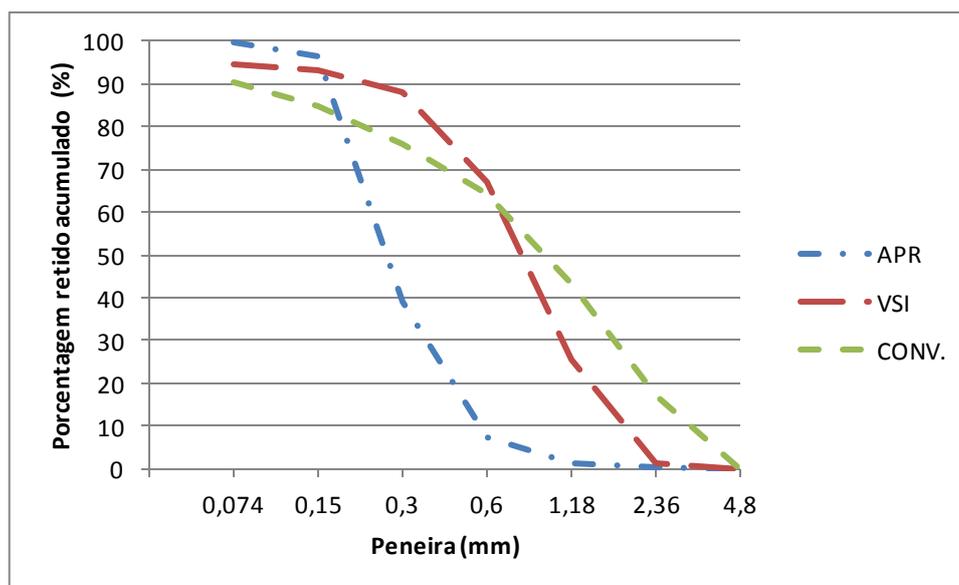


Figura 13: curvas granulométricas da areia natural (APR), areia de de britagem beneficiada através do sistema VSI e areia de britagem beneficiada através do sistema de britador de impacto (CONV.)

Desde modo, foram produzidas cinco composições granulométricas com as seguintes nomenclaturas CG-APR (composição granulométrica da areia do rio Paraná), CG-VSI (composição granulométrica de areia de britagem pelo sistema VSI), CG-CONV (composição granulométrica de areia de britagem pelo sistema de britagem de impacto), CG-VSI 1 (composição granulométrica VSI corrigida com areia APR) e CG-CONV 1 (composição granulométrica CONV corrigida com areia APR).

A correção das granulometrias das composições CG-VSI e CG-CONV foram feitas acrescentando areia APR dos diâmetros 0,3 e 0,15 mm, pois são esses diâmetros que apresentam defasagem nas curvas granulométricas, como pode ser visto na tabela 7, compreendendo cerca de 50% a menos de material em relação à areia CG-APR. Já na fração de diâmetro 0,6 mm foi retirado material até chegar à porcentagem da composição CG-APR.

Arnold (2011) constatou em seu trabalho que a distribuição granulométrica é uma das limitações para o uso de areia de britagem. A autora afirma que existem frações em abundância nas areias naturais que são quase inexistentes nas areias de britagem. As areias de origem basáltica utilizadas para a produção de argamassas apresentaram frações de diâmetros 0,3 e 0,15 mm praticamente inexistentes, corroborando, assim, para a correção das composições CG-VSI e CG-CONV.

Tabela 6: composições granulométricas e características físicas das areias para as argamassas de projeção

Peneiras (mm)	CG-APR		CG-VSI		CG-CONV		CG-VSI 1		CG-CONV 1	
	% Ret	% Ret Acum	% Ret	% Ret Acum	% Ret	% Ret Acum	% Ret	% Ret Acum	% Ret	% Ret Acum
	0,6	6	6	60	60	44	44	6	6	6
0,3	58	64	30	90	25	69	58	64	58	64
0,15	32	96	8	98	18	87	32	96	32	96
0,074	4	100	2	100	13	100	4	100	4	100
Módulo de finura	1,66		2,48		2,00		1,66		1,66	
Diâmetro máximo	1,2		1,2		1,2		1,2		1,2	
Coef. de Uniformidade (Cu)	2,38		2,64		4,93		2,38		2,38	
Massa unitária (g/cm <sup>3</sup> ) (NBR NM 45/96)	1,65		1,70		1,67		1,63		1,61	
Massa específica (g/cm <sup>3</sup> ) (NBR NM 52/02)	2,82		2,80		2,80		2,64		2,63	
Índice de Vazios (%)	39,78		37,50		31,95		40,57		41,00	

Como pode ser notado na tabela anterior, escolheu-se para a composição das areias partículas com diâmetros a partir de 0,6 mm. Isso se justifica em função de que nas pesquisas realizadas por Santos (2003), Costa (2006) e Cardoso (2009) onde, de um modo geral, analisaram argamassas industrializadas de projeção, colantes e de multiplouso e constataram que as faixas granulométricas encontradas apresentavam grande quantidade de grãos retidas nas malhas 0,15 e 0,3 mm e pouco material retido nas peneiras 0,6 e 1,2 mm.

Com relação aos coeficientes de uniformidades (Cu) das composições granulométricas, pode-se constatar que todas elas possuem Cu considerado como sendo muito uniformes, apesar de possuírem curvas granulométricas diferentes, como podem ser visualizado na figura 14.

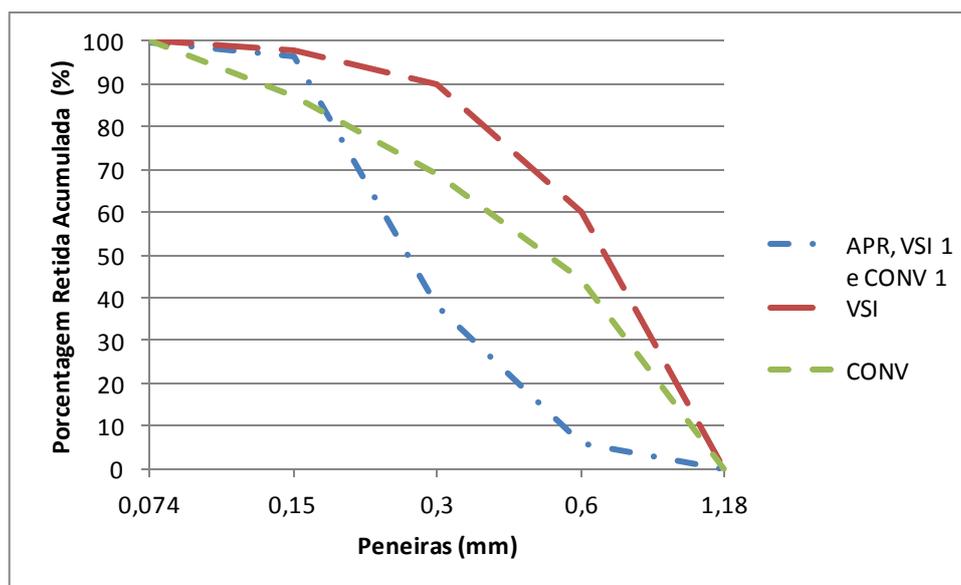


Figura 14: curvas granulométricas das composições das areias das argamassas de projeção

#### 3.2.1.4 Aditivos

Os aditivos utilizados para a produção das argamassas de projeção são um incorporador de ar e um retentor de água. Como as argamassas serão pré-misturadas a seco, os aditivos são em pó.

A composição química dos aditivos são hidroximetil celulose, para os retentor de água e lauril sulfato de sódio para o incorporador de ar. A caracterização físico-química dos aditivos apresentam-se na tabela 7:

Tabela 7: características físico-química dos aditivos incorporador de ar e retentor de água

Aditivo incorporador de ar em pó		Aditivo retentor de água em pó	
Aparência visual	Pó branco	Aparência visual	Pó amarelado
Umidade	Máx 1,5%	Umidade	Máx 1,0%
Densidade	350 - 450 g/L	Densidade	
PH (solução a 1%)	9,5 - 10,5	PH (solução a 2%)	8,2
Teor de sólidos	98,8%		93,6%

#### 3.2.1.5 Água

A água utilizada para a produção das argamassas de projeção, bem como para os substratos de aderência foi aquela fornecida pela rede pública de abastecimento, a Companhia de Saneamento do Paraná - SANEPAR.

### 3.2.1.6 Substrato de aderência

O substrato no qual foram projetadas as argamassas constitui-se de duas paredes (Parede 1 e Parede 2) construídas em alvenaria de blocos de concreto estruturais com dimensões 14x19x39 cm e 14x19x19 cm, classe A, módulo M15 e resistência característica maior que 8,0 MPa, conforme caracterização realizada em laboratório. As paredes possuem mesma característica, sendo divididas em duas por questões de espaço, estando-as expostas às mesmas condições ambientais. As características dos blocos são apresentadas na tabela 8.

Tabela 8: características dos blocos de concreto

Característica Avaliada	Método de ensaio	Resultados médios	Limite da norma	DP	CV (%)
Conformidade dimensional	ABNT NBR 6136 (2016)	OK	Obs: 5 blocos avaliados		
Resistência à compressão	ABNT NBR 12118 (2014)	10,1 MPa	$f_{bk} \geq 8,0$ MPa	1,54	15,27
Absorção de água total	ABNT NBR 12118 (2014)	6,43%	$\leq 9,0\%$	0,96	14,89

As dimensões das paredes são de 2,39 m de altura por 4,79 m de comprimento e foram divididas em 17 painéis de 1,0 m de largura por 2,39 m de altura, utilizando-se as duas faces das paredes. A figura 15 mostra o aspecto das paredes subdivididas em painéis.



a) parede 1

b) parede 2

Figura 15: aspecto das paredes subdivididas em painéis; a) parede 1 e b) parede 2

Os substratos de aderência foram escolhidos levando em conta condições propícias para a ancoragem das argamassas de projeção produzidas sem a necessidade de aplicação de chapisco (ZANELATTO, 2012). Esta situação foi selecionada visando a interação argamassa/substrato sem que houvesse nenhum tratamento da superfície,

reduzindo assim a variabilidade e minimização dos ruídos experimentais (CECHIN, 2017).

### 3.2.1.7 Equipamento de projeção

Os equipamentos utilizados para a execução das argamassas de projeção produzidas foram um misturador intermitente de eixo horizontal com capacidade para misturar cerca de 160 kg de argamassa em dois minutos e um conjunto de bomba/projetor (com estador e rotor) de eixo helicoidal e compressor de ar, com vazão de projeção estimada de 25 l/min. Nesse último, são acoplados o mangote de projeção com diâmetro de 1" e mangueira para ar comprimido, como mostra a figura 16.



a) misturador de eixo horizontal



b) misturador e conjunto de bomba/projetor de eixo helicoidal

Figura 16: conjunto misturador e bomba/projetor utilizados para a projeção das argamassas produzidas ; (a) misturador de eixo horizontal; (b) misturador e conjunto de bomba/projetor de eixo helicoidal

## 3.3 MÉTODOS DE ENSAIOS

Os ensaios realizados para a caracterização dos materiais envolvidos a fim de obter as variáveis de resposta são apresentados nos itens a seguir.

Já o tratamento estatístico de todos os dados foram realizados através do método de análise de variância (ANOVA), utilizando o software MiniTab 16. Através deste método, pôde-se chegar a conclusões relativas à significância ou não dos mesmos, tendo como nível de confiabilidade estatística de 95%. Além disso, foi adotado o Método de Fisher, a fim de realizar a análise múltipla de médias.

### 3.3.1 Caracterização física e parâmetros de forma das areias

As caracterizações físicas das areias foram realizadas por meio das prescrições técnicas das Normas Brasileiras da ABNT. Na tabela 9 são elencados os ensaios com suas respectivas Normas Brasileiras da ABNT:

Tabela 9: ensaios de caracterização das areias

Ensaio	Norma Brasileira da ABNT
Composição granulométrica	NBR NM 248 (2003)
Massa específica	NBR NM 52 (2009)
	NBR NM 53 (2009)
Massa unitária estado solto	NBR NM 45 (2006)
Conteúdo de espaços vazios	NBR NM 45 (2006)
Deteminição da absorção de água	NBR NM 53 (2009)
Deteminação da superfície específica	BET

A análise dos parâmetros de forma deu-se a partir da separação das partículas das areias selecionadas através de peneiramento mecânico. Todas as frações foram lavadas em virtude da retirada de material pulverulento que, por ventura, tenha ficado incrustado na rugosidade dos grãos, não interferindo, assim, no momento da análise da forma por aquisição de imagem.

A preparação das amostras das areias para as análises dos parâmetros de forma baseou-se nos trabalhos desenvolvidos por Fernauld (2005) e por Tristão (2005). O primeiro propõe que a distribuição aleatória sobre uma folha plástica. Tristão (2005) utilizou fita adesiva transparente fixada sobre uma placa de vidro para também dispor aleatoriamente os grãos e garantir que não ocorresse a reflexão da luz e que a mesma transpassasse os grãos da amostra melhorando assim os resultados das análises.

Desse modo, na presente pesquisa, utilizou-se o mesmo processo de Tristão (2005) para preparação das amostras. Assim, os grãos de areia foram dispostos sobre lâminas de vidro para microscópio com dimensões de 2,5x5,0 cm, sendo que sobre elas, foram coladas fita dupla-face transparente para fixação das partículas da areia. A disposição das partículas sobre as lâminas deu-se de forma aleatória, através do lançamento dos grãos de uma altura de 2 cm da lâmina com o auxílio de um funil. Este procedimento se justifica pelo fato de não ter uma preferência e nenhum ordenamento do posicionamento do grão no momento da análise. A figura 17 apresenta um exemplo das lâminas das frações 0,6 mm, 0,3 mm, 0,15 mm e 0,074 mm da areia APR.

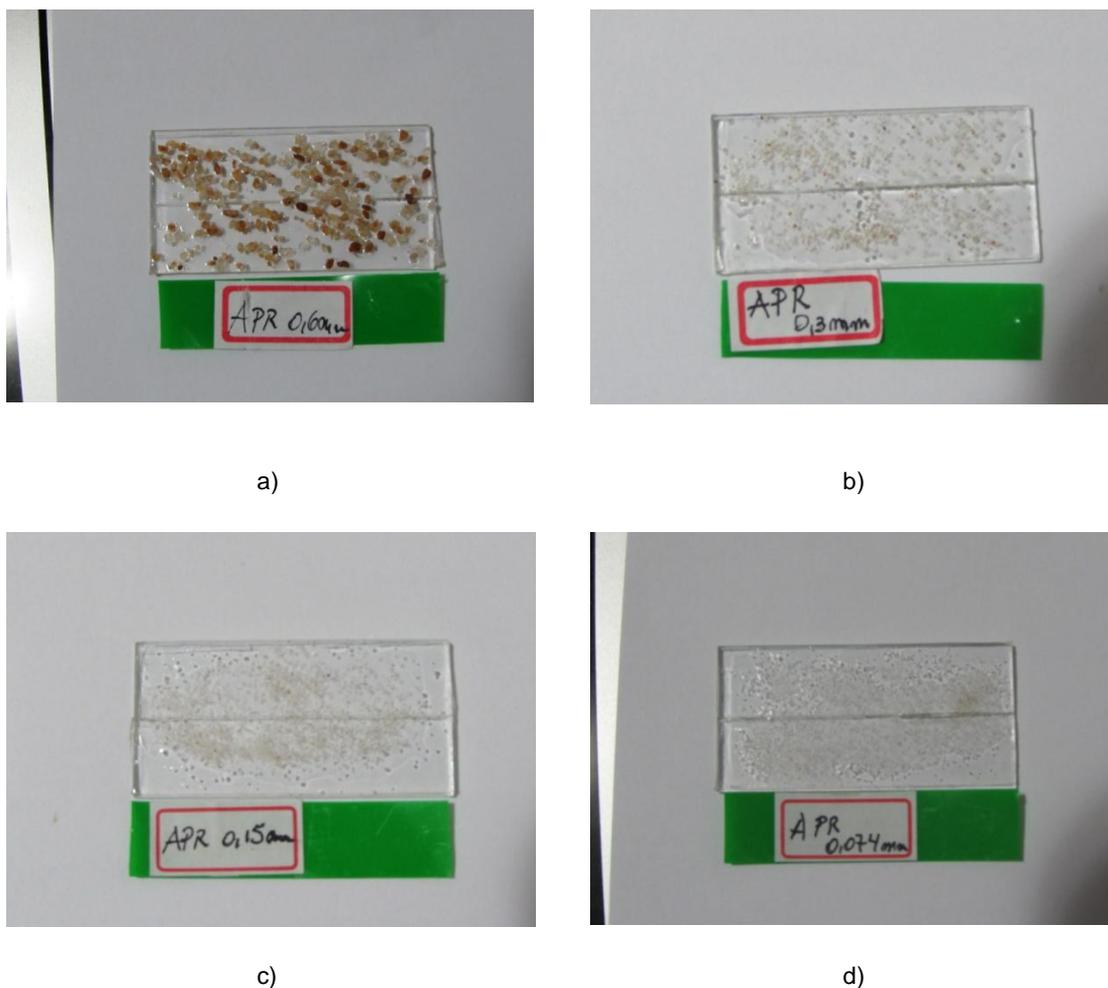


Figura 17: aspectos visuais das lâminas da areia APR nas frações: a) 0,6 mm; b) 0,3 mm; c) 0,15 mm; e d) 0,074 mm, respectivamente

O número de amostras de cada fração foi baseado na NBR 7389 (ABNT, 2009), a qual preconiza que se deve contar no mínimo 500 grãos quando a fração representa mais de 15% da amostra total. Para frações que representam entre 5% a 15% da amostra total, contar no mínimo 100 grãos. E, para frações que representam menos de 5% da amostra total não devem ser consideradas. Porém, devido o grande número de amostras de frações das areias escolhidas, se resolveu contar manualmente cerca de 500 grãos das frações #0,6 mm e #0,3 mm e, para as frações menores, se lançou aleatoriamente uma quantidade expressiva de grãos sobre as lâmina, pois o tamanho das partículas inviabilizaria a contagem manual. Deste modo, garantiu-se que, pelo menos, o número mínimo de grãos fossem analisados.

A análise morfológica se deu através da aquisição de imagens pela lupa estereoscópica com câmera digital acoplada. Este equipamento pertence ao

Laboratório de Materiais e Tecnologia do Ambiente Construído (LAMTAC) do NORIE/UFRGS. A figura 18 apresenta o equipamento utilizado:



Figura 18: lupa estereoscópica com câmera digital acoplada, pertencente ao Laboratório de Materiais e Tecnologia do Ambiente Construído (LAMTAC) do NORIE/UFRGS

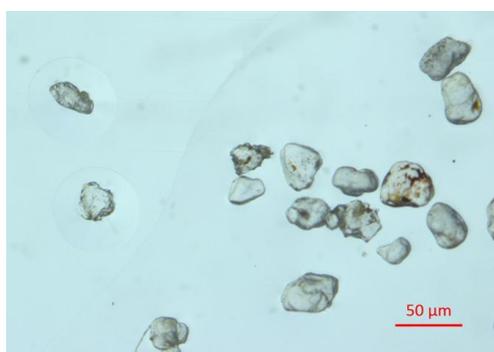
Após a aquisição das imagens, procedeu-se o tratamento das mesmas utilizando o *software* livre *ImageJ*, adquirido na Rede Mundial de Computadores, o qual fornece os valores referentes aos parâmetros de forma, que, posteriormente, foram tratados em planilha de processamento de dados. Na figura 19 mostram-se as imagens exemplificando as frações da areia CG-APR adquiridas com o auxílio da lupa estereoscópica.



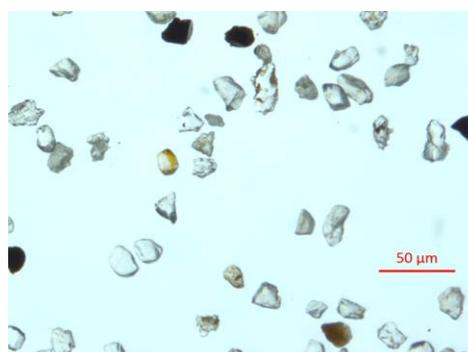
a) fração retida na peneira 0,6 mm



b) fração retida na peneira 0,3 mm



c) fração retida na peneira 0,15 mm



d) fração retida na peneira 0,074 mm

Figura 19: imagens em lupa estereoscópica da composição CG-APR com aumento de 20x0,65; (c) fração 0,15 mm; (d) fração 0,074 mm

Já os ensaios para a determinação das superfícies específicas das composições granulométricas foram realizadas por meio do método Brunauer-Emmet-Teller (BET). A determinação da superfície específica por meio da teoria BET é baseada na adsorção física de gases (no caso gás nitrogênio) na superfície total de um material poroso (areia) (MICHEL e COURARD, 2014).

O equipamento utilizado para este ensaio foi o *Quantachrome Gas Sorption System NOVA Instrument*, pertencente ao Laboratório de Desempenho, Estruturas e Materiais (LADEMA) da UNILA. A figura 20 apresenta o equipamento utilizado:

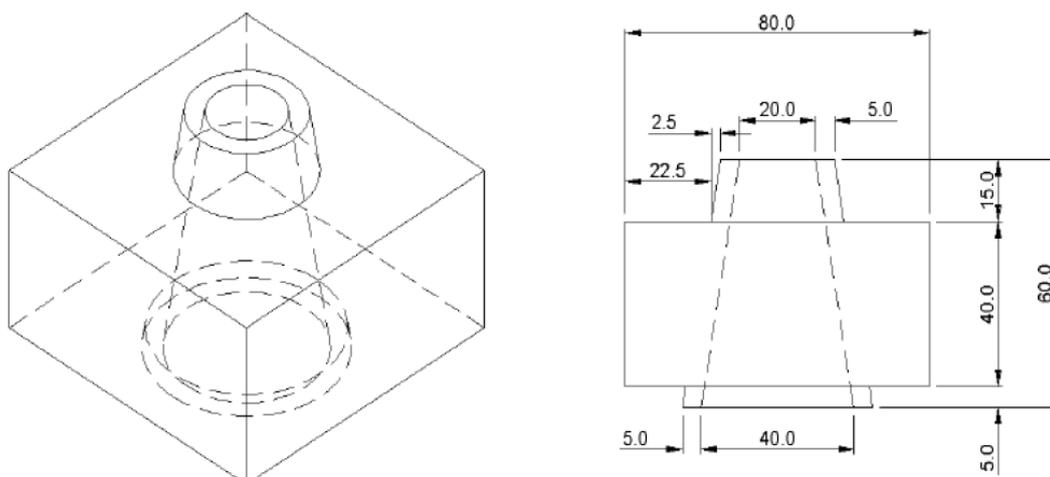


Figura 20: *Quantachrome Gas Sorption System NOVA Instrument*, pertencente ao Laboratório de Desempenho, Estruturas e Materiais (LADEMA) da UNILA

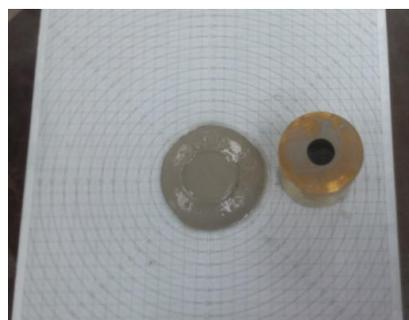
### 3.3.2 Ensaio de mini abatimento ou mini slump

Este método de ensaio tem como objetivo a avaliação da fluidez de misturas de cimento com aditivos superplastificantes. Além disso, o exame visual ajuda a avaliar a exsudação e a segregação da pasta (JAYASREE, GETTU, 2008; MONTE, 2008).

O ensaio de mini abatimento ou mini slump consiste em preencher um molde tronco cônico de acrílico, com diâmetro de base de 40 mm, diâmetro superior de 20 mm e 60 mm de altura, com pasta de cimento e, sob uma placa de vidro, posiciona-se uma folha milimetrada, a qual é utilizada para a medição dos diâmetros de abatimento após a remoção do molde. A figura 21 apresentam-se um esquema das dimensões do tronco de cone e a execução do ensaio.



a)



b)

Figura 21: a) esquema das dimensões do molde (MONTE, 2003); b) aspecto da pasta após remoção do molde

No caso da presente pesquisa considerou-se a aplicação de aditivo incorporador de ar para avaliar o percentual mais adequado deste para os aglomerantes utilizados na produção das argamassas de projeção.

Para tanto, realizou-se a homogeneização prévia dos aglomerantes, cimento CP II Z e cal hidratada CH III na proporção de 1:1 em massa e os percentuais de aditivo. Posteriormente, iniciou-se o processo de determinação da demanda de água, método desenvolvido por de Larrard (1999), que determina a compactidade experimental (C) para materiais finos.

Este método consiste em adicionar água no aglomerante até que se tenha uma pasta homogênea. A massa de água necessária para a mistura fazer passar do estado seco para uma pasta homogênea é definida como sendo empacotamento por demanda de água (FORMAGINI, 2005). Segundo o mesmo autor essa quantidade de água é aquela que preenche todos os vazios da mistura granular seca adicionada de um

pequeno excedente. Tal excedente causa um leve afastamento entre os grãos, fazendo com que a mistura se torne fluida.

De acordo com Sobral (1990), o procedimento de empacotamento das partículas finas por demanda de água é caracterizado por quatro fases: seca, pendular, funicular e capilar. A figura 22 mostra esquematicamente o fenômeno.

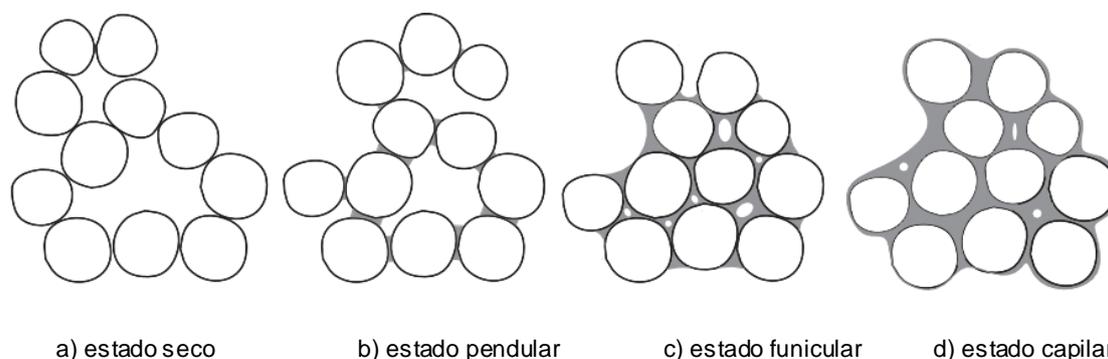


Figura 22: fases do empacotamento por demanda de água a) estado seco; b) estado pendular, c) estado funicular; d) estado capilar (SOBRAL, 1990)

A primeira fase de empacotamento corresponde ao material seco, a qual apresenta um arranjo desordenado de partículas e apresentando um alto índice de vazios. Já a segunda fase refere-se a adição de uma pequena quantidade de água a qual se percebe a formação de pequenas pontes líquidas, aumentando na medida em que se adiciona mais água. Assim, a tensão superficial da água tende a unir os grãos, empacotando-os. A terceira fase é aquela em que, ao adicionar mais água, a superfície de todos os grãos passam a estar molhadas, apresentando bolhas de ar no interior da mistura. Por fim, o estado capilar se inicia quando após um novo incremento de água passa a gerar um afastamento entre as partículas, que é influenciado pelo teor de dispersante presente na mistura, sendo considerado, assim, o ponto de demanda de água (FORMAGINI, 2005).

À medida que se adiciona água, aumenta-se a compacidade e, acredita-se, que o valor máximo de compacidade é quando se atinge o ponto de saturação da mistura. Neste ponto, a mistura já encontra-se em forma de pasta apresentando trabalhabilidade e fluidez (FORMAGINI, 2005).

Na figura 23 são apresentadas as fases do empacotamento ao longo do ensaio de demanda de água. Em a) tem-se o cimento no estado seco; em b) tem-se a formação de aglomerados (estado pendular); em c) tem-se o cimento umedecido, porém não contém água suficiente para molhar todos os grãos (estado funicular) e; em d) tem-se a mistura homogênea onde se atingiu a demanda de água da mistura (estado capilar).



Figura 23: fases do empacotamento do cimento a) estado seco; b) estado pendular; c) estado funicular; d) estado capilar

Deste modo, utilizou-se o protocolo de ensaio de demanda de água que Formagini (2005) propôs, o qual é descrito a seguir para determinar o teor de aditivo incorporador de ar

- misturar 350 g de material seco (cimento e cal);
- colocar todo o material no misturador e adicionar 50% da quantidade de água prevista para atingir a demanda de água;
- ligar o misturador em velocidade baixa e adicionar o aditivo incorporador de ar nas porcentagens de 0,05%, 0,075%, 0,10%, 0,15% e 0,20% após um minuto de mistura;
- misturar em velocidade média e adicionar pequenas quantidades de água em intervalos de um minuto até formarem aglomerados;
- repousar a mistura por 30 segundos e limpar o recipiente com espátula;
- misturar em velocidade alta por um minuto e anotar o consumo de água.

A compactidade por demanda de água é determinada através da Equação 8:

$$C = \frac{1}{1 + MH2O \left( \frac{me1 \cdot me2}{me2 \cdot M1 + me1 \cdot M2} \right)} \quad \text{Equação 8}$$

onde:

$m_{e1}$  - massa específica do material 1 ( $\text{g/cm}^3$ );

$m_{e2}$  - massa específica do material 2 ( $\text{g/cm}^3$ );

$M_1$  - massa do material 1 (g);

$M_2$  - massa do material 2 (g);

$M_{\text{H}_2\text{O}}$  - massa de água ao atingir o ponto de saturação (g)

Os resultados deste ensaio são apresentados na tabela 10.

Tabela 10: compacidade (C) e abatimento obtido por mini abatimento

Aditivo %	Abatimento (mm)	Compacidade C	A/Mc
0	43	0,59	0,63
0,05	38	0,63	0,60
0,075	37	0,62	0,60
0,10	37	0,61	0,62
0,15	34	0,62	0,61
0,20	27	0,58	0,64

A compacidade experimental que apresentou maior valor (0,63) foi com 0,05% de aditivo incorporador de ar e maior abatimento (38 mm), tendo melhor trabalhabilidade e fluidez da pasta de cimento e cal. A partir destes valores, com o aumento do teor de aditivo, a mistura tende a se estabilizar. Observou-se também que com o aumento do teor do aditivo (a partir de 0,15%) a mistura incorporava muito ar, apresentando um aspecto esponjoso e prejudicando o abatimento e espalhamento da pasta. Em função dessas variáveis, definiu-se por utilizar 0,05% de aditivo incorporador de ar em todas as dosagens das argamassas de projeção.

Nota-se, também, que a mistura que não continha aditivo apresentou maior abatimento (43 mm), porém menor compacidade (0,59) e maior consumo de água (0,63) em relação às demais. Assim, infere-se que o maior consumo de água é resultado da provável dificuldade de hidratar as partículas finas dos aglomerantes para se atingir o estado capilar.

Com relação ao aditivo retentor de água, o fabricante indica o intervalo de 0,5% a 1% de aditivo em relação à massa do aglomerante para a produção de argamassas de projeção. Porém, como a dosagem das argamassas possui um consumo de finos elevado (1:1, cimento e cal em massa) adotou-se um o teor de 0,3%, para atingir uma

retenção de água na argamassa de até 98%. Fato esse que será comprovado no capítulo 5, na caracterização no estado fresco.

### 3.3.3 Dosagens das argamassas de projeção

Foram produzidas 15 dosagens de argamassas de projeção utilizando as cinco areias previamente compostas. O proporcionamento foi 1:1:4 (T1), 1:1:6 (T2); 1:1:8 (T3) em massa (cimento:cal:areia, materiais secos). A produção de cada traço deu-se em quantidade suficiente em função do consumo do equipamento de projeção que era de, pelo menos, 160Kg por batelada. Assim, produziu-se cerca de 200 Kg de cada traço, totalizando aproximadamente 3.000 Kg de material seco.

A figura 24 mostra a sequência da produção das argamassas.



Figura 24: sequência de dosagem dos traços das argamassas de projeção; a) preparação dos materiais, colocação dos materiais na betoneira, homogeneização dos materiais, d) material sendo pesado e ensacado, e) acondicionamento em paletes de madeira

Os materiais constituintes das argamassas foram separados, pesados (figura a)) e lançados no interior de em uma betoneira de 400 litros (figura b)). Foram misturados por pelo menos 20 minutos para se obter uma mistura íntima entre os materiais e com a boca da betoneira tampada, para evitar perda de material fino (figura c)). Após esse tempo a mistura foi pesada e ensacada em embalagens plásticas de 20 Kg (figura d)), devidamente identificadas e acondicionadas em paletes de madeira para posterior expedição ao local de ensaio de projeção (figura e)).

As argamassas de projeção receberam as denominações em relação ao traço (T1, T2 e T3), e tipo da composição granulométrica da areia utilizada (CG-APR, CG-VSI, CONV, CG-VSI 1 e CG-CONV 1). Desse modo, por exemplo, a argamassa de traço 1:1:4 com a areia de composição granulométrica CG-APR recebeu a nomenclatura de T1 APR. A tabela 11 apresenta tais denominações.

Tabela 11: nomenclatura adotada para as diferentes argamassas de projeção produzidas

Traços em massa	Composições Granulométricas - CG				
	CG - APR	CG - VSI	CG - CONV	CG - VSI 1	CG - CONV 1
1:1:4	T1 APR	T1 VSI	T1 CONV	T1 VSI 1	T1 CONV 1
1:1:6	T2 APR	T2 VSI	T2 CONV	T2 VSI 1	T2 CONV 1
1:1:8	T3 APR	T3 VSI	T3 CONV	T3 VSI 1	T3 CONV 1

### 3.3.4 Caracterização das argamassas de projeção produzidas no estado fresco

Neste item são apresentados os ensaios realizados com as argamassas de projeção nos estados fresco

Os ensaios de caracterização das argamassas de projeção produzidas no estado fresco seguem as prescrições técnicas das Normas Brasileiras da ABNT. A seguir são elencados, na tabela 12, os métodos de ensaio e as respectivas normas:

Tabela 12: ensaios de caracterização das argamassas no estado fresco

Ensaio	Norma Brasileira da ABNT
Índice de Consistência	NBR 13276 (ABNT, 2016)
Retenção de água	NBR 13277 (ABNT, 2005)
Densidade de massa	NBR 13278 (ABNT, 2005)
Ar Incorporado	NBR NM 47 (ABNT, 2005)
<i>Squeeze Flow</i>	NBR 15839 (ABNT, 2010)
Reometria Rotacional	Não normalizado

Para a caracterização reológica das argamassas de projeção utilizaram-se os métodos da reometria rotacional e do *squeeze flow*, como apresentado a seguir.

#### 3.3.4.1 *Squeeze-flow*

Este ensaio é normalizado através da NBR 15839 (ABNT, 2010) e tem como princípio a compressão da argamassa fresca entre duas placas paralelas. O equipamento utilizado foi uma prensa hidráulica servo controlada Emic, com limite de carga de 200 ton.

Inicialmente as argamassas foram moldadas sobre uma placa metálica lisa e não porosa, com o auxílio de um molde, conferindo um corpo de prova de 100 mm de diâmetro por 10 mm de altura. Por conseguinte, o corpo de prova foi posicionado na prensa hidráulica para a aplicação da carga. A norma determina que as velocidades de deslocamento sejam de 0,1 mm/s e 3 mm/s, tendo com máximo deslocamento 9 mm e força máxima de 1KN. Além disso, os tempos de aplicação da força foram respeitados, quais sejam: 10 e 60 min para a velocidade de 3 mm/s e 15 e 65 min para a velocidade de 0,1 mm/s.

#### 3.3.4.2 Reometria rotacional

Este ensaio foi realizado utilizando-se o Reômetro Brookfield R/S plus, conforme apresentado na figura 25:



Figura 25: Reômetro Brookfield R/S plus pertencente ao Laboratório de Materiais e Tecnologia do Ambiente Construído (LAMTAC) do NORIE/UFRGS

Para as argamassas, utilizou-se a palheta do tipo vane, de dimensões V 40x20, com 40 mm de altura e 20 mm de diâmetro e um recipiente do tipo Becker para a argamassa.

Tal palheta foi escolhida através de testes preliminares para identificar qual dimensão que melhor se adequaria às argamassas mais viscosas e menos viscosas (STOLZ, 2015) sendo que aquela que mais se adaptou ao âmbito dessa pesquisa foi a V 40x20.

As medições foram realizadas através do *software* que acompanha o equipamento, denominado Rheo3000.

A rotina de execução do ensaio consistiu em aplicar ao material ciclos de cisalhamento em patamares de 10 segundos, inicialmente acelerando e depois desacelerando, num total de 400 segundos, atingindo-se uma taxa de cisalhamento máxima de 200 1/s, como mostra a figura 26. Diversos pesquisadores utilizam patamares para análise

reológica de argamassas, como são os casos de Cardoso (2009), Senff *et al.* (2009), Rubin (2015), Stolz (2015) e Giordani (2017).

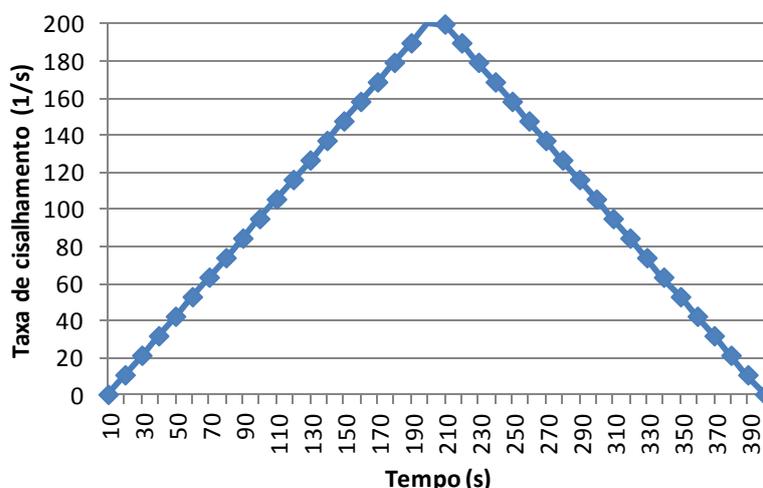


Figura 26: rotina aplicada para a análise das argamassas de projeção no reômetro

Mesmo não sendo um ensaio não normalizado, a reometria rotacional já é utilizada para caracterização de argamassas no estado fresco. Os reômetros são equipamentos adequados para a medição de suspensões, géis e pastas (HACKLEY e FERRARIS, 2001) e permitem determinar a viscosidade e a tensão de escoamento da argamassa para diferentes taxas de cisalhamento (PILEGGI, 2001; HOPPE, CINCOTTO e PILEGGI, 2007).

### 3.3.5 Caracterização das argamassas de projeção produzidas no estado endurecido

Da mesma forma que no estado fresco, a caracterização das argamassas de projeção produzidas no estado endurecido seguiu as prescrições técnicas das Normas Brasileiras da ABNT. A seguir são elencados, na tabela 13, os métodos de ensaio e as respectivas normas:

Tabela 13: ensaios de caracterização das argamassas no estado endurecido

Ensaio	Norma Brasileira da ABNT	Nº de Corpos de prova
Resistência à compressão	NBR 13279 (ABNT, 2005)	12
Resistência à tração na flexão	NBR 13279 (ABNT, 2005)	6
Densidade de massa aparente no estado endurecido	NBR 13280 (ABNT, 2005)	6
Absorção por capilaridade	NBR 15259 (ABNT, 2005)	6
Módulo dinâmico	NBR 15630 (ABNT, 2009)	6

### 3.3.6 Ensaios de avaliação do revestimento

Para avaliação do revestimento foram realizados os ensaios de aderência à tração e de permeabilidade à água.

O ensaio de projeção das argamassas foi feito sobre as paredes previamente construídas para ensaio de aderência à tração.

Fixou-se o sentido de aplicação da projeção de cima para baixo em filetes contínuos horizontais, de acordo com Crescêncio (2003) e, também observando as recomendações de vários fabricantes de argamassas de projeção. Além disso, buscou-se tal padronização para que diminuísse a variabilidade do resultado final dos revestimentos. Na figura 27, mostra-se o procedimento padrão de projeção e aplicação de régua do tipo H realizado nos 15 painéis executados.



a) início da projeção de cima para baixo



b) aplicação da régua tipo H

Figura 27: procedimento padrão de projeção e aplicação de régua tipo H

#### 3.3.6.1 Resistência à aderência

A caracterização dos revestimentos executados foram realizados após decorrer 28 dias de cura dos mesmos e em conformidade com as prescrições da NBR 13528 (ABNT, 2010), que trata do ensaio de resistência à aderência.

A preparação dos corpos de prova para o ensaio de resistência à aderência foi realizado através de cortes circulares no revestimento com serra copo, com diâmetro nominal de 50 mm, aprofundando-os até ultrapassar aproximadamente 5 mm do substrato de aderência. Em todos os revestimentos ensaiados foi possível preparar corpos de prova que estivessem tanto nas juntas de assentamento verticais e horizontais. Posteriormente, procedeu-se a colagem das pastilhas metálicas de

mesmo diâmetro do corpo de prova e, em seguida, o ensaio de arrancamento de onde se obtém a carga de ruptura e se observa o local de sua ocorrência. Os resultados foram comparados com os limites especificados pela NBR 13749 (2013), a qual estabelece as resistências de aderência à tração mínimas aceitáveis para revestimentos de camada única e emboço, como mostrado na tabela 14.

Tabela 14: limites de resistência de aderência à tração para emboço e camada única, de acordo com a NBR 13749 (ABNT, 2013)

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

Após a ruptura, pôde-se observar em qual camada ou interface ela ocorreu, de forma a verificar qual região do revestimento apresentou maior fragilidade. É importante frisar que, de acordo com a NBR 13528 (ABNT, 2010) foram considerados os resultados válidos aqueles onde ocorreu o rompimento na interface substrato/argamassa, conforme o exemplo B da figura 28, sendo realizada uma inspeção visual no local rompido assim como a porcentagem aproximada da área de cada tipo de ruptura. Já os demais resultados são descartados em função de que a resistência à aderência não é precisamente determinada, visto que pode ocorrer defeitos na colagem da pastilha. Na figura 36, apresentam-se as formas de ruptura dos corpos de prova, conforme a NBR 13528 (ABNT, 2010) específica.

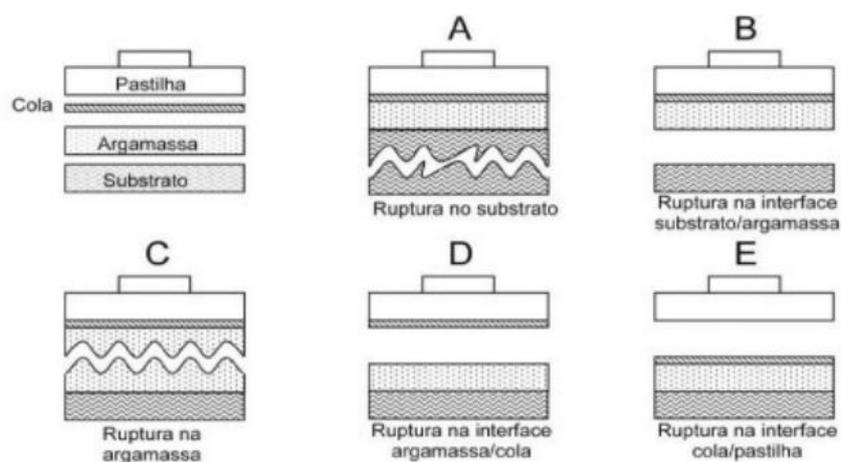


Figura 28: formas de ruptura dos corpos de prova no ensaio de resistência de aderência à tração, conforme 13528 (ABNT, 2010)

Optou-se por ensaiar pelo menos 30 corpos de prova em cada painel para a realização deste ensaio. A decisão de considerar um maior número de corpos de prova bem superior aos 12 especificados pela NBR 13528 é função da possibilidade de ocorrer variabilidade dos resultados, já que Cechin (2017) apontou, no âmbito da sua pesquisa, na qual estudos de aderência de revestimentos projetados pode ocorrer interferência estatística na resistência de aderência à tração entre diferentes alturas (altura média - entre 0,60 m e 1,80 m e altura superior - maior que 1,80 m).

Da mesma forma que Cechin, Stolz e Masuero (2018) planejaram e como forma de mapear os resultados da resistência de aderência nos revestimentos executados, buscou-se subdividir os painéis em altura superior (maior que 1,60 m), altura média (entre 0,60 m e 1,60 m) e altura inferior (menor que 0,60 m).

A figura 29 mostra em a) corpos de prova cortados e pastilhas coladas e, em b) a execução do ensaio de arrancamento.

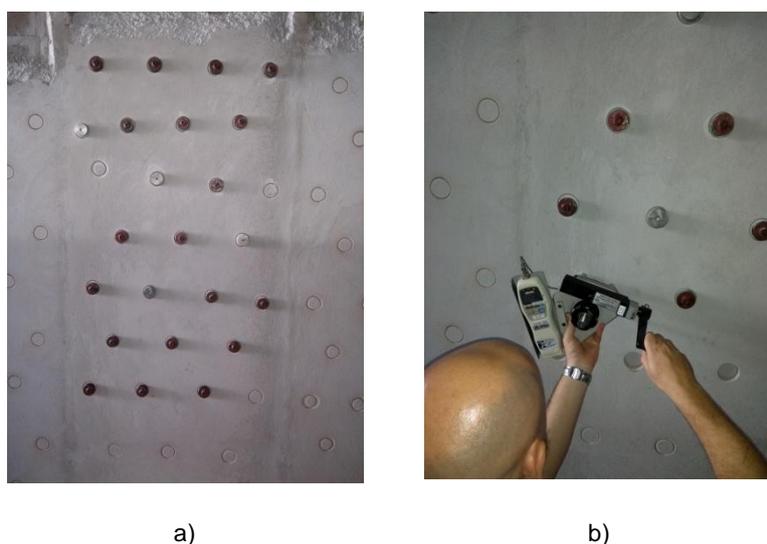


Figura 29: ensaio de aderência à tração a) corpos de prova cortados com pastilhas coladas e; b) execução do ensaio de arrancamento

### 3.3.6.2 Ensaio de permeabilidade

O ensaio de permeabilidade executados busca avaliar a absorção/permeabilidade à água em bases de aplicação e em revestimentos em argamassa sobre elas aplicado (CINCOTO, CARNEIRO e CASCUDO, 1995). O método utilizado foi o proposto pelo CSTC - Centre Scientifique et Technique de la Construction e utilizado pelo RILEM (Reunião Internacional dos Laboratórios de Ensaios e de Pesquisas em Materiais e Construção) que avalia a permeabilidade de superfícies verticais através da absorção de água.

Este ensaio consiste em fixar e vedar a borda de um cachimbo de vidro, em formato de "L", geralmente graduado de 0,00 a 4,00 mL, no revestimento e, com o auxílio de um recipiente, encher o cachimbo com água até a referência do nível zero, acionando um cronômetro. Na figura 30, apresenta-se um exemplo do cachimbo de vidro com a graduação e o aspecto deles fixados no revestimento prontos para ensaio.

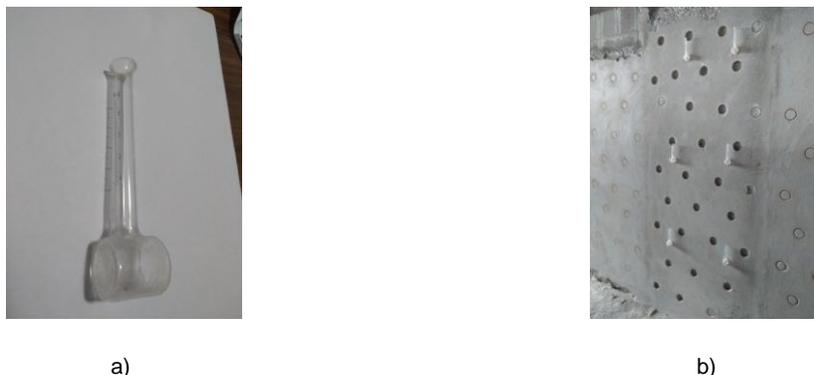


Figura 30: a) cachimbo de vidro graduado e; b) cachimbos fixos no revestimento prontos para ensaio

As leituras da quantidade de água absorvida foram realizadas minuto a minuto, num tempo não superior a 15 minutos por cachimbo, sendo que se adotou o coeficiente de permeabilidade calculado no intervalo entre o 2º e o 8º minuto, da mesma forma que Dias (2003) e Cechin (2017) realizaram nas suas respectivas pesquisas. O primeiro minuto de absorção foi desprezado, visto que o revestimento terá maior absorção de água e, a partir do nono minuto não haveria influência significativa no resultado (DIAS, 2003).

Para a determinação do coeficiente de permeabilidade do revestimento, adotou-se a metodologia proposta por Dias (2003) e também utilizada por Cechin (2017), que calcula tal coeficiente a partir da equação 9:

$$A_{2-8} \text{ (mL.min)} = \left(\frac{L_2}{2}\right) + L_3 + L_4 + L_5 + L_6 + L_7 + \left(\frac{L_8}{2}\right) \quad \text{Equação 9}$$

onde:

$A_{2-8}$  = coeficiente de permeabilidade do 2º ao 8º minuto;

$L_n$  = leitura do ensaio no  $n$ ésimo minuto;

$n$  = minutos em que são realizadas as leituras, iniciando a partir da inserção da água no cachimbo até a graduação 0,00 mL.

Com relação à quantidade de ensaios realizados por painel de revestimento, adotou-se a fixação dos cachimbos em 12 pontos, compreendendo 4 deles na altura inferior (até 0,60 m do piso), 4 deles na altura intermediária (entre 0,60 m e 1,60 m do piso) e

mais 4 pontos na altura superior (acima de 1,60 m do piso). Segundo Dias (2003) e Cechin (2017) este número de amostras analisadas já são suficientes para se ter uma confiabilidade estatística de 95%.

## 4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados dos ensaios e suas discussões realizadas no programa experimental.

Visando ter maior confiabilidade nos resultados obtidos realizou-se uma análise estatística pelo método de análise de variância (ANOVA), através do *software* MiniTAB 16. Além disso, tem como objetivo analisar quais fatores controláveis exercem influência nas variáveis de resposta, considerando uma significância ou não e com nível de confiabilidade estatística de 95%.

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DAS AREIAS

Nesta seção apresentam-se os resultados obtidos da caracterização física, parâmetros de forma das areias e análise estatística.

#### 4.1.1 Caracterização física das areias

A tabela 15 apresenta o resumo dos resultados obtidos da caracterização física das composições granulométricas das areias utilizadas na produção das argamassas de projeção.

Pode-se observar que o módulo de finura das areias compostas CG-APR, CG-VSI 1 e CG-CONV 1 apresentam valores iguais estando de acordo com valores da zona utilizável inferior, a qual varia de 1,55 a 2,20, segundo a NBR 7211 (ABNT, 2005). As demais areias apresentam valores de módulo de finura dentro do intervalo da zona ótima definido pela mesma norma, que varia de 2,20 a 2,90. A figura 31 mostra as curvas granulométricas das areias compostas comparadas com os limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo. Já na tabela 16 apresentam-se os valores limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo sugerido pela NBR 7211 (ABNT, 2005) como forma de comparar as curvas granulométricas das composições produzidas.

Tabela 15: composições granulométricas e características físicas das areias para as argamassas de projeção

Peneiras (mm)	CG-APR		CG-VSI		CG-CONV		CG-VSI 1		CG-CONV 1	
	%									
	% Ret.	% Ret. Acum								
0,6	6	6	60	60	44	44	6	6	6	6
0,3	58	64	30	90	25	69	58	64	58	64
0,15	32	96	8	98	18	87	32	96	32	96
0,074	4	100	2	100	13	100	4	100	4	100
Módulo de finura	1,66		2,48		2,00		1,66		1,66	
Diâmetro máximo	1,2		1,2		1,2		1,2		1,2	
Coef. de Uniformidade (Cu)	2,38		2,64		4,93		2,38		2,38	
Massa unitária (NBR NM 45/96)	1,65 g/cm <sup>3</sup>		1,70 g/cm <sup>3</sup>		1,67 g/cm <sup>3</sup>		1,63 g/cm <sup>3</sup>		1,61 g/cm <sup>3</sup>	
Massa específica (NBR NM 52/02)	2,82 g/cm <sup>3</sup>		2,80 g/cm <sup>3</sup>		2,80 g/cm <sup>3</sup>		2,64 g/cm <sup>3</sup>		2,63 g/cm <sup>3</sup>	
Índice de Vazios (NBR NM 45)	39,78%		37,50%		31,95%		40,57%		41,00%	
Absorção de água (NBR NM 53)	1,62%		1,83%		1,30%		1,21%		1,63%	

Tabela 16: limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo (adaptado da NBR 7211 (ABNT, 2005))

Peneira com abertura de malha (NBR NM ISO 3310-1)	Porcentagem, em massa, retida acumulada			
	Limites inferiores		Limites superiores	
	Zona utilizável	Zona ótima	Zona ótima	Zona utilizável
9,5 mm	0	0	0	0
6,3 mm	0	0	0	7
4,75 mm	0	0	5	10
2,36 mm	0	10	20	25
1,18 mm	5	20	30	50
600 µm	115	35	55	70
300 µm	50	65	85	95
150 µm	85	90	95	100

## Notas

1 O módulo de finura da zona ótima varia de 2,20 a 2,90;

2 O módulo de finura da zona utilizável inferior varia de 1,55 a 2,20;

3 O módulo de finura da zona utilizável superior varia de 2,90 a 3,50.

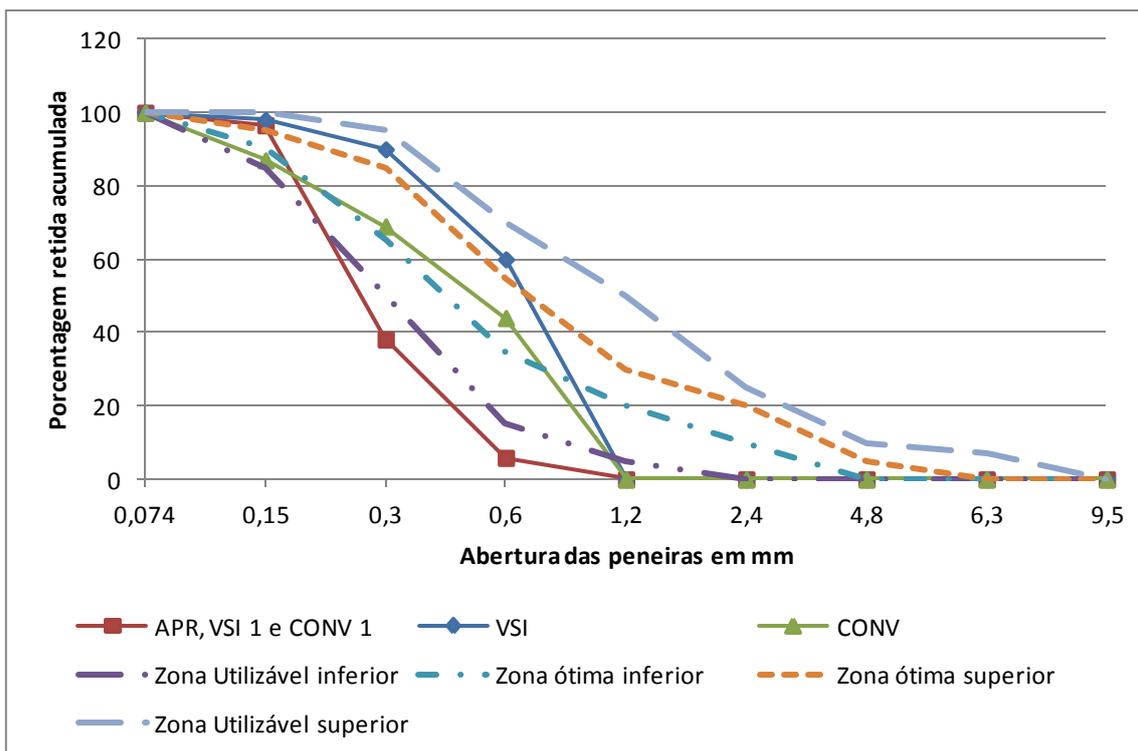


Figura 31: curvas granulométricas das areias compostas e limites de distribuição granulométrica do agregado miúdo

O coeficiente de uniformidade das areias compostas apresentaram valores considerados como sendo muito uniformes, apesar de apresentarem curvas granulométricas distintas. A composição CG-CONV possui maior valor de coeficiente de uniformidade, sendo este um indicativo de um material mais bem graduado que as demais e impactando, segundo Tristão (2005), em uma menor compacidade.

Não foi verificado grande diferença entre os valores de massa específica e massa unitária das composições CG-APR, CG-VSI e CG-CONV. E da mesma forma para as composições CG-VSI 1 e CG-CONV 1.

Os resultados de índices de vazios das composições mostraram que as composições CG-APR, CG-VSI, CG-VSI 1 e CG-CONV 1 obtiveram valores muito próximos, entre 37 e 41%, sendo que a CG-CONV mostrou resultado de 31,95%.

A absorção de água das areias compostas apresentaram valores próximos, destacando, apenas, o resultado da CG-VSI que foi superior das demais.

Já os resultados de análise da superfície específica dos agregados realizada pelo método de BET são apresentados na tabela 17.

Tabela 17: resultados das superfícies específicas

Agregado	Superfície específica
	m <sup>2</sup> /g
CG-APR	4.141
CG-VSI	6.780
CG-CONV	10.393
CG-VSI 1	4.028
CG-CONV 1	3.959

Como pode-se perceber os valores das superfícies específicas resultantes são muito parecidas para as composições CG-APR, CG-VSI 1 e CG-CONV 1. Isto pode verificar que, supostamente, pela mesma quantidade de finos apresentadas nas composições e, além disso, com a correção das granulometrias com APR e retirada de finos das areias de britagem provavelmente, proporcionaram valores próximos à CG-APR.

Para os agregados de britagem, CG-CONV e CG-VSI, os resultados mostraram-se distintos e com valores bem superiores às anteriores. Pode-se perceber que a composição CG-CONV 1 apresentou maior porcentagem de material fino retido na na peneira #0,074 mm e, comparativamente, é cerca de 3 vezes maior que outras, sugerindo um maior valor de superfície específica.

#### 4.1.2 Caracterização dos parâmetros de forma das areias compostas

Para análise dos parâmetros de forma das areias foi utilizada a lupa estereoscópica para a obtenção das imagens de cada fração granulométrica para, posteriormente, analisar visualmente, processá-las e calcular a esfericidade, arredondamento e o fator forma.

##### 5.1.2.1 Análise visual

No Apêndice A, pode-se visualizar parte das imagens obtidas através da lupa estereoscópica das frações das composições granulométricas utilizadas para a produção das argamassas de projeção.

Na tabela 18 destacam-se a análise visual da superfície dos grãos, de acordo com a NBR 7389 (ABNT, 2009), que classifica a superfície dos grãos em polido, fosco ou rugoso.

Pode-se observar que a composição CG-APR apresenta superfícies dos seus grãos típicos de areias naturais oriundas de depósitos aluvionares, onde há a predominância de grãos de quartzo polidos e transparentes. Este tipo de material é de grande

importância para a fabricação de concretos e argamassas, pois geram menor atrito interno facilitando a trabalhabilidade

Tabela 18: análise visual da superfície dos grãos das frações das composições granulométricas

CG	Aspectos visuais para cada fração			
	0,6 mm	0,3 mm	0,15 mm	0,074 mm
CG-APR	polida e fosca	polida	polida	polida
CG-VSI	rugosa	rugosa	rugosa	fosca e rugosa
CG-CONV	rugosa	rugosa	rugosa	fosca e rugosa
CG-VSI 1	rugosa	polida e rugosa	polida e rugosa	polida e rugosa
CG-CONV 1	rugosa	polida e rugosa	polida e rugosa	polida e rugosa

Já as areias de britagem, em especial as composições formadas por areia de britagem de basalto utilizadas neste trabalho, CG-VSI e CG-CONV, respectivamente, apresentam superfícies com predominância rugosa. Esse resultado depende da origem e composição da rocha matriz (SIMS e BROWN, 2005) e resultado do processamento do basalto que passou pela redução da granulometria através o impacto entre o material e o britador. Como a rocha basáltica é densa, de grande dureza e frágil, sua fragmentação gera planos de fraturas aleatórias gerando superfícies irregulares e rugosas dos grãos. Além disso, segundo Briggs e Evertsson (1998), Tavares (2005) e Gonçalves *et al.* (2007), o tipo de processo de britagem pelo qual a rocha foi submetida influencia diretamente na classificação, na forma, na textura da superfície e até mesmo na integridade do agregado e, portanto, no seu desempenho em concretos e argamassas. Por outro lado, a fração 0,074 mm das composições apresentam superfícies foscas e rugosas em função da presença de sílica na sua composição mineralógica.

Nas duas composições granulométricas corrigidas, respectivamente CG-VSI 1 e CG-CONV 1, verificou-se que, com a correção com areia APR em cada fração, houve um melhoramento na classificação de superfície, visto que apresentou-se a presença das partículas polidas da areia APR em meio das rugosas da areia de britagem. Assim, entende-se que, de um modo geral, tal correção supõe um melhoramento nos parâmetros de forma e, conseqüentemente, nos parâmetros reológicos das argamassas produzidas.

#### 4.1.2.2 Forma, arredondamento e esfericidade

De forma esquemática, nas tabelas 19 e 20, apresentam-se os valores médios de forma (F), arredondamento (Ar) e esfericidade (Es) de cada fração e os valores médios de forma, arredondamento e esfericidade das composições granulométricas utilizadas para a produção das argamassas de projeção. Tais valores foram obtidos através da análise de imagens utilizando o software livre *ImageJ*.

Tabela 19: valores médios individuais de forma (F), arredondamento (Ar) e esfericidade (Es) de cada fração

Fração	CG-APR			CG-VSI			CG-CONV			CG-VSI 1			CG-CONV 1		
	F	Ar	Es	F	Ar	Es	F	Ar	Es	F	Ar	Es	F	Ar	Es
0,6 mm	0,68	0,69	0,83	0,55	0,67	0,76	0,66	0,66	0,76	0,55	0,67	0,76	0,66	0,65	0,76
0,3 mm	0,75	0,71	0,84	0,71	0,70	0,79	0,65	0,68	0,77	0,73	0,72	0,80	0,70	0,69	0,78
0,15 mm	0,79	0,75	0,87	0,74	0,72	0,80	0,71	0,70	0,78	0,75	0,72	0,81	0,77	0,72	0,81
0,074 mm	0,75	0,72	0,85	0,77	0,71	0,80	0,77	0,73	0,80	0,75	0,72	0,79	0,77	0,72	0,81

Tabela 20: valores médios de forma, arredondamento e esfericidade das composições granulométricas

CG	FORMA	ARREDONDAMENTO	ESFERICIDADE
CG-APR	0,74	0,72	0,84
CG-VSI	0,69	0,70	0,79
CG-CONV	0,70	0,69	0,78
CG-VSI 1	0,70	0,71	0,79
CG-CONV 1	0,73	0,70	0,79

A fim de analisar a influência da forma nas composições, realizou-se uma análise de variância (ANOVA), com nível de confiabilidade de 95%, dos fatores controláveis (CG) sobre os valores de forma (F), arredondamento (Ar) e esfericidade (Es) obtidos através do tratamento de imagens pelo *ImageJ*. As diferenças são consideradas significativas quando fator  $p < 0,05$ , onde  $p$  é a probabilidade de os valores serem iguais. Assim, apresenta-se, na tabela 21, a análise das médias das respectivas composições granulométricas.

Pode-se perceber que existem diferenças significativas entre as médias das variáveis analisadas, tendo como fatores controláveis as composições granulométricas e variáveis de resposta a forma, arredondamento e esfericidade.

Analisando os intervalos de confiança das médias da forma das composições granulométricas, na figura 32, pode-se verificar que as médias mais elevadas obtidas foram a CG-APR, seguida da CG-CONV 1 e podendo-se afirmar que elas se mostraram diferentes entre si. Já as composições CG-VSI, CG-CONV e CG-VSI 1 não

apresentaram diferenças entre si, porém com médias menores e diferentes quando comparadas com as anteriores.

Tabela 21: ANOVA dos fatores controláveis (CG) propostos sobre as variáveis de resposta

	SQ	GDL	MQ	F	Fator p	Significativo
F	3,7334	4	0,9334	93,91	0,000	0,000*
Ar	0,8742	4	0,2185	12,44	0,000	0,000*
Es	5,63926	4	1,40981	263,57	0,000	0,000*

SQ: soma quadrática; GDL: graus de liberdade; MQ: média quadrática; F<sub>calc</sub>: valor calculado de F  
\*significativo a 5% de significância

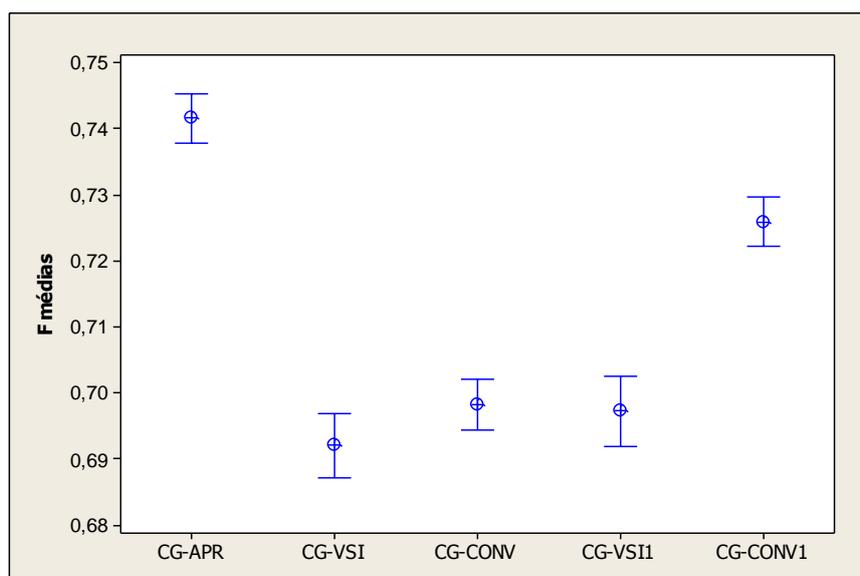


Figura 32: intervalos de confiança das médias da forma das composições granulométricas

No intervalo de confiança das médias de arredondamento das composições granulométricas, na figura 33, observa-se que novamente as médias obtidas para a CG-APR foram a de maior valor e consideradas significativamente diferentes entre as demais. Por outro lado, as outras composições apresentaram valores semelhantes entre si, apesar da pequena variação entre elas.

Como forma de classificar os grãos das composições utilizou-se a tabela 20 sugerida por Powers (1953) já apresentada no capítulo 3. Dessa forma, considera-se que as composições CG-APR, CG-VSI 1, CG-VSI e CG-CONV 1 são bem arredondadas, pois apresentaram valores médios acima de 0,70. Por outro lado, a CG-CONV classificou-se como sendo arredondado, pois o valor de arredondamento ficou em 0,69.

O resultado de maior arredondamento da CG-APR pode ser entendido levando em conta a análise visual da superfície realizada anteriormente na tabela 19, sendo que a mesma apresenta superfícies predominantemente polidas, gerando assim, menores

áreas das partículas, já que esse fator depende da área de projeção e do diâmetro máximo das partículas.

Por outro lado, percebe-se que as sensíveis diferenças entre as composições iniciais de CG-VSI e CG-CONV e suas respectivas composições corrigidas, CG-VSI 1 e CG-CONV 1, são resultado da adição de partículas polidas nas frações que apresentaram defasagem de grãos. Nesse sentido, pode-se considerar que houve uma melhora no resultado dos valores de arredondamento das composições CG-VSI 1 e CG-CONV 1.

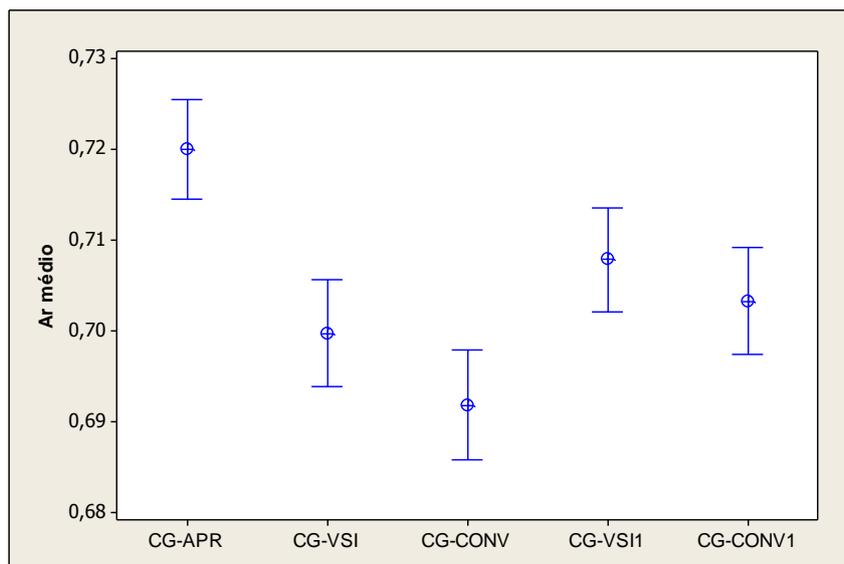


Figura 33: Intervalos de confiança das médias do arredondamento das composições granulométricas

Já no intervalo de confiança da análise das médias de esfericidade das composições granulométricas, pode-se notar que, da mesma forma que os resultados anteriores de forma e arredondamento, a composição CG-APR apresentou maiores valores em comparação com as outras composições. Dessa forma, conclui-se que existe uma diferença significativa em relação às demais. Em contrapartida, as composições CG-VSI, CG-VSI 1 e CG-CONV1 apresentaram valores semelhantes entre si, mostrando que praticamente não existe diferença significativa. E, como era de se esperar, a composição CG-CONV apresentou valores significativamente diferente das demais areias e opostas à CG-APR, mostrando que sua esfericidade é prejudicada pela forma de britagem, resultando em grãos mais alongados, como pode ser visualizado no Apêndice A.

De forma geral, a esfericidade das composições corrigidas com CG-APR resultaram em valores superiores que as composições iniciais, destacando-se os intervalos de

confiança de CG-CONV e CG-CONV 1 que demonstraram ser diferentes significativamente.

Do mesmo modo que o arredondamento, pode-se classificar as composições estudadas de acordo com a tabela de Powers (1953). Considera-se, assim, que a composição CG-APR possui grãos com alta esfericidade. Analisando individualmente as frações, no Apêndice A, pode-se perceber que a fração 0,60 mm da mesma apresenta grãos ligeiramente alongados, concluindo-se que sua esfericidade é baixa. Porém, a medida que as frações vão diminuindo, percebe-se que os grãos apresentam alta esfericidade, apresentando superfícies mais lisas e polidas.

Já as demais composições apresentam esfericidade baixa em função do ligeiro alongamento de suas formas.

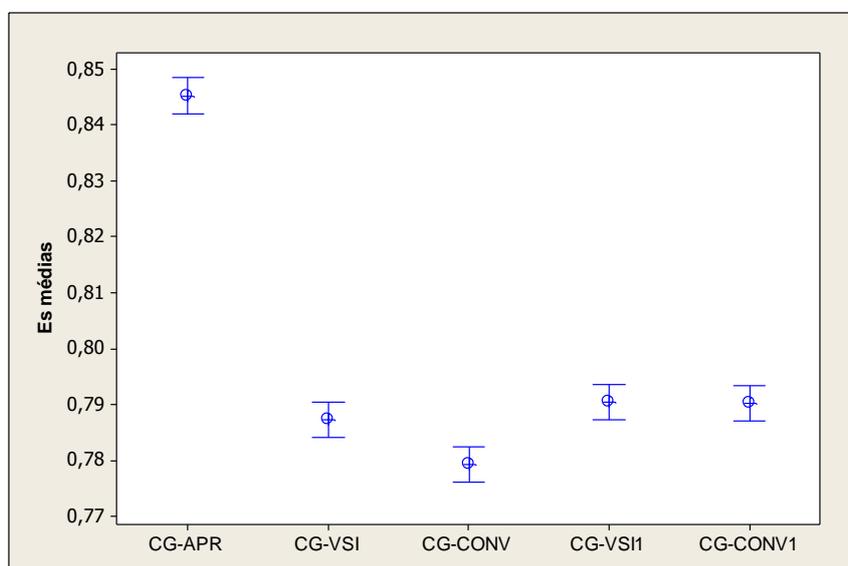


Figura 34: Intervalos de confiança das médias da esfericidade das composições granulométricas

A fim de realizar uma análise de todas as interações que ocorrem entre as composições estudadas, efetuou-se uma análise múltipla de médias através do método de Fisher, também pelo *software* MiniTab 16. A seguir são apresentados os resultados das análises do impacto da forma, do arredondamento e da esfericidade, respectivamente nas tabelas 22, 23 e 24.

Como era de se esperar, existem diferenças significativas nas interações tanto da forma, do arredondamento quanto da esfericidade entre a composição CG-APR e as demais, mostrando que a origem da areia natural é fator primordial, comprovando assim os resultados obtidos na análise de variância realizada anteriormente.

Tabela 22: análise múltipla de médias pelo Método de Fisher o impacto da forma nas composições granulométricas

	CG-APR	CG-VSI	CG-CONV	CG-VSI 1	CG-CONV 1
CG-APR		S	S	S	S
CG-VSI	S		NS	NS	S
CG-CONV	S	NS		NS	S
CG-VSI 1	S	NS	NS		S
CG-CONV 1	S	S	S	S	

S - Significativo; NS - Não Significativo

Tabela 23: análise múltipla de médias pelo Método de Fisher o impacto da arredondamento nas composições granulométricas

	CG-APR	CG-VSI	CG-CONV	CG-VSI 1	CG-CONV 1
CG-APR		S	S	S	S
CG-VSI	S		NS	NS	NS
CG-CONV	S	NS		NS	S
CG-VSI 1	S	NS	NS		NS
CG-CONV 1	S	NS	S	NS	

S - Significativo; NS - Não Significativo

Tabela 24: análise múltipla de médias pelo Método de Fisher o impacto da esfericidade nas composições

	CG-APR	CG-VSI	CG-CONV	CG-VSI 1	CG-CONV 1
CG-APR		S	S	S	S
CG-VSI	S		S	NS	NS
CG-CONV	S	S		S	S
CG-VSI 1	S	NS	S		NS
CG-CONV 1	S	NS	S	NS	

S - Significativo; NS - Não Significativo

Pode ser destacado o resultado da interação da forma entre a composição CG-CONV 1, que apresentou diferença significativa, em relação às demais areias. Esse fato pode ser entendido, como já discutido anteriormente, em virtude da composição CG-CONV apresentar formato mais alongado e angular em função da forma como foi britada e, com a correção da sua granulometria e, conseqüentemente, da sua forma, com CG-APR gerou um significativo melhoramento desse valor. E pode-se observar a mesma diferença significativa nas suas interações de arredondamento e esfericidade (CG-CONV 1) com sua composição inicial (CG-CONV).

Observando o resultado das interações entre as composições CG-VSI e CG-CONV, pode-se dizer que não existem diferenças estatisticamente significativas. Por outro lado, se observarmos pontualmente, na tabela 18 das médias individuais dos fatores de forma anteriormente apresentada, pode-se notar que ocorre uma sensível diferença entre elas, mostrando que a composição CG-VSI possui valores levemente maiores

que a CG-CONV. Tais diferenças só são significativas entre elas quando examinadas a interação na análise múltipla da esfericidade.

Nesse sentido, Czarnecka e Gillott (1982) relatam que a forma é o fator dominante que contribui para a rugosidade total que engloba todas as características. As partículas esmagadas por um britador de mandíbula, por exemplo, são muito mais alongadas e retangulares do que as partículas que passam por um britador de cone, um britador VSI ou um moinho de rolos.

Levando em conta as propriedades reológicas de argamassas produzidas com estes materiais, Erdogan *et al.* (2008) afirmam que a forma e a rugosidade dos agregados geram grande efeito na viscosidade plástica e, em menor grau, na tensão de escoamento. Essas comparações serão feitas com maior profundidade na análise reológica das argamassas produzidas na sequência.

## 4.2 CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS DE PROJEÇÃO PRODUZIDAS

Nesta seção apresentam-se os resultados obtidos na caracterização das argamassas de projeção produzidas em laboratório nos seus estados fresco e endurecido.

A nomenclatura das argamassas, assim como o seu proporcionamento, seguem as definições apresentadas anteriormente, em 4.3.3.

### 4.2.1 Caracterização no estado fresco

Nas tabelas 25 e 26, mostram-se os resultados médios obtidos nos ensaios de caracterização no estado fresco das argamassas de projeção produzidas em laboratório.

No Apêndice B apresentam-se todos os valores individuais medidos nos ensaios de caracterização no estado fresco.

O índice de consistência das argamassas encontram-se na tabela 25. Fixou-se inicialmente um valor de  $260 \pm 5$  mm. Tal valor baseou-se na NBR 13276 (ABNT, 2016), na qual preconiza que quando não houver nenhuma informação da quantidade de água deve-se buscar tal valor de índice de consistência. Entretanto, aumentou-se a faixa de variação para  $260 \pm 15$  mm, uma vez que verificou-se durante o ensaio que era necessário corrigir para mais ou para menos o volume de água adicionado, pois

percebeu-se que a mistura não estava com o aspecto ideal para uma argamassa de projeção.

Os índices de consistência ficaram entre 246,7 mm a 273,5 mm e com baixo fator A/Ms, os quais variaram entre 0,18 a 0,25.

Tabela 25: índices de consistências médios das argamassas de projeção

ARGAMASSA	lc <sub>médio</sub> mm	Sd mm	CV %	A/Ms
T1 APR	259,0	0,20	0,77	0,25
T2 APR	267,7	0,25	0,94	0,22
T3 APR	268,7	0,57	2,12	0,21
T1 VSI	259,5	0,70	2,68	0,22
T2 VSI	261,8	0,41	1,56	0,19
T3 VSI	255,7	0,35	1,36	0,18
T1 CONV	273,5	0,41	1,52	0,24
T2 CONV	259,1	0,35	1,36	0,22
T3 CONV	259,5	0,40	1,53	0,21
T1 VSI 1	259,6	0,33	1,25	0,23
T2 VSI 1	251,2	0,17	0,66	0,22
T3 VSI 1	246,7	0,24	0,99	0,21
T1 CONV 1	271,7	0,35	1,29	0,25
T2 CONV 1	263,1	0,55	2,09	0,22
T3 CONV 1	255,7	0,26	1,00	0,22

Sd: desvio padrão; CV: coeficiente de variação; lc<sub>médio</sub>: índice de consistência médio; A/Ms: relação água materiais secos

Quanto à retenção de água, apresentado na tabela 26, não se percebe uma grande variação, sendo que todas obtiveram a mesma classificação conforme NBR 13281 (2005). Esse fato se justifica, primeiramente, pela quantidade de aglomerantes utilizada, que foi padronizada para todos os traços em 1:1 (cimento e cal) em massa, resultando numa quantidade razoável de finos, que são aqueles que regem esta propriedade. Além disso, aqueles traços que apresentam mais finos, naturalmente, necessitaram de mais água de amassamento. Em segundo lugar, as frações utilizadas para a composição das areias foram aquelas passantes na peneira de malha 1,2 mm, resultando num material com maior superfície específica. Outro fato muito importante foi o uso da mesma porcentagem dos aditivos retentor de água e incorporador de ar em todos os traços, o que auxiliou em manter a água de amassamento, visto que o teor A/Ms utilizado foi baixo e, segundo Cincotto *et al.* (1995) e Alves (2002), este último aditivo influencia na retenção da água, obstruindo a percolação de água capilar. E, por fim, Do Ó (2004) afirma que a associação desses dois aditivos incrementa a capacidade da argamassa em reter água.

Tabela 26: retenção de água média das argamassas de projeção

ARGAMASSA	Retenção de água (%)	Sd (%)	CV (%)	Classificação NBR 13281 (2005)
T1 APR	98,52	0,48	0,48	U6
T2 APR	97,96	0,71	0,73	U6
T3 APR	97,30	0,30	0,31	U6
T1 VSI	98,87	0,08	0,09	U6
T2 VSI	97,52	0,40	0,41	U6
T3 VSI	97,31	0,26	0,27	U6
T1 CONV	98,05	0,37	0,37	U6
T2 CONV	95,96	0,36	0,37	U6
T3 CONV	94,59	0,44	0,46	U6
T1 VSI 1	98,99	0,26	0,26	U6
T2 VSI 1	98,75	0,15	0,15	U6
T3 VSI 1	97,73	0,57	0,58	U6
T1 CONV 1	97,95	0,35	0,36	U6
T2 CONV 1	96,70	0,60	0,62	U6
T3 CONV 1	96,38	0,48	0,49	U6

Sd: desvio padrão; CV: coeficiente de variação

Com relação à densidade de massa no estado fresco das argamassas, conforme tabela 27, percebe-se que ocorreram pequenas variações entre os valores dos traços de uma forma geral. Deve-se destacar que, com a correção da granulometria das composições CG-VSI e CG-CONV, houve uma redução na densidade de massa das argamassas nos traços que receberam as composições corrigidas, quais sejam CG-VSI 1 e CG-CONV 1, sendo que a menor redução ocorreu com o traço T1 VSI 1, na ordem de 0,50% e as maiores diferenças ocorreram nos traços T3 VSI 1 e T3 CONV 1, com valores de 16,89% e 18,21%, respectivamente. Já os outros traços obtiveram redução entre 3,80% a 7,70%. Esta redução é função das massas unitárias das composições corrigidas apresentarem valores ligeiramente menores que as composições iniciais.

Dessa forma, as argamassas foram classificadas de acordo com a NBR 13281 (2005) como sendo D3 (8 traços), D4 (5 traços) e D5 (2 traços).

No que se refere ao ar incorporado a variação dos valores medidos foi de até 42% entre as argamassas, que foram os casos da argamassa T1 VSI 1, com maior valor medido (6,50%) e as argamassas T1 CONV 1, T2 CONV 1 com menores valores medidos (3,80%), como pode ser visto na tabela 28. Essa diferença pode ter ocorrido em função do empacotamento das partículas do agregado (STOLZ, 2015).

Tabela 27: densidade de massa no estado fresco das argamassas de projeção

ARGAMASSA	Densidade de massa (Kg/m <sup>3</sup> )	Sd (Kg/m <sup>3</sup> )	CV (%)	Classificação NBR 13281 (2005)
T1 APR	1587	29,99	1,89	D3
T2 APR	1599	51,80	3,24	D3
T3 APR	1523	39,91	2,62	D3
T1 VSI	1631	49,56	3,04	D4
T2 VSI	1564	33,53	2,14	D3
T3 VSI	1771	49,54	2,80	D4
T1 CONV	1797	57,73	3,21	D4
T2 CONV	1874	37,11	1,98	D5
T3 CONV	1904	36,07	1,89	D5
T1 VSI 1	1624	64,62	3,98	D3
T2 VSI 1	1504	54,52	3,62	D3
T3 VSI 1	1472	68,45	4,65	D3
T1 CONV 1	1711	71,07	4,15	D4
T2 CONV 1	1730	30,71	1,78	D4
T3 CONV 1	1557	47,68	3,06	D3

Sd: desvio padrão; CV: coeficiente de variação

Tabela 28: ar incorporado das argamassas de projeção

ARGAMASSA	Ar incorporado (%)	Sd (%)	CV (%)	Classificação NBR 13281 (2005)
T1 APR	4,40	0,40	9,09	NA
T2 APR	4,00	0,20	5,00	NA
T3 APR	5,30	0,17	3,27	NA
T1 VSI	5,70	0,10	1,75	NA
T2 VSI	6,00	0,20	3,33	NA
T3 VSI	5,80	0,40	6,90	NA
T1 CONV	3,97	0,15	3,85	NA
T2 CONV	4,50	0,20	4,44	NA
T3 CONV	4,00	0,20	5,00	NA
T1 VSI 1	6,50	0,20	3,08	NA
T2 VSI 1	6,00	0,20	3,33	NA
T3 VSI 1	5,80	0,10	1,72	NA
T1 CONV 1	3,80	0,10	2,63	NA
T2 CONV 1	3,80	0,10	2,63	NA
T3 CONV 1	3,90	0,10	2,56	NA

Sd: desvio padrão; CV: coeficiente de variação; NA: não se aplica

#### 4.2.1.1 Squeeze-flow

Neste item apresentam os resultados obtidos através da caracterização reológica pelo ensaio de *squeeze-flow* nos tempos de 10 e 60 minutos, com velocidade de 3 mm/s e nos tempos de 15 e 65 minutos, com velocidade de 0,1 mm/s. Tais procedimentos são normalizados conforme a NBR 15839 (ABNT, 2010).

Para melhor entendimento, apresentam-se, inicialmente, os resultados obtidos para cada tempo e velocidade, separados por composição granulométrica. Posteriormente, apresentam-se um cruzamento entre cada traço estudado.

A figura 35 apresenta os resultados do referido ensaio nos tempos de 10 minutos e velocidade de 3 mm/s de aplicação da carga. Assim, percebe-se que o comportamento dos traços T1 T2 e T3 APR apresentaram comportamento diferenciado com relação aos demais. Nessas três curvas percebe-se que as cargas aplicadas para deformar as argamassas foram bem menores que as demais. Além disso, existem variações bruscas e sucessivas de carga durante a fase plástica, podendo ser entendida como um alívio de carga, provocado, provavelmente, pela expulsão do ar incorporado na argamassa, à medida que aumenta a carga. Por outro lado, apesar da velocidade de aplicação ser alta, o ensaio finalizou próximo ao valor de deslocamento máximo previsto para o mesmo, que é de 10 mm.

A maioria das outras argamassas apresentaram comportamentos semelhantes entre si, apresentando grandes deformações em baixos níveis de forças. O aumento repentino da força próximo ao final do ensaio é resultado da compressão do agregado miúdo na placa da base do ensaio.

Quando as argamassas foram submetidas a solicitações mais lentas (0,1 mm/s) e com tempo de 15 minutos a maioria delas apresentaram comportamentos semelhantes tendo um grande patamar de deslocamento durante o fluxo plástico, como mostra a figura 36. Destaque para as argamassas T3 VSI, T2 CONV e T3 CONV que apresentaram os menores deslocamentos em função do maior tempo para o rearranjo das partículas mais grossas inseridas na pasta, fazendo com que as argamassas escoem com maior dificuldade, visto que encontram maior atrito entre as mesmas. Por outro lado, observa-se nas argamassas T1, T2 e T3 VSI 1 o mesmo comportamento que nas argamassas T1, T2 e T3 APR quando essas últimas foram submetidas a aplicação de velocidade de 3 mm/s, com variações bruscas de carga de baixa intensidade e largo deslocamento, sendo que estas tiveram os maiores resultados de ar incorporado.

10 minutos

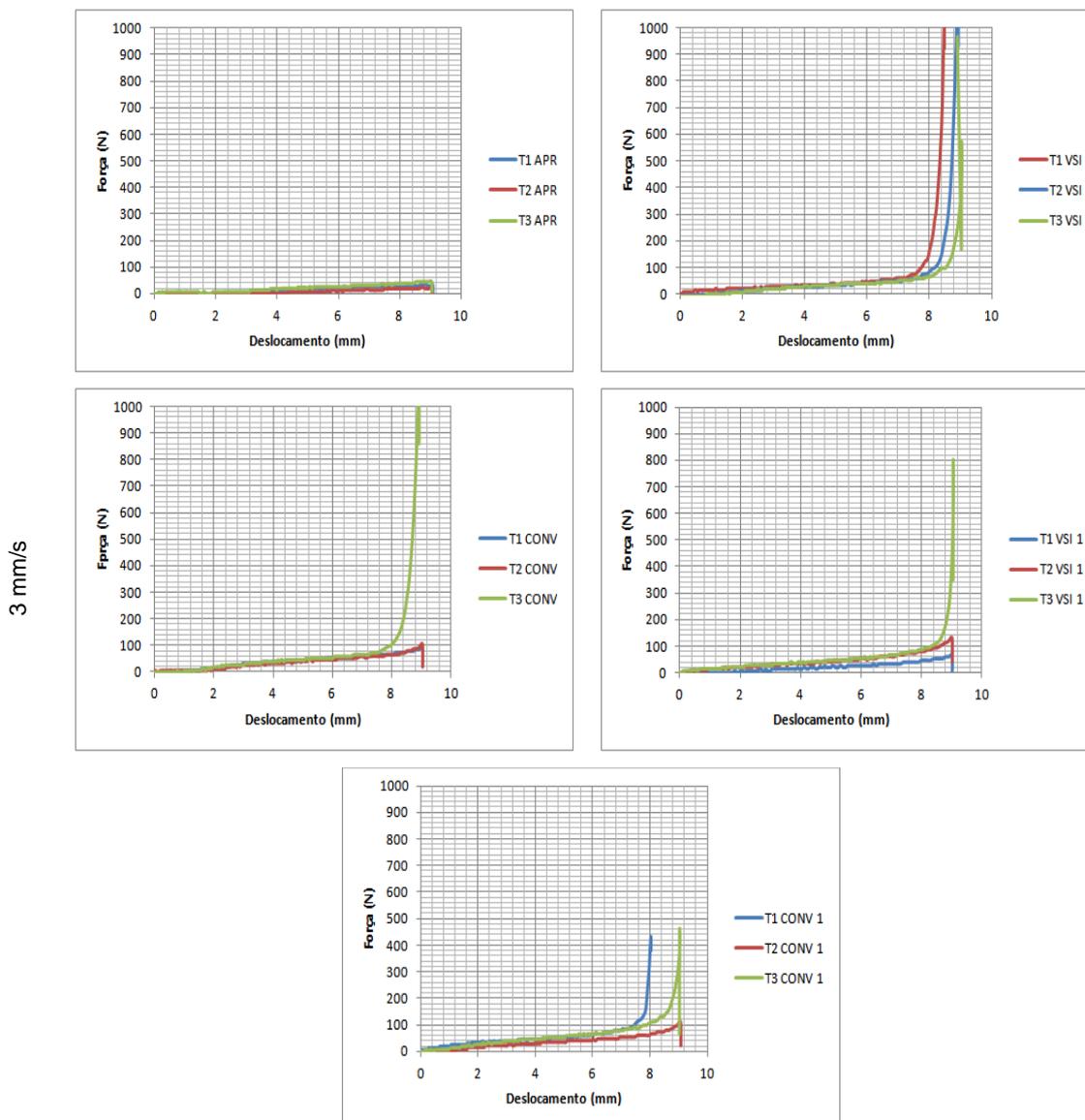


Figura 35: comportamento das argamassas separadas por composição granulométrica, no ensaio de *squeeze-flow*, no tempo de 10 minutos com velocidade de 3 mm/s

15 minutos

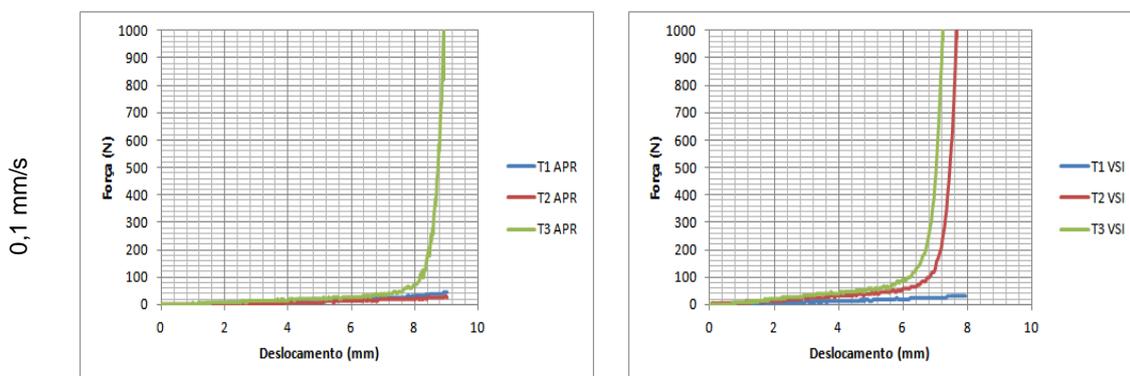


Figura 36: comportamento das argamassas separadas por composição granulométrica, no ensaio de *squeeze-flow*, no tempo de 15 minutos com velocidade de 0,1 mm/s

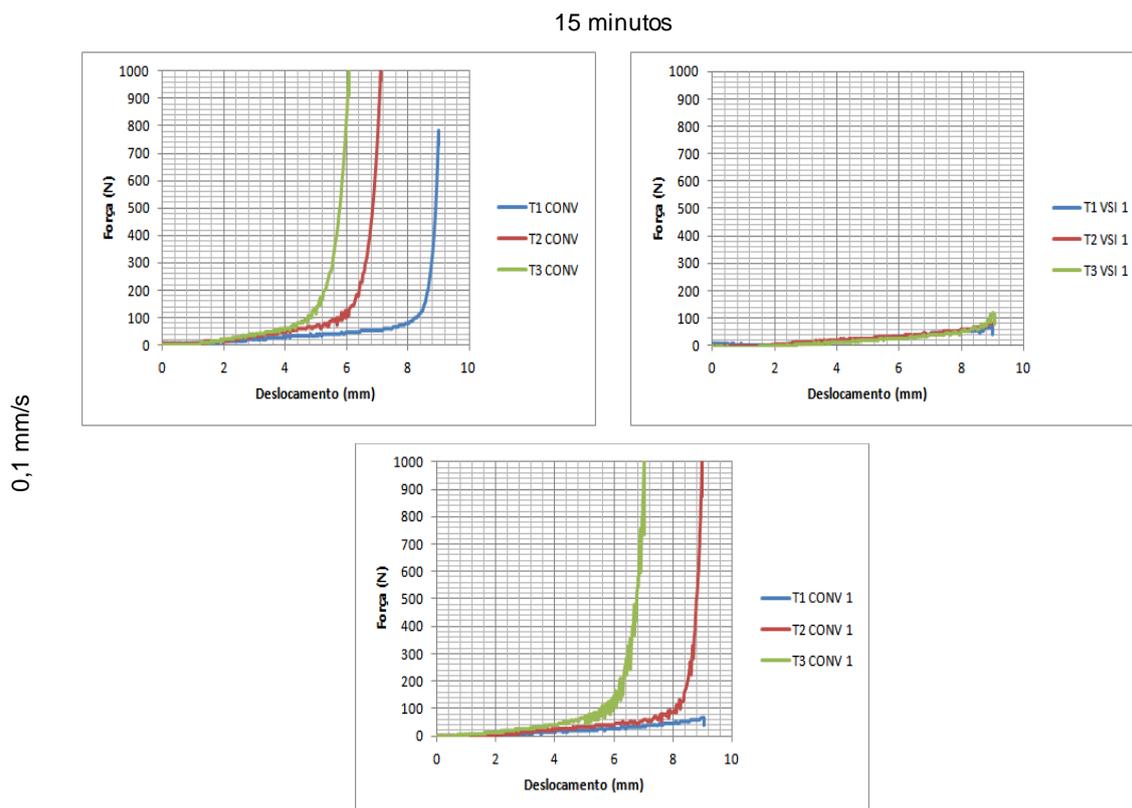


Figura 36: comportamento das argamassas separadas por composição granulométrica, no ensaio de *squeeze-flow*, no tempo de 15 minutos com velocidade de 0,1 mm/s (continuação)

Ao analisar na figura 37 o comportamento das argamassas passados 60 minutos após a mistura e com velocidade de 3 mm/s, observa-se o traço T3 APR, que apresentou um comportamento anormal em relação aos outros, bem como no tempo de 65 minutos e com 0,1 mm/s. Percebe-se que ocorreu uma deformação muito grande com valor de força quase zero, vindo a ter um pico de força com pequeno deslocamento, provavelmente pelo rearranjo dos agregados até que a força de atrito entre eles aumentasse. E com a argamassa T1 VSI ocorreu o mesmo fenômeno com as duas velocidades.

Por outro lado, verifica-se que o comportamento das outras argamassas foram semelhantes com relação aos ensaios com tempo de 15 minutos e velocidade de 0,1 mm/s, dado o tempo em aberto entre os ensaios. Destaca-se nessa análise que a argamassa T3 CONV 1 demonstrou um comportamento com variação no fluxo plástico, pois apresentou uma certa turbulência no decorrer da aplicação da força. Isso pode ser explicado, de acordo com Cardoso (2009), que algumas partículas finas aglomeradas na pasta são desmanchadas no decorrer da aplicação da carga, causando tal perturbação.

60 minutos

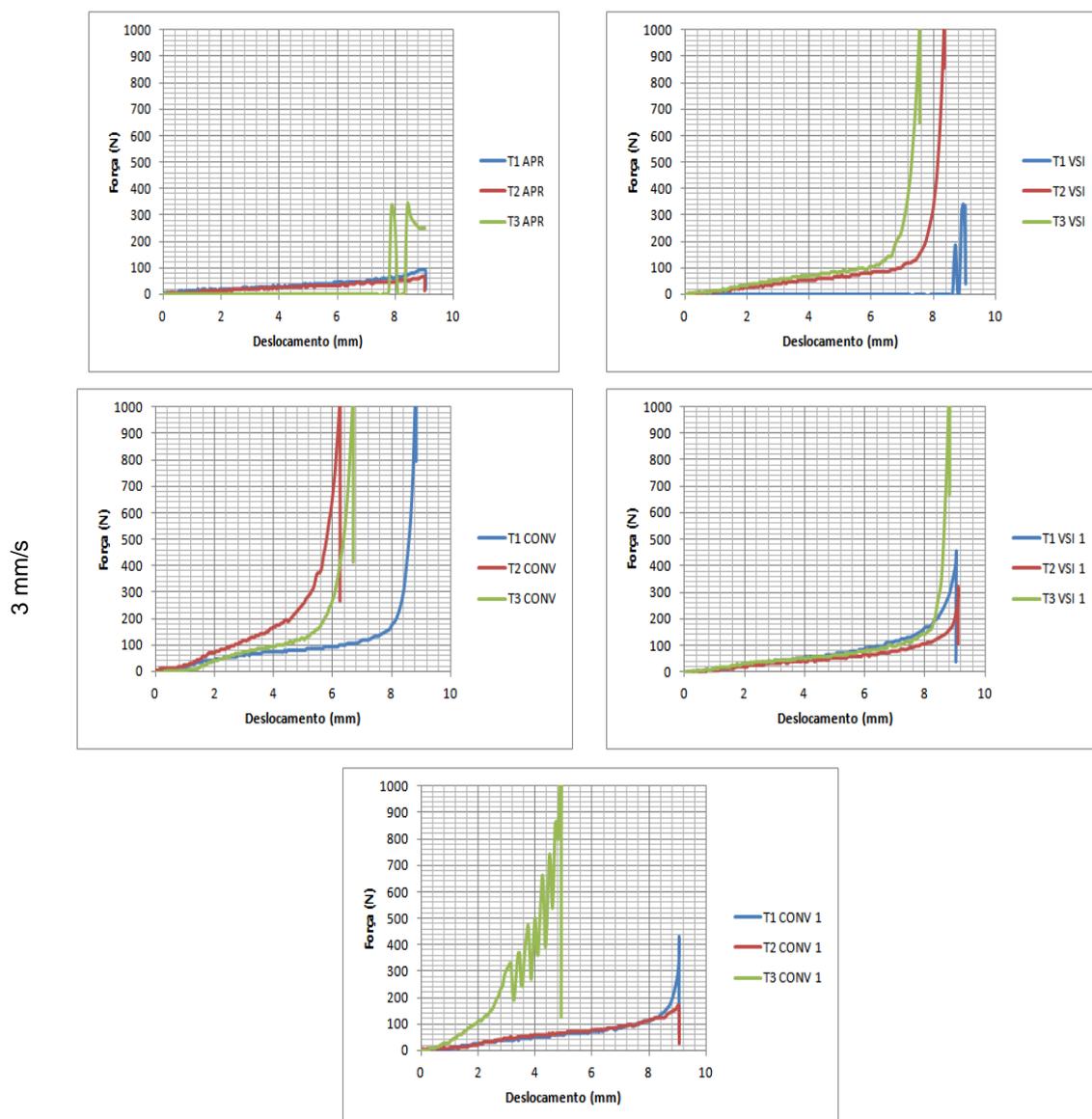


Figura 37: comportamento das argamassas separadas por composição granulométrica, no ensaio de *squeeze-flow*, no tempo de 60 minutos com velocidade de 3 mm/s

No que se refere ao comportamento das argamassas no tempo 65 minutos e velocidade de 0,1 mm/s pode-se notar na figura 38 que a maioria das argamassas apresentaram uma certa resistência à deformação plástica fazendo com que este patamar fosse mais curto e logo elevando a carga devido ao enrijecimento em função do aumento do atrito entre as partículas da areia e a deformação das mesmas. Por outro lado, nas argamassas T1, T2 e T3 APR e T2 VSI 1 as cargas aplicadas para deformá-las foram bem menores que as demais e mantiveram um patamar longo de deformação plástica mesmo em baixa velocidade. Este fato pode ser explicado, segundo Romano *et al.* (2015) em função de que o ar incorporado nas argamassas resulta em misturas com maior distância entre os agregados, facilitando que a pasta

envolva as partículas de areia, diminuindo assim a carga para deformá-la. Além disso, estas argamassas são aquelas que resultaram maiores valores de retenção de água, o que garantiu a plasticidade por maior tempo.

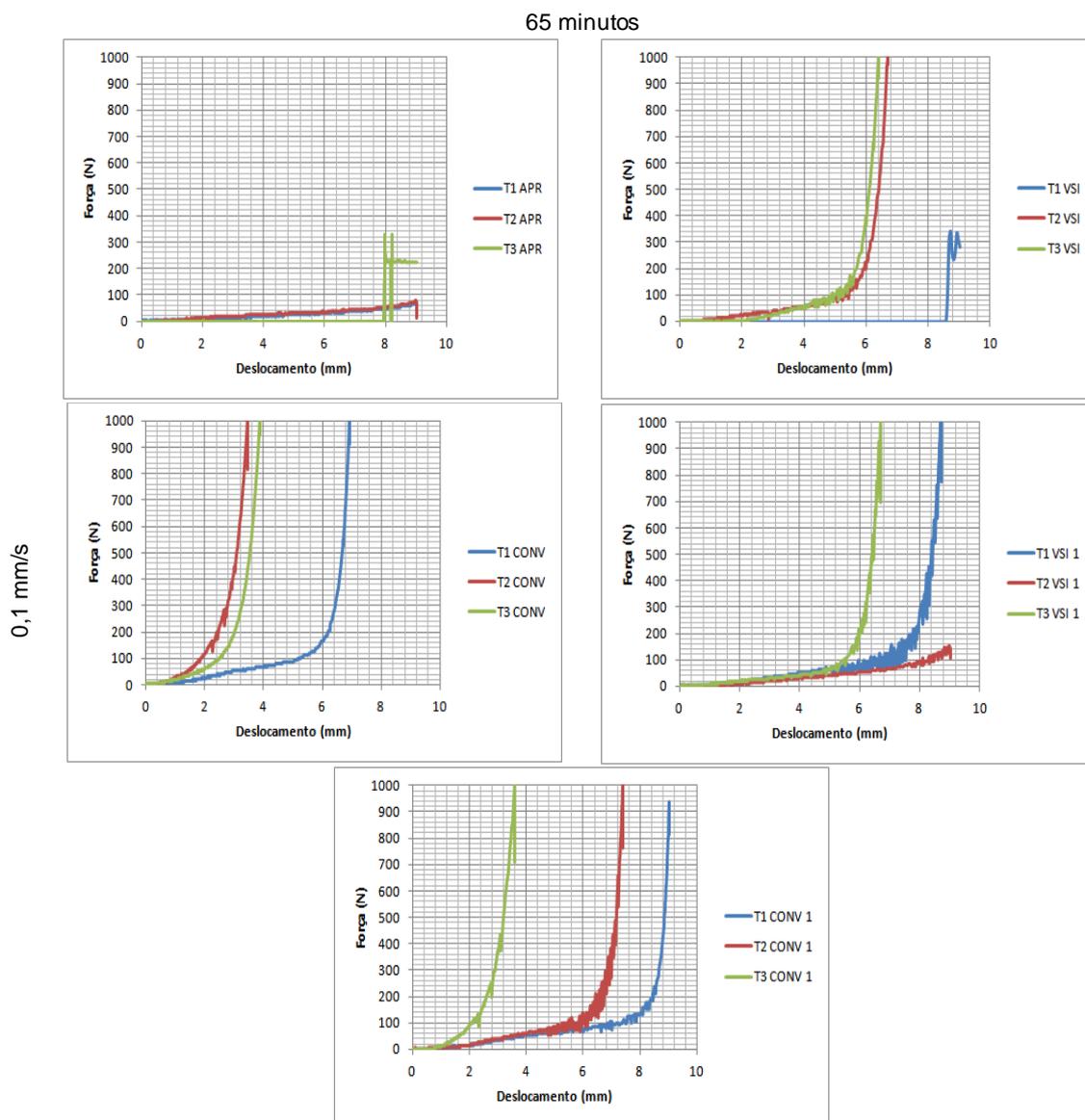


Figura 38: comportamento das argamassas separadas por composição granulométrica, no ensaio de *squeeze-flow*, no tempo de 65 minutos com velocidade de 0,1 mm/s

Nas figuras 39 a 42 apresentam-se o cruzamento dos resultados dos ensaios de *squeeze-flow* em relação às composições granulométricas com mesmo traço, nos diferentes tempos após a mistura e diferentes velocidades de aplicação das cargas.

Analisando o comportamento das argamassas apresentada na figura 39, pode-se constatar que a maioria dos traços obtiveram praticamente a mesma tendência de deformação plástica durante a aplicação da carga. Destaca-se os traços com a composição CG-VSI que nas três situações apresentaram um enrijecimento mais

acentuado que os demais, assim como os traços T3, os quais são compostos pela proporção 1:1:8. Essa última situação pode ser entendida pela maior presença da quantidade de agregado na argamassa, que resulta em menor relação aglomerante/agregado e também pela forma irregular dos agregados. Apenas o traço T3 APR manteve a tendência das outras argamassas.

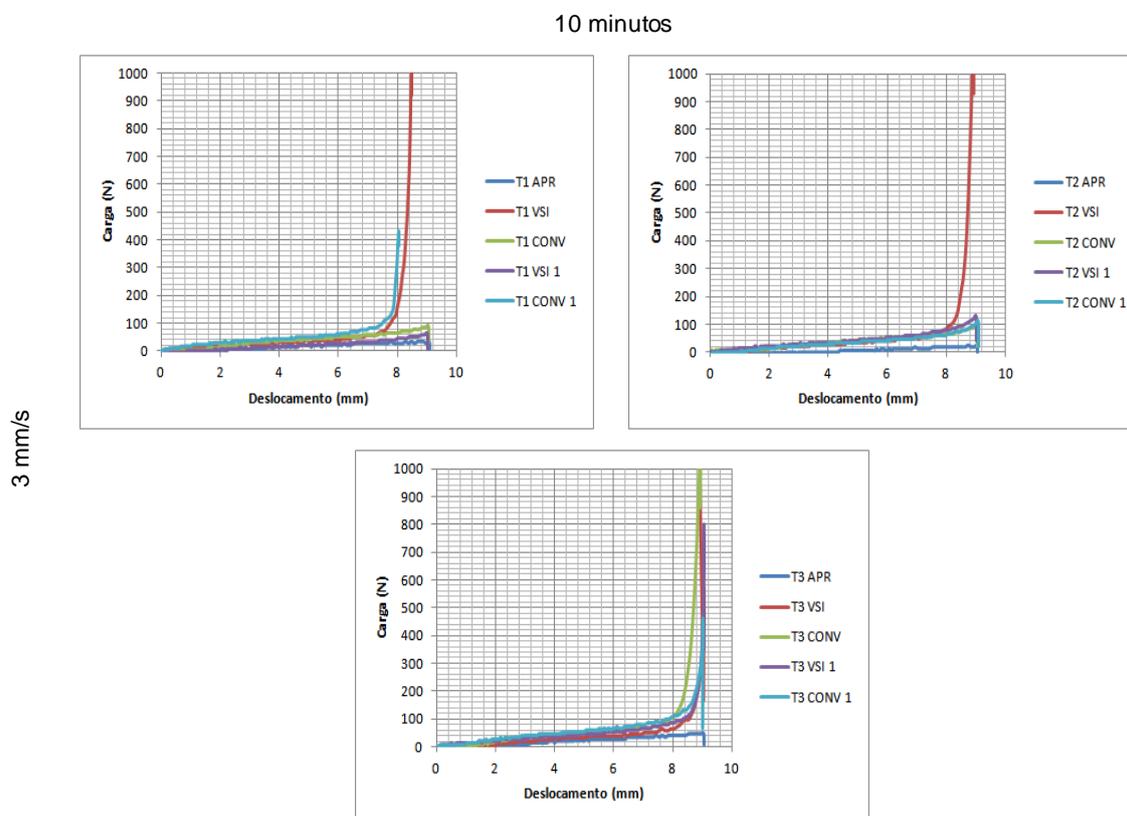


Figura 39: comportamento das argamassas em relação às composições granulométricas com mesmo traço, no ensaio de *squeeze-flow*, no tempo de 10 minutos com velocidade de 3 mm/s

Já na figura 40, com a diminuição da velocidade de aplicação da carga, pode-se observar que as argamassas de traço 1:1:4 (T1) apresentaram praticamente o mesmo comportamento reológico, com os mesmos fluxos plásticos e em baixos níveis de carga em função da maior quantidade de pasta presente na sua dosagem, resultando numa maior relação aglomerante/agregado. Porém, o traço T1 CONV mostrou um fluxo plástico um pouco menor e um enrijecimento acentuado devido, possivelmente, a reorganização das partículas da areia com a consequente compactação da argamassa. Esse fato também ocorreu com as argamassas com o traço 1:1:6, mais precisamente, com T2 VSI, T2 CONV e T2 CONV 1, atingindo rapidamente o valor máximo da carga programada para o ensaio.

A distribuição granulométrica e o fator forma dos grãos podem ter influenciado na diminuição do fluxo plástico e no aumento da carga. Este fato se explica em função de que o enrijecimento da argamassa ocorre quando os grãos com superfícies rugosas e alongadas se aproximam aumentando o atrito interno dificultando o deslocamento e aumentando a força de compressão da argamassa.

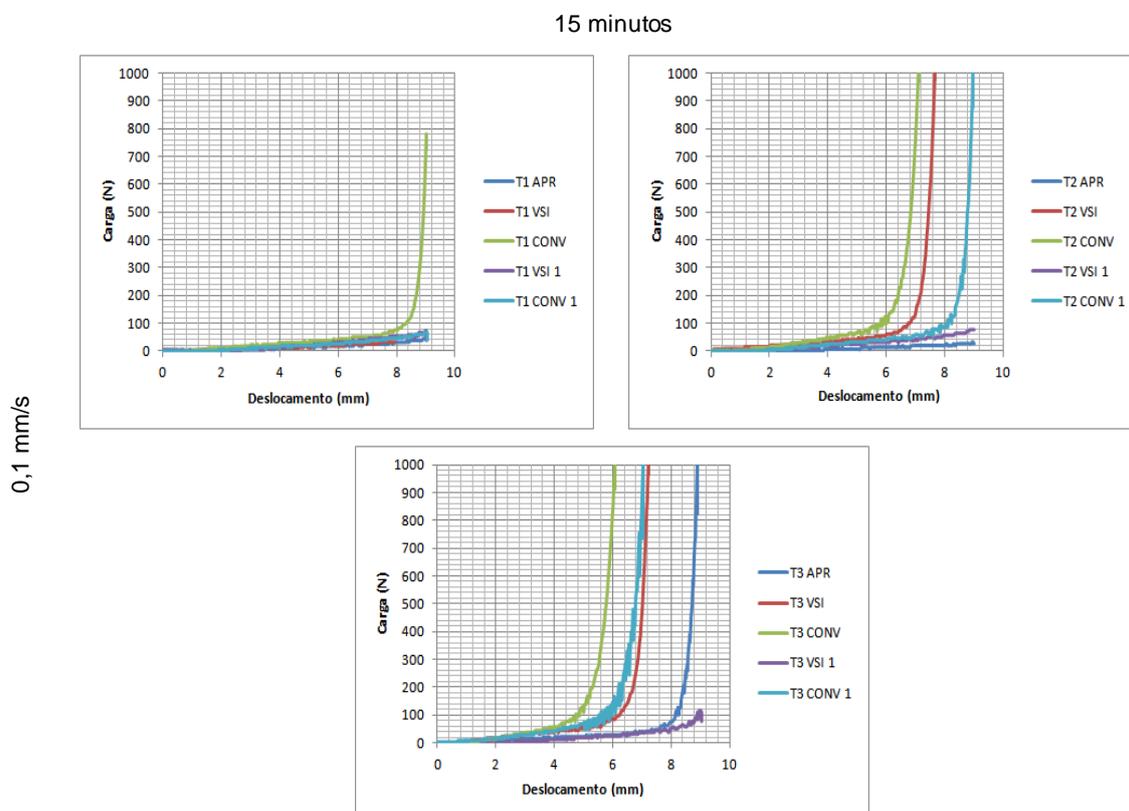


Figura 40: comportamento das argamassas em relação às composições granulométricas com mesmo traço, no ensaio de *squeeze-flow*, no tempo de 15 minutos com velocidade de 0,1 mm/s

Com 60 minutos após a mistura e com maior velocidade de aplicação da carga, como mostra a figura 41, pode-se notar que existem diferentes comportamentos entre os traços das argamassas. O traço 1:1:4 permanece com patamares de fluxo plástico muito parecidos com os tempos e velocidades anteriores, porém com cargas um pouco maiores. Já o traço 1:1:6 apresentou resultados distintos entre as composições granulométricas com patamares de fluxo plástico mais curtos, sendo que apenas o T2 APR permaneceu com a mesma tendência dos ensaios anteriores. E, por fim, o traço 1:1:8 demonstrou maiores cargas de compressão com menores deslocamentos, que, como comentado anteriormente, são função dos maiores consumos de areia e do fator forma que foram decisivos para este resultado.

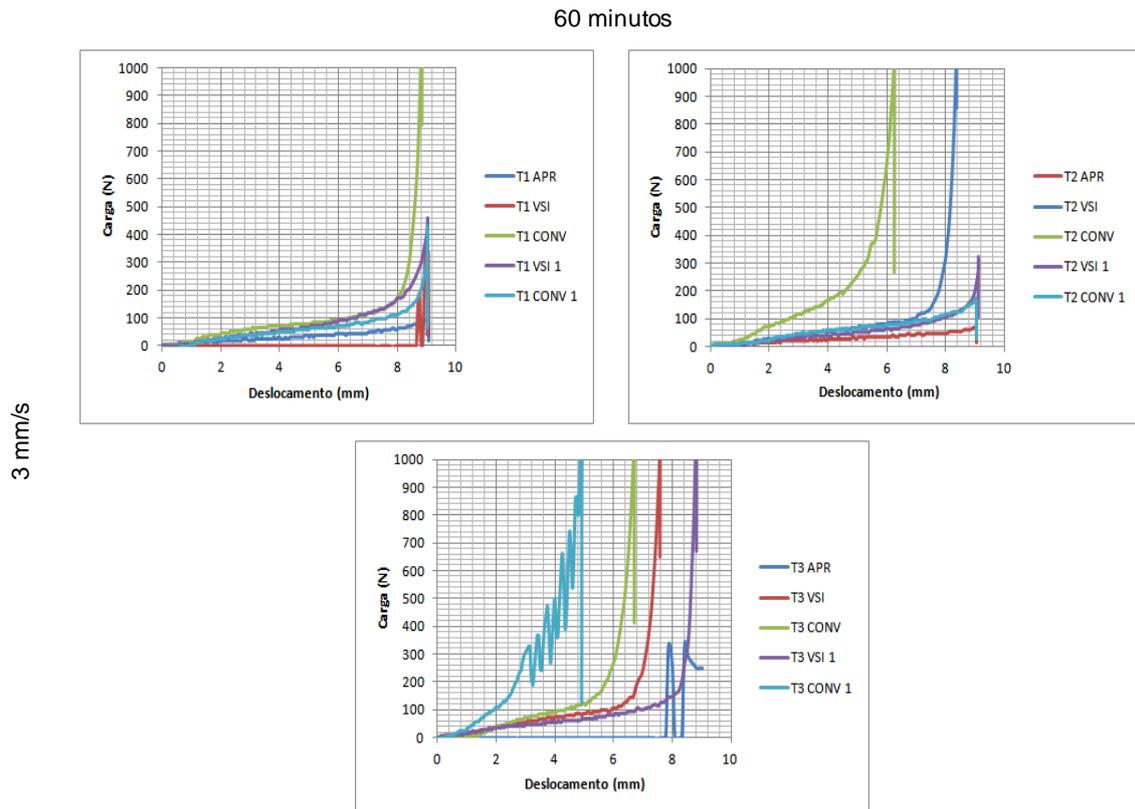


Figura 41: comportamento das argamassas em relação às composições granulométricas com mesmo traço, no ensaio de *squeeze-flow*, no tempo de 60 minutos com velocidade de 3 mm/s

Na figura 42, pode-se notar que, de um modo geral, ocorreram a diminuição do fluxo plástico, exceto aquelas argamassas que foram produzidas com a CG-APR e, isoladamente, o traço T2 VSI 1. Nos outros traços encontra-se bem caracterizada a elevação da carga por enrijecimento devido a deformação dos grãos da areia e em função do tempo, ou seja, pelas reações químicas promovidas entre cimento e água.

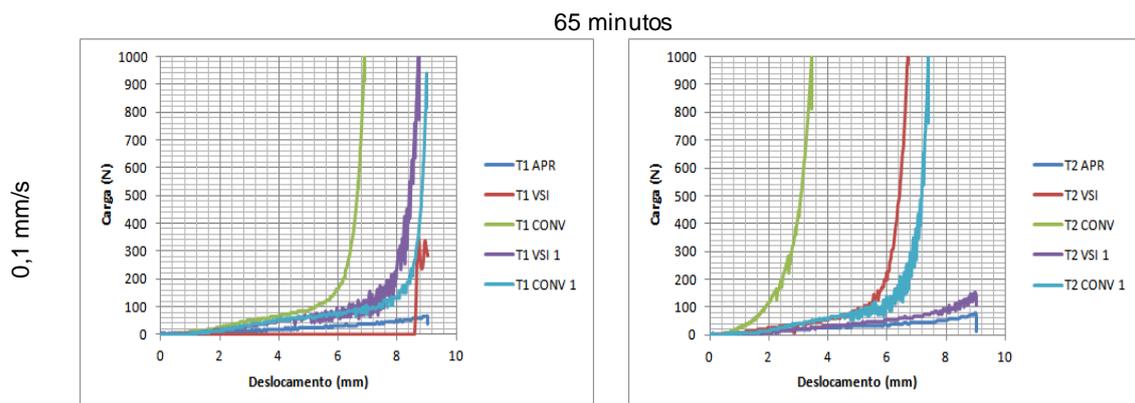


Figura 42: comportamento das argamassas em relação às composições granulométricas com mesmo traço, no ensaio de *squeeze-flow*, no tempo de 65 minutos com velocidade de 0,1 mm/s

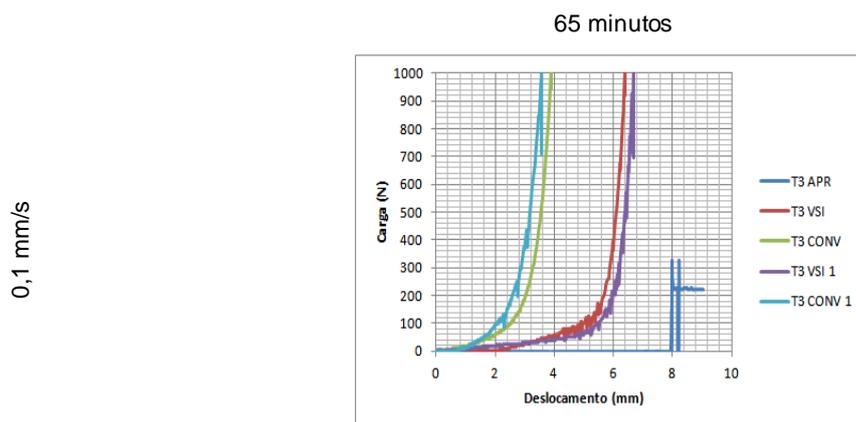


Figura 42: comportamento das argamassas em relação às composições granulométricas com mesmo traço, no ensaio de *squeeze-flow*, no tempo de 65 minutos com velocidade de 0,1 mm/s (continuação)

Os resultados obtidos no ensaio de *squeeze-flow* mostram a influência do ar incorporado nas argamassas, o qual altera o comportamento reológico das mesmas. Esse fato é notado analisando o perfil das curvas que apresentam largo fluxo plástico em baixos valores de carga de compressão. Segundo Cardoso, Pileggi e John (2005) o ar incorporado faz com que o enrijecimento por deformação seja discreto, reduzindo as cargas para deformar o material. Além disso, segundo os mesmos autores, o ar incorporado nas argamassas aumenta o volume da pasta, reduzindo a resistência e promovendo assim, uma maior facilidade de ocorrer o fluxo da própria pasta, logo o que auxilia no escorregamento dos grãos do agregado.

Levando em consideração a influência da composição granulométrica pode-se observar que ocorreram comportamentos distintos. As argamassas produzidas com as composições mais grossas (CG-VSI e CG-CONV) mostraram-se mais rígidas, produzindo menores deformações e com elevadas cargas de compressão com velocidades de aplicação mais lenta (0,1 mm/s). Este fato se explica devido ao maior atrito interno devido, segundo Erdogan *et al.* (2008), ao aumento da interação entre as partículas grossas que, quanto maior a carga, maior a proximidade entre os grãos de areia.

Outro fato que justifica o aumento da rigidez é o fato de que quando a relação agregado/aglomerante aumenta, tanto o limite de elasticidade aparente quanto a viscosidade da argamassa aumenta. Isto pode ter sido provocado por um maior grau de atrito interno e colisão de partículas sólidas, o que aumenta a tensão de cisalhamento e viscosidade da argamassa, afetando o seu fluxo devido ao aumento de partículas menores (LU *et al.*, 2008).

Por outro lado, elas apresentaram bom desempenho em velocidades de aplicação da carga mais alta (3 mm/s), provavelmente pelo maior espaço ocupado por pasta de aglomerantes entre as partículas mais grossas do agregado facilmente expulso para as bordas da placa de ensaio, quando da aplicação da carga. Já as argamassas produzidas com a CG-APR necessitaram menos carga em todos os traços para promover o fluxo plástico. Elas apresentam maior quantidade de material fino na sua composição, logo necessitaram maior quantidade de água de amassamento, facilitando o envolvimento da pasta e promovendo maior lubrificação dos grãos de areia.

Como notado nos resultados obtidos nos ensaios de retenção de água, as argamassas obtiveram altos valores de retenção de água, ajudando na manutenção do comportamento reológico durante o tempo dos ensaios de *squeeze-flow* em função do aditivo retentor de água e a presença de cal hidratada na sua dosagem. Por outro lado, este efeito pode ser entendido, segundo Do ó (2004), em função de que existe uma sinergia entre os aditivos retentor de água e incorporador de ar diminuindo a tensão superficial da água, permitindo assim a inserção de ar nas argamassas, melhorando sua reologia.

No que se refere ao fator forma das areias em relação aos resultados dos ensaios de *squeeze-flow*, pode-se inferir que existe influência na resistência ao fluxo apresentada pelas argamassas que contêm grãos com formas irregulares e com superfícies rugosas (CG-VSI e CG-CONV). Esse fato pode ser entendido, de acordo com Hafid *et al.* (2016), que afirma que o fator forma é o parâmetro morfológico dominante que condiciona ao empacotamento de partículas de areia. Afirma ainda que a rugosidade das partículas influenciam quando as mesmas estão mais compactas, quando ocorre maior força de atrito entre elas. Dessa forma, quando em baixa velocidade aplicação da carga, a reorganização dos grãos geram rigidez na argamassa, diminuindo o patamar do fluxo plástico.

#### 4.2.1.2 Reometria rotacional

A seguir, apresentam-se os resultados da avaliação do estudo de reometria rotacional através de gráficos de Tensão de cisalhamento X Taxa de cisalhamento e Viscosidade X Taxa de cisalhamento. Nesse momento, na figura 43, destacam-se a comparação de composição granulométrica pelas dosagens, além de uma tabela resumo das características das argamassas no estado fresco, apresentado na tabela 29.

A análise realizada neste trabalho é feita utilizando-se uma taxa de cisalhamento inicial menor,  $10 \text{ s}^{-1}$ , pois, segundo Giordani (2017), pode-se observar uma maior tensão de cisalhamento e viscosidade aparente. Por outro lado, os resultados de tensão de cisalhamento medidos nesta pesquisa aumentaram enquanto que a viscosidade aparente diminuíram com o passar do tempo, sendo configurado como um fluido de comportamento pseudoplástico. Isso pode ser explicado em razão de que, segundo Cardoso *et al.* (2014), observa-se uma incorporação de ar em patamares com maior tempo de solitação, podendo modificar a homogeneidade do sistema.

Além disso, suspeita-se, que no decorrer dos ensaios, pode ter ocorrido uma descontinuidade no comportamento em decorrência do "efeito parede", que ocorre entre a argamassa, o recipiente e a palheta do reômetro. Rubin (2015) também verificou este fato quando avaliou argamassas autonivelantes, que aliado aos fatores anteriores podem estar envolvidos a alta viscosidade inicial, rápido enrijecimento da mistura bem como o aumento da taxa de cisalhamento. De acordo com a autora, este fenômeno ocorre quando as partículas finas da argamassa, durante o processo de mistura, sejam direcionadas e se acumulando próximo as paredes do recipiente que os contêm em função da rápida mudança de estado fluído para o sólido.

Deste modo, como se pode notar na figura 43, a argamassa que obteve os maiores valores de tensão de cisalhamento e viscosidade aparente foi a T1 VSI 1. Já a argamassa que apresentou menores valores foi a T3 APR.

As argamassas que foram produzidas com a composição CG-APR mostram que os resultados de tensão de cisalhamento e viscosidade aparente seguiram uma tendência padrão de comportamento, sendo que a T1 APR apresentou-se mais viscosa que a T2 APR e a T3 APR. Isso pode ter ocorrido em função da densidade de massa da primeira ser muito parecida com a da segunda, apesar de ser ligeiramente menor que T2 APR. Já a terceira, além de ter densidade de massa menor que as outras, apresentou maior porcentagem de ar incorporado.

Já as argamassas produzidas com CG-VSI e CG-CONV mostraram comportamento invertido com relação às anteriores, onde a tendência foi de que as argamassas T1 obtiveram valores menores que T2 e T3. Nesse caso, a lógica de que maior densidade de massa da argamassa influenciou no comportamento reológico. Pode-se inferir que o fator forma das areias tiveram papel fundamental, aparentemente, nos resultados, pois as superfícies dos grãos são predominantemente rugosas em comparação à composição CG-APR vindo a produzir argamassas mais viscosas.

Notou-se também que as argamassas produzidas com as composições CG-VSI 1 e CG-CONV 1 apresentaram o mesmo comportamento que aquelas produzidas com CG-APR, porém com valores de tensão de cisalhamento e viscosidade distintos. A argamassa T1 VSI 1 obteve valores medidos 50% maiores que a T1 CONV 1. Já T2 VSI 1 teve quase 70% superior a T2 CONV 1 e, por sua vez, T3 VSI 1 teve cerca de 53% a mais que T3 CONV 1. Desta forma, pode-se inferir que a influência dos finos de APR acrescentados para a correção das composições formada por areias de britagem foram preponderantes para que ocorresse essa diferença.

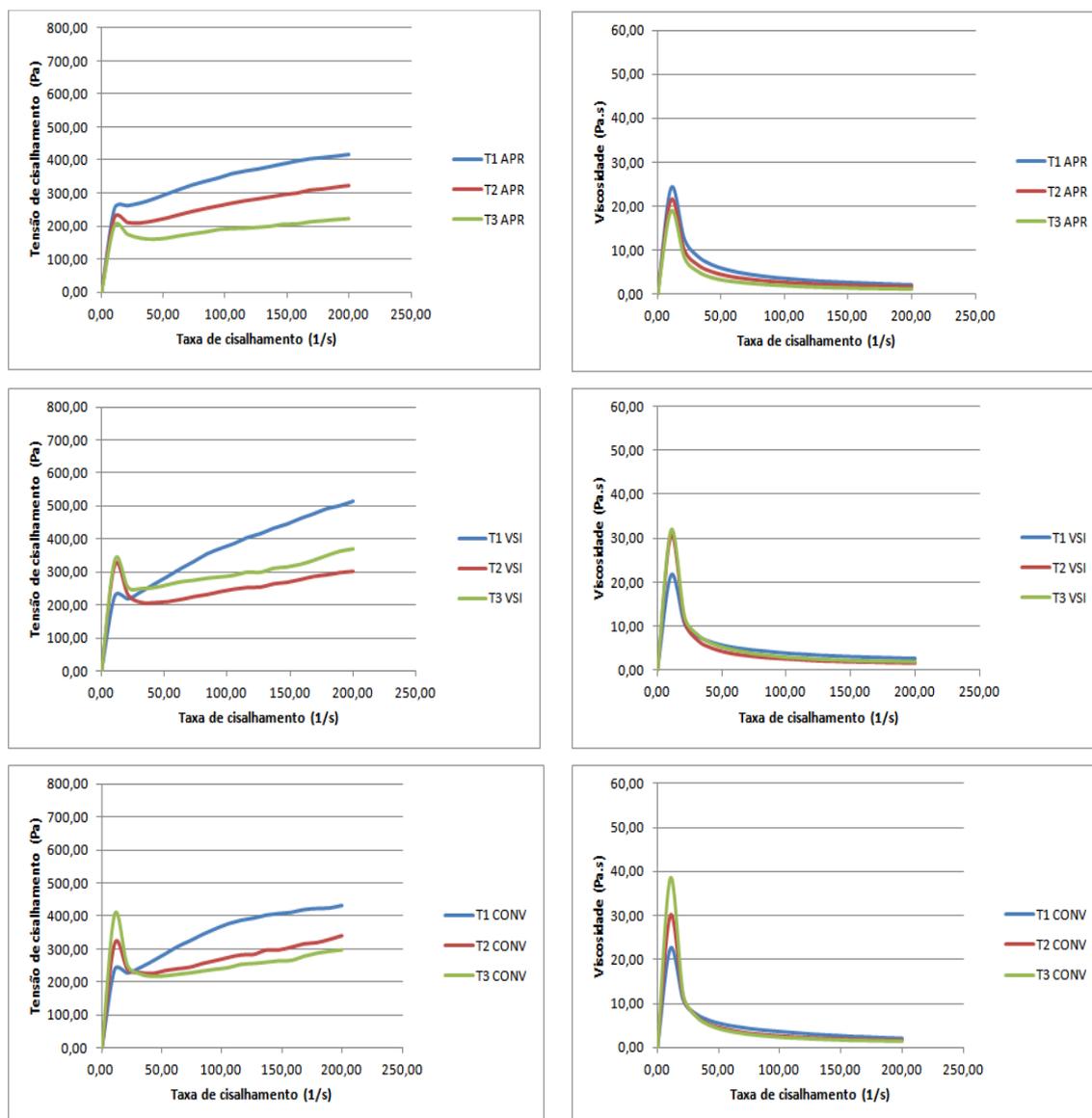


Figura 43: comparação de composição granulométrica pelas dosagens

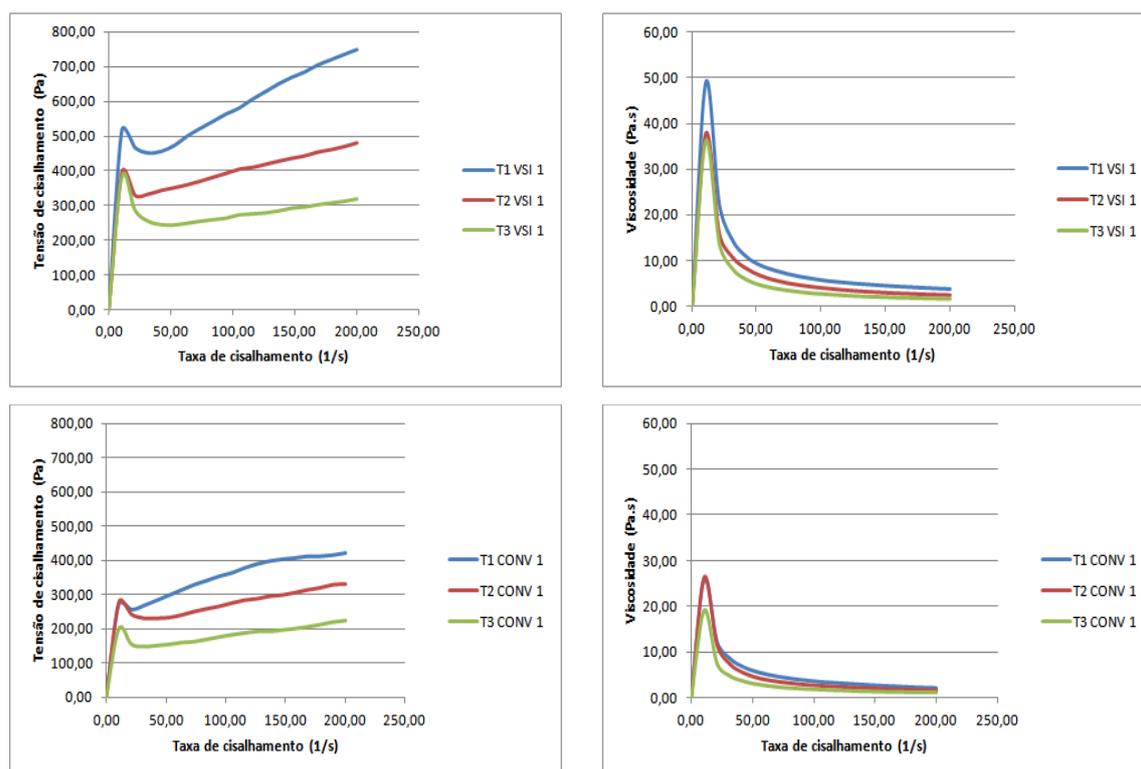


Figura 43: comparação de composição granulométrica pelas dosagens (continuação)

Na tabela 29 e na figura 44, podem-se averiguar que os resultados da viscosidade máxima medida nas argamassas variam de 19,03 Pa.s a 49,06 Pa.s, respectivamente, T3 APR e T1 VSI 1, sendo que as mesmas obtiveram valores de 200,37 e 516,50 Pa para tensão de cisalhamento. Essa variação pode ser explicada em função de que, segundo Westerholm (2006), mostram claramente que as propriedades do agregado fino têm considerável influência nos parâmetros reológicos analisados.

Na mesma tabela pode-se concluir que as argamassas produzidas com as composições CG-VSI e CG-CONV apresentaram valores crescentes de viscosidade e tensão de cisalhamento em virtude da menor/pior lubrificação dos grãos pela pasta de aglomerante e influência da composição granulométrica desfavorável, em T1, T2 e T3 VSI. Porém, devido ao fator forma das mesmas serem irregulares e com superfícies rugosas e a CG-VSI apresentarem valores ligeiramente superiores, como mostrado anteriormente, as argamassas produzidas com esta última mostraram-se mais eficientes que aquelas produzidas com CG-CONV. Além disso, Romano *et al.* (2015) afirmam que o ar incorporado é eficiente na redução do impacto de eventuais falhas granulométricas ou variações nas matérias-primas durante a produção de argamassas, que é o caso das composições citadas.

Tabela 29: resumo das características das argamassas no estado fresco e fator forma

ARGAMASSA	Viscosidade máxima (Pa.s)	Tensão de cisalhamento (Pa)	Retenção de água (%)	Densidade de massa (Kg/m <sup>3</sup> )	Ar incorporado (%)	Fator forma	Superfície Específica (m <sup>2</sup> /g)	Módulo de finura
T1 APR	24,07	253,38	98,52	1587	4,40	Polida		
T2 APR	21,55	226,89	97,96	1599	4,00	Polida	4.141	1,66
T3 APR	19,03	200,37	97,30	1523	5,30	Polida		
T1 VSI	21,63	227,70	98,87	1631	5,70	Rugosa		
T2 VSI	30,56	321,75	97,52	1564	6,00	Rugosa	6.780	2,48
T3 VSI	31,77	334,46	97,31	1771	5,80	Rugosa		
T1 CONV	22,62	238,09	98,05	1797	3,97	Rugosa		
T2 CONV	30,00	315,86	95,96	1874	4,50	Rugosa	10.393	2,00
T3 CONV	38,55	405,91	94,59	1904	4,00	Rugosa		
T1 VSI 1	49,06	516,50	98,99	1624	6,50	Polida e Rugosa		
T2 VSI 1	37,70	396,97	98,75	1504	6,00	Polida e Rugosa	4.028	1,66
T3 VSI 1	36,21	381,19	97,73	1472	5,80	Polida e Rugosa		
T1 CONV 1	25,85	272,12	97,95	1711	3,80	Polida e Rugosa		
T2 CONV 1	26,28	276,72	96,70	1730	3,80	Polida e Rugosa	3.959	1,66
T3 CONV 1	19,05	200,50	96,38	1557	3,90	Polida e Rugosa		

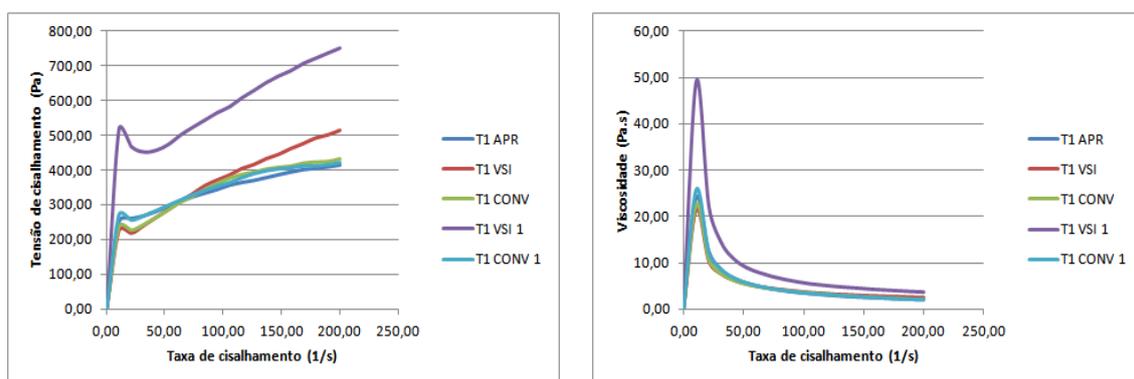


Figura 44: comparação das dosagens em relação a viscosidade e a tensão de cisalhamento

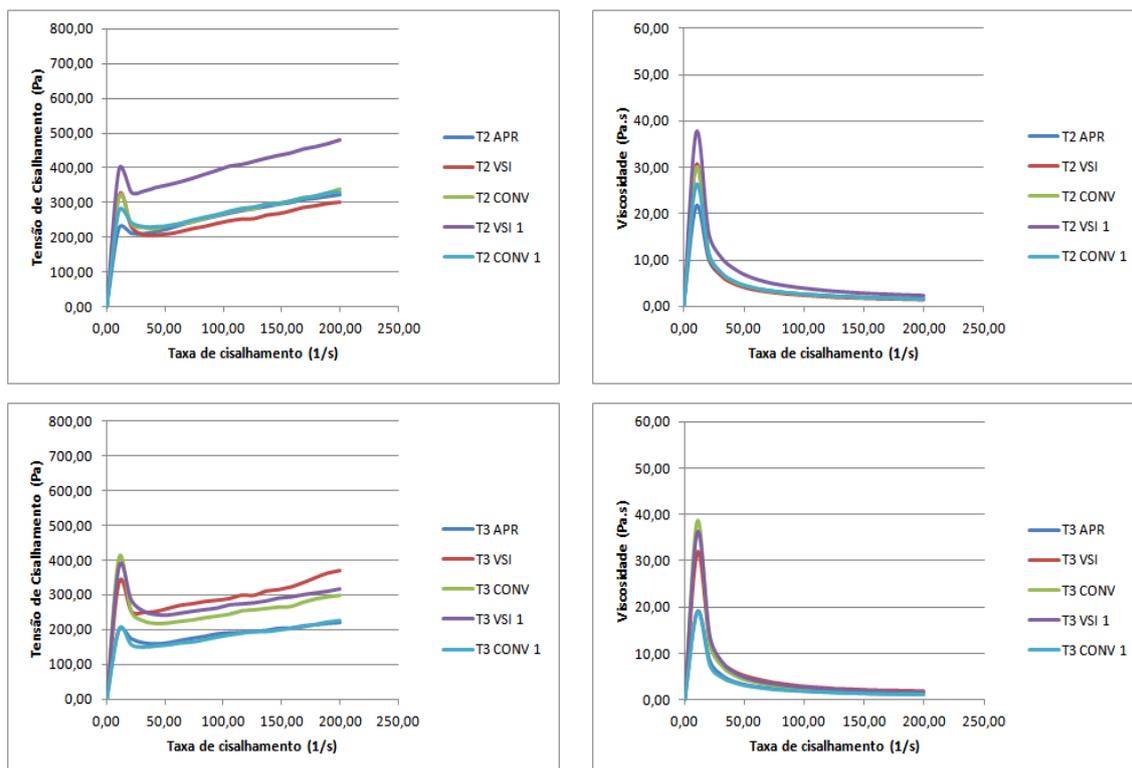


Figura 44: comparação das dosagens em relação a viscosidade e a tensão de cisalhamento (continuação)

#### 4.2.1.3 O impacto dos parâmetros reológicos nas argamassas de projeção

A fim de analisar a influência dos parâmetros reológicos nas argamassas de projeção, buscou-se analisar a influência das características das mesmas no estado fresco, especialmente aqueles que se mostraram mais relevantes nas análises dos ensaios de *squeeze-flow* e reometria rotacional, quais sejam: porcentagem de ar incorporado, retenção de água, densidade de massa no estado fresco, composição e distribuição granulométrica e fator forma dos grãos de agregado.

Neste sentido, realizou-se uma análise de variância (ANOVA), com nível de confiabilidade de 95%, dos fatores controláveis (composições granulométricas) sobre os valores porcentagem de ar incorporado, retenção de água e densidade de massa no estado fresco. As diferenças são consideradas significativas quando fator  $p < 0,05$ , onde  $p$  é a probabilidade de os valores serem iguais. Assim, apresenta-se na tabela 30, a análise das médias das respectivas composições granulométricas.

Como pode ser visto na tabela 30 e no intervalo de confiança da figura 45, existem diferenças significativas quanto ao ar incorporado e densidade de massa das argamassas de projeção. Este fato vem a comprovar a influência do primeiro nos ensaios de *squeeze-flow*, quando se observa um grande deslocamento na maioria das argamassas provocado pela aplicação da carga, tanto em baixa como em alta

velocidade. Além disso, a presença do ar incorporado contribui à diminuição da densidade de massa, facilitando o fluxo viscoso da argamassa.

Tabela 30: ANOVA dos fatores controláveis (CG e proporcionamentos) propostos sobre as variáveis de respostas ar incorporado, retenção de água, densidade de massa no estado fresco, viscosidade aparente

	SQ	GDL	MQ	F	Fator p	Significativo
Ar incorporado - CG	12,229	4	3,057	20,11	0,000	0,000*
Retenção de água - CG	9,86	4	2,47	2,32	0,128	0,128
Densidade de massa no estado fresco - CG	186695	4	46674	7,55	0,005	0,005*
Viscosidade aparente - CG	689,9	4	172,5	5,18	0,016	0,016*
Viscosidade pelo proporcionamento das argamassas	0,8	2	0,4	0,00	0,995	0,995

SQ: soma quadrática; GDL: graus de liberdade; MQ: média quadrática; Fcalc: valor calculado de F  
\*significativo a 5% de significância

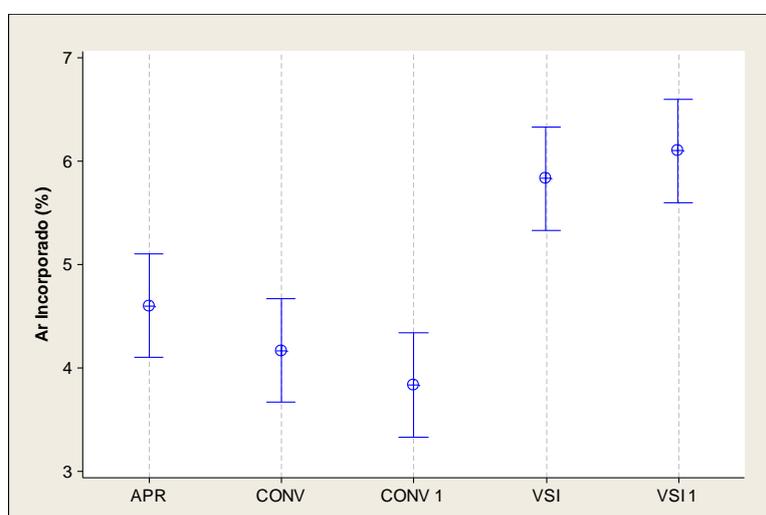


Figura 45: intervalo de confiança entre ar incorporado e composições granulométricas

Nesse sentido, pode-se considerar também que o ar incorporado influencia na viscosidade aparente das argamassas. Na figura 46, percebe-se uma tendência de que a variação de porcentagem de ar incorporado reflete diretamente na viscosidade.

No que se refere à capacidade das argamassas reterem água, constatou-se que os valores foram elevados para esta característica. Assim, observando ainda a tabela 30 e na figura 47 do intervalo de confiança, os resultados de análise de variância mostraram-se não significativos, concluindo que as médias são consideradas iguais ou com valores muito próximos para o intervalo de confiança analisado.

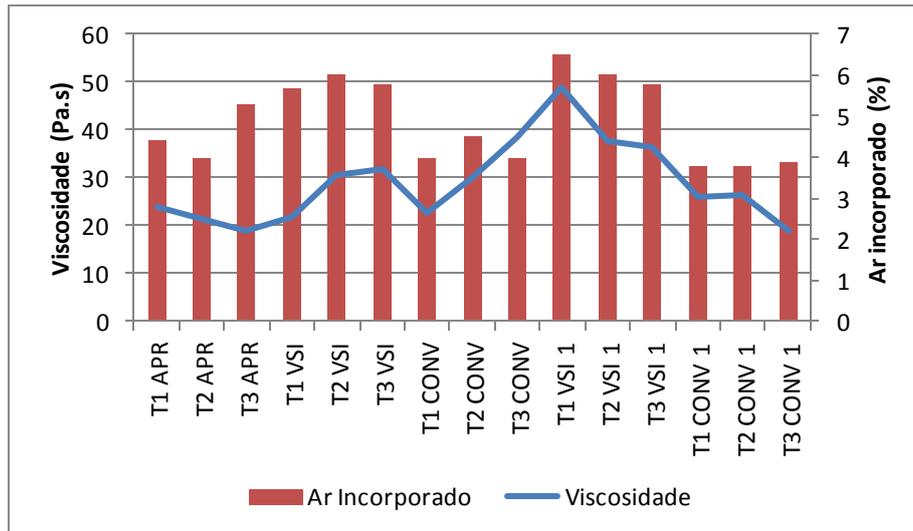


Figura 46: relação entre viscosidade, ar incorporado com composições granulométricas

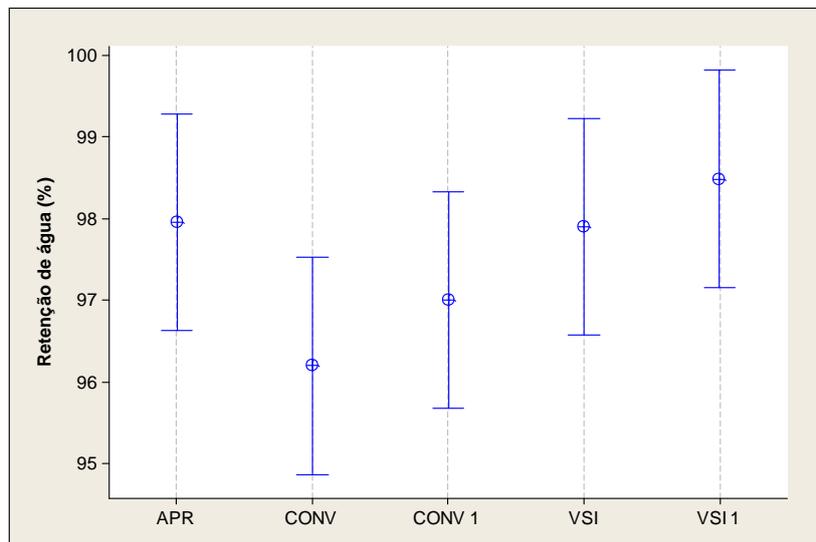


Figura 47: intervalo de confiança entre retenção de água e composições granulométricas

Como foi observado na tabela 30 e no intervalo de confiança da figura 48, os resultados obtidos na análise de variância de densidade de massa no estado fresco em relação às composições granulométricas mostraram que existem diferenças significativas. Isso pode ser evidenciado que, em alguns casos, essa característica influenciou na viscosidade aparente, ou seja, dificultando o fluxo.

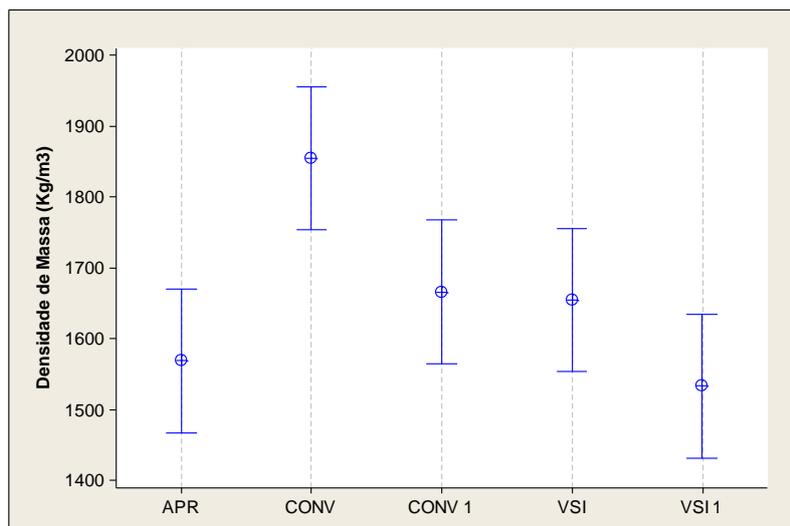


Figura 48: intervalo de confiança entre densidade de massa no estado fresco e composições granulométricas

Com relação à viscosidade aparente (Pa.s), as diferenças encontradas são consideradas significativas, como pode ser visto na tabela 30 e no intervalo de confiança da figura 49. Nas argamassas estudadas o que governou os resultados de viscosidade aparente foram, principalmente, o fator forma dos grãos e as distribuições granulométricas dos agregados.

Notou-se que as argamassas com a composição granulométrica CG-APR mostraram-se mais eficientes quanto ao fluxo viscoso tanto no ensaio de reometria rotacional quanto no *squeeze-flow*. Os grãos formados por CG-APR estão classificados como sendo polidos e com alta esfericidade, gerando menor atrito interno entre os grãos e facilitando a trabalhabilidade. Essa análise corrobora com as conclusões tomadas por Stolz (2015), a qual considera que a faixa granulométrica é característica que está diretamente relacionada com a viscosidade das pastas, além de que a interação entre os ligantes e a composição granulométrica determina o comportamento reológico.

Por outro lado, observou-se um aumento gradual da viscosidade aparente para as argamassas produzidas com areias de britagem. Neste sentido pode-se inferir que com a irregularidade da sua forma, classificadas como rugosas e baixa esfericidade, comprometeram de certa forma o fluxo viscoso tanto no ensaio de reometria rotacional como no *squeeze-flow*. Isso se explica devido à interação entre as partículas, as quais apresentam maior atrito entre elas, diminuindo a plasticidade. De acordo com Cortes *et al.* (2008) e Lu *et al.* (2008), as irregularidades da forma dos agregados limitam a mobilidade de partículas e sua capacidade de obter energia potencial mínima em configurações de composições compactas.

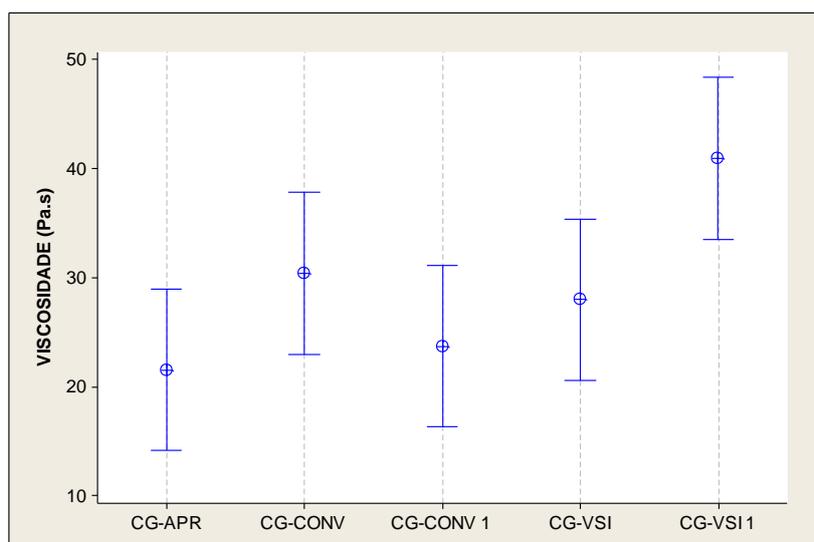


Figura 49: Intervalos de confiança das médias das viscosidades aparentes em função das composições granulométricas

Além disso, Lu *et al.* (2008) afirmam que quando aumenta a quantidade de agregado, aumenta, tanto a tensão de cisalhamento quanto a viscosidade da argamassa. De acordo com os mesmos autores isso é causado pela maior colisão e atrito interno das partículas.

A fim de realizar uma análise de todas as interações que ocorrem entre os parâmetros reológicos nas argamassas estudadas, efetuou-se uma análise múltipla de médias através do método de Fisher. A seguir são apresentados os resultados das análises de viscosidade aparente (Pa.s), ar incorporado, densidade de massa no estado fresco e retenção de água, respectivamente nas tabelas 31 a 34.

Através dessa análise, pode-se comprovar o que se afirmou anteriormente de que os principais fatores que influenciam significativamente no comportamento reológico das argamassas de projeção, no âmbito deste trabalho, são os parâmetros de forma e granulometria dos agregados e densidade de massa. Já a retenção de água mostrou-se significativa apenas nos traços produzidos com a CG-VSI 1.

Tabela 31: análise múltipla de médias pelo Método de Fisher o impacto da viscosidade aparente em função das composições granulométricas

Argamassas	Composições Granulométricas	CG-APR	CG-VSI	CG-CONV	CG-VSI 1	CG-CONV 1
T1, T2 e T3 APR	CG-APR		NS	NS	S	NS
T1, T2 e T3 VSI	CG-VSI	NS		NS	S	NS
T1, T2 e T3 CONV	CG-CONV	NS	NS		S	NS
T1, T2 e T3 VSI 1	CG-VSI 1	S	S	S		S
T1, T2 e T3 CONV 1	CG-CONV 1	NS	NS	NS	S	

S - Significativo; NS - Não Significativo

Tabela 32: análise múltipla de médias pelo Método de Fisher o impacto do ar incorporado em função das composições granulométricas

Argamassas	Composições Granulométricas	CG-APR	CG-VSI	CG-CONV	CG-VSI 1	CG-CONV 1
T1, T2 e T3 APR	CG-APR		S	NS	S	S
T1, T2 e T3 VSI	CG-VSI	S			NS	S
T1, T2 e T3 CONV	CG-CONV	NS	S		S	NS
T1, T2 e T3 VSI 1	CG-VSI 1	S	NS	S		S
T1, T2 e T3 CONV 1	CG-CONV 1	S	S	NS	S	

S - Significativo; NS - Não Significativo

Tabela 33: análise múltipla de médias pelo Método de Fisher o impacto da densidade de massa no estado fresco em função das composições granulométricas

Argamassas	Composições Granulométricas	CG-APR	CG-VSI	CG-CONV	CG-VSI 1	CG-CONV 1
T1, T2 e T3 APR	CG-APR		NS	S	NS	NS
T1, T2 e T3 VSI	CG-VSI	NS		S	NS	NS
T1, T2 e T3 CONV	CG-CONV	S	S		S	S
T1, T2 e T3 VSI 1	CG-VSI 1	NS	NS	S		NS
T1, T2 e T3 CONV 1	CG-CONV 1	NS	NS	S	NS	

S - Significativo; NS - Não Significativo

Tabela 34: análise múltipla de médias pelo Método de Fisher o impacto da retenção de água em função das composições granulométricas

Argamassas	Composições Granulométricas	CG-APR	CG-VSI	CG-CONV	CG-VSI 1	CG-CONV 1
T1, T2 e T3 APR	CG-APR		NS	NS	NS	NS
T1, T2 e T3 VSI	CG-VSI	NS		NS	NS	NS
T1, T2 e T3 CONV	CG-CONV	NS	NS		NS	NS
T1, T2 e T3 VSI 1	CG-VSI 1	NS	NS	NS		NS
T1, T2 e T3 CONV 1	CG-CONV 1	NS	NS	NS	NS	

S - Significativo; NS - Não Significativo

#### 4.2.2 Caracterização no estado endurecido

Nas tabelas 35 a 39, apresentam-se os valores médios obtidos nas caracterizações das argamassas de projeção produzidas no estado endurecido. No Apêndice B apresentam-se todos os resultados individuais obtidos.

Os resultados médios de resistência à compressão (tabela 35) mostraram-se coerentes à medida que se diminui o consumo de aglomerante para as diferentes dosagens. No grupo das dosagens T1 destacam-se os resultados daquelas argamassas produzidas com as areias CONV. e CONV. 1, apresentando maiores resistências, as quais foram praticamente o dobro em relação a T1 APR. Já as outras dosagens apresentaram valores semelhantes entre si.

Os resultados obtidos com as argamassas de projeção corroboram com aqueles Santos (2014) conseguiu em sua pesquisa o qual analisou os efeitos do tipo de agregado (natural e de britagem) em dosagens de argamassas de revestimento. O autor salienta que as argamassas produzidas com agregados artificiais obtiveram um ganho percentual considerável de resistência à compressão. Naquelas dosagens com cimento e cal este ganho chegou a mais de 85%.

Tabela 35: resistência à compressão das argamassas de projeção produzida

ARGAMASSA	Resistência à compressão (MPa)	Sd (MPa)	CV (%)	Classificação NBR 13281 (2005)
T1 APR	1,69	0,24	14,46	P1
T2 APR	1,21	0,18	14,72	P1
T3 APR	0,89	0,10	11,17	P1
T1 VSI	1,85	0,17	9,17	P1
T2 VSI	1,11	0,11	10,27	P1
T3 VSI	0,55	0,08	15,02	P1
T1 CONV	3,10	0,30	9,61	P3
T2 CONV	1,75	0,12	6,72	P1
T3 CONV	0,59	0,06	10,48	P1
T1 VSI 1	1,73	0,17	10,05	P1
T2 VSI 1	0,69	0,07	10,72	P1
T3 VSI 1	1,67	0,18	10,58	P1
T1 CONV 1	3,50	0,42	12,12	P3
T2 CONV 1	2,71	0,66	24,46	P2
T3 CONV 1	1,77	0,12	6,79	P2

Sd: desvio padrão; CV: coeficiente de variação

No que se refere à resistência à tração na flexão, e da mesma forma que ocorreu no módulo de elasticidade dinâmico, ocorreu a tendência de quanto maior a relação agregado/aglomerante menores foram as resistências. Os resultados podem ser visualizados nas tabelas 36 e 37.

Pode-se destacar o ganho de resistência de tração na flexão da argamassa T1 CONV 1 em relação à T1 APR que foi de 61,70%. Deste modo, verifica-se que a correção da granulometria e melhoramento dos parâmetros de forma do agregado CONV refletiu positivamente no desempenho desta propriedade. Santos (2014) afirma que agregados com forma mais esférica e rugosa conduzem a um melhor intertravamento entre o aglomerante e o agregado, trazendo melhores resultados de tração.

Essa variação pode ser entendida de modo que, com o aumento da porosidade, ocorre a diminuição dos valores de resistência à tração na flexão (ROMANO *et al.*, 2015). Segundo os mesmos autores, os vazios atuam como pontos que concentram tensão, facilitando, assim, o aparecimento de fissuras e diminuindo a resistência mecânica, ao mesmo tempo em que permite que a argamassa tenha maior deformação antes da ruptura completa.

Tabela 36: resistência à tração na flexão das argamassas de projeção produzida

ARGAMASSA	Resistência à tração na flexão (MPa)	Sd (MPa)	CV (%)	Classificação NBR 13281 (2005)
T1 APR	1,41	0,13	9,15	R1
T2 APR	1,06	0,16	15,08	R1
T3 APR	0,56	0,16	27,65	R1
T1 VSI	1,41	0,27	19,12	R1
T2 VSI	0,92	0,07	7,64	R1
T3 VSI	0,53	0,06	11,95	R1
T1 CONV	1,86	0,34	18,13	R2
T2 CONV	1,17	1,17	13,37	R1
T3 CONV	0,53	0,11	21,14	R1
T1 VSI 1	1,71	0,26	15,40	R2
T2 VSI 1	0,81	0,09	11,30	R1
T3 VSI 1	1,39	0,07	4,94	R1
T1 CONV 1	2,28	0,32	13,90	R3
T2 CONV 1	1,59	0,18	11,41	R2
T3 CONV 1	1,25	0,18	14,16	R1

Sd: desvio padrão; CV: coeficiente de variação

A tabela 37, apresenta os resultados do módulo de elasticidade dinâmico medido nas argamassas de projeção produzidas. Estes dados mostram que quanto maior o módulo, menor será a deformação da argamassa.

Verificou-se que os resultados obtidos foram distintos e revelando a tendência de que aumentando-se a relação agregado/aglomerante ocorre uma diminuição do módulo de elasticidade dinâmico, refletindo num maior controle de deformações do revestimento.

Por outro lado, Silva e Campiteli (2008), Bandeira (2012) e Stolz (2015) afirmam que argamassas que contenham um consumo maior de cal na sua composição produzem uma redução no módulo de elasticidade. No caso da presente pesquisa, a relação cal/cimento foi a mesma para todos os traços produzindo resultados que variam de 1,91 a 5,39 GPa, menores que aqueles obtidos por Stolz (2015) que ficaram entre 3,04 a 7,31 GPa.

Outro fato importante que deve ser lembrado é que a variação dessa característica é função da porosidade total das amostras que, com o seu aumento, acarreta uma diminuição nos valores absolutos do módulo de elasticidade (ROMANO *et al.*, 2015).

Tabela 37: módulo de elasticidade dinâmico das argamassas de projeção produzida

ARGAMASSA	Módulo de elasticidade dinâmico (GPa)	Sd (GPa)	CV (%)	Classificação NBR 13281 (2005)
T1 APR	3,38	0,35	10,30	NA
T2 APR	2,94	0,11	3,59	NA
T3 APR	2,58	0,12	4,59	NA
T1 VSI	4,51	0,16	3,49	NA
T2 VSI	2,84	0,17	5,87	NA
T3 VSI	4,16	0,27	6,46	NA
T1 CONV	5,39	0,22	4,07	NA
T2 CONV	5,14	0,30	5,88	NA
T3 CONV	4,06	0,11	2,70	NA
T1 VSI 1	3,71	0,05	1,30	NA
T2 VSI 1	2,63	0,07	2,61	NA
T3 VSI 1	1,91	0,16	8,43	NA
T1 CONV 1	4,68	0,15	3,12	NA
T2 CONV 1	3,55	0,05	1,39	NA
T3 CONV 1	2,01	0,20	9,95	NA

Sd: desvio padrão; CV: coeficiente de variação

Na tabela 38 pode-se observar os resultados de densidade aparente no estado endurecido das argamassas de projeção produzidas. Os valores apresentados mostraram-se distintos para os 5 grupos de dosagens. Basicamente os resultados estão relacionados com o volume de ar incorporado durante o processo de mistura, mostrando que quanto maior o teor de ar, menor será a densidade aparente.

Tabela 38: densidade aparente no estado endurecido das argamassas de projeção produzidas

ARGAMASSA	Densidade			Classificação NBR 13281 (2005)
	aparente no estado endurecido (kg/m <sup>3</sup> )	Sd (kg/m <sup>3</sup> )	CV (%)	
T1 APR	1372	35,94	2,62	M2
T2 APR	1353	10,83	0,80	M2
T3 APR	1326	3,78	0,29	M2
T1 VSI	1447	21,63	1,49	M3
T2 VSI	1382	15,49	1,12	M2
T3 VSI	1582	19,14	1,21	M3
T1 CONV	1573	5,93	0,38	M3
T2 CONV	1647	17,39	1,06	M4
T3 CONV	1660	13,17	0,79	M4
T1 VSI 1	1338	9,06	0,65	M3
T2 VSI 1	1294	12,12	0,94	M2
T3 VSI 1	1294	29,86	2,31	M2
T1 CONV 1	1479	9,93	0,67	M3
T2 CONV 1	1524	16,89	1,11	M4
T3 CONV 1	1356	6,67	0,49	M2

Sd: desvio padrão; CV: coeficiente de variação

Os valores de coeficiente de capilaridade médio apresentaram-se distintos para as diversas argamassas de projeção analisadas, como pode ser visualizado na tabela 39. Já era de se esperar que o maior valor medido, 16,36 g/dm<sup>2</sup>.min<sup>1/2</sup> foi a do traço T3 CONV 1, visto que este é considerado um proporcionamento mais pobre em aglomerante em relação ao que obteve menor valor, 7,56 g/dm<sup>2</sup>.min<sup>1/2</sup>, do traço T1 VSI com maior consumo de aglomerante. Isso pode ter ocorrido em função do comportamento da mistura das argamassas através da criação de bolhas de ar devido a adição do incorporador de ar. Com isso, segundo Romano *et al.* (2015) o comportamento das argamassas durante a mistura e a permeabilidade ao ar podem ter sido afetados pela incorporação de ar e pela distribuição do tamanho dos agregados permitindo assim um maior coeficiente de capilaridade no estado endurecido. Além disso, pode-se considerar que argamassas mistas, com uso de cal hidratada, possui a tendência de apresentar resultados de coeficiente de capilaridade maiores do que aquelas argamassas sem cal. Stolz (2015), em sua pesquisa, verificou este fato quando afirma que as argamassas que continham cal hidratada na sua composição mostraram-se mais absorventes.

Tabela 39: coeficiente de absorção de água por capilaridade  $C_{\text{médio}}$  das argamassas de projeção produzida

ARGAMASSA	Absorção de água por capilaridade $C_{\text{médio}}$ (g/dm <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> )	Sd (g/dm <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> )	CV (%)	Classificação NBR 13281 (2005)
T1 APR	10,77	0,39	3,60	C5
T2 APR	12,96	0,38	2,93	C6
T3 APR	14,64	0,29	1,98	C6
T1 VSI	7,56	0,51	1,98	C5
T2 VSI	10,12	0,28	6,69	C5
T3 VSI	9,76	0,38	3,86	C5
T1 CONV	9,76	0,24	2,44	C5
T2 CONV	12,51	0,99	7,93	C6
T3 CONV	16,97	0,31	1,85	C6
T1 VSI 1	11,72	0,60	5,14	C5
T2 VSI 1	10,81	0,26	2,43	C5
T3 VSI 1	13,60	1,21	8,89	C6
T1 CONV 1	8,7	0,87	10,00	C5
T2 CONV 1	12,51	0,57	4,56	C6
T3 CONV 1	16,36	0,46	2,81	C6

Sd: desvio padrão; CV: coeficiente de variação

### 4.3 TESTE DE PROJEÇÃO DAS ARGAMASSAS PRODUZIDAS

Após o término da produção em laboratório dos 15 traços de argamassas de projeção, partiu-se para o teste de projeção, onde se percebeu visualmente a maior ou menor facilidade da execução dos revestimentos em relação aos diversos tipos de argamassas, combinados com os parâmetros de fator forma e granulométricos impostos pelos tipos de agregados escolhidos, além dos parâmetros reológicos resultantes de tais combinações.

O procedimento de mistura seguiu a seguinte sequência: alimentação do misturador com a argamassa seca e adição da quantidade de água determinada em ensaio de mesa de consistência; tempo de mistura de até 5 minutos para atingir a consistência; lançamento da argamassa no equipamento de projeção; execução da projeção no substrato de aderência.

Durante o processo de projeção das argamassas T2 VSI, T3 VSI e T2 CONV percebeu-se uma grande dificuldade em dar prosseguimento na execução desses revestimentos, mesmo apresentando trabalhabilidades ideais para o processo de projeção. Desse modo, ao identificar o enrijecimento do mangote e diminuição da

vazão no bico de projeção, decidiu-se pela interrupção da execução pela possibilidade de entupimento do sistema. Por esse motivo, os painéis revestidos com essas argamassas não chegaram a ser totalmente preenchidos. No entanto, esta anomalia pode ser explicado através da análise do comportamento reológico e pelo fator forma do agregado, visto que as superfícies dos grãos são rugosas, necessitando de maior quantidade de pasta para envolvê-los e resultando em um comportamento mais resistentes ao fluxo plástico das argamassas em comparação com as demais.

Além disso, estas argamassas necessitaram de maior força para promover seu deslocamento. Este fato pode ser visto no ensaio de *squeeze flow* (figura 44), as quais atingiram o enrijecimento por excesso de força, o que vem a crer que ocorreu um embricamento entre as partículas mais grossas, dificultando assim a deformação.

Já as demais argamassas fluíram sem problemas de entupimento. Deve-se destacar que as argamassas contendo a areia CG-APR apresentaram os melhores comportamentos quanto à consistência e trabalhabilidade, sendo que o traço T1 APR apresentou maior fluidez. Percebeu-se que, se ocorresse alguma alteração além da relação A/Ms determinada em laboratório, a argamassa após projetada não se sustentaria no substrato, podendo vir a escorrer.

As argamassas contendo as areias CG-VSI e CG-CONV (grãos rugosos, diferentes granulometrias e diferentes módulos de finura) apresentaram baixo rendimento no processo de projeção, vindo a ocorrer os problemas descritos anteriormente. Nesse sentido, aquelas argamassas desses grupos de composições granulométricas que funcionaram, tiveram influência dos aditivos incorporador de ar, que variaram de 4,0 a 6,0% e do retentor de água, os quais auxiliaram no processo de melhoria dos parâmetros reológicos. Tal variação supera os valores das dosagens produzidas com a CG-APR.

Por outro lado, as argamassas que foram dosadas com as composições CG-VSI 1 e CG-CONV 1 destacaram-se pela facilidade de execução da projeção, que, de fato, foram beneficiadas pelo melhoramento gerado pela mistura de areia APR na suas composições. Este melhoramento foi gerado pelo aumento de grãos mais finos faltantes, ajustando, assim, suas curvas granulométricas e, também, no melhoramento do fator forma das composições.

Além disso, nesse item apresentam-se os resultados obtidos a partir dos ensaios de resistência de aderência à tração e a permeabilidade pelo método do cachimbo.

No Apêndice B apresentam-se todos os valores individuais medidos nos ensaios práticos de projeção das argamassas produzidas.

#### 4.3.1 Resistência de aderência à tração

Na tabela 40 apresentam-se os resultados dos ensaios de resistência de aderência à tração realizado de acordo com a NBR 13749 (ABNT, 2013).

Como pode-se notar ocorreram grandes variabilidades nos valores obtidos. De acordo com Cechin (2017) este comportamento é inerente ao ensaio de resistência de aderência à tração em revestimentos. Este dado também já foi analisado e mencionado por outros autores, como Gonçalves (2004), Carasek (2005), Moura (2007) e Antunes, Sotlz e Masuero (2012).

Para se obter maior confiabilidade nos resultados obtidos nesse ensaio, decidiu-se excluir valores espúrios, assim como fez Cechin (2017), que utilizou o critério de excluir valores que estivessem fora do intervalo entre a média menos dois desvios padrões e a média mais dois desvios padrões. Dessa forma, apresentam-se os valores médios da resistência de aderência à tração (Ra) de cada altura (inferior, média e superior), desvio padrão (Sd), coeficiente de variação (CV) e o valor médio da resistência de aderência à tração (Ra) geral de cada traço, já considerando as exclusões dos valores.

Tabela 40: resistência de aderência à tração das argamassas de projeção

Identificação	Altura									Ra geral (MPa)
	Inferior			Média			Superior			
	Ra (MPa)	Sd	CV (%)	Ra (MPa)	Sd	CV (%)	Ra (MPa)	Sd	CV (%)	
T1 APR	0,34	0,06	17,82	0,48	0,11	22,99	0,41	0,13	32,02	0,41
T2 APR	0,24	0,09	36,42	0,25	0,11	42,57	0,25	0,04	14,81	0,25
T3 APR	0,13	0,07	53,42	0,16	0,07	40,54	0,14	0,06	40,07	0,14
T1 VSI	0,29	0,06	22,03	0,37	0,09	24,28	0,39	0,10	25,66	0,35
T2 VSI	-	-	-	0,33	0,11	34,13	-	-	-	0,33
T3 VSI	0,17	0,10	45,36	0,25	0,11	45,36	-	-	-	0,21
T1 CONV	0,44	0,14	31,00	0,51	0,21	41,35	0,41	0,12	30,16	0,46
T2 CONV	0,44	0,15	33,20	0,41	0,10	24,80	-	-	-	0,42
T3 CONV	0,15	0,11	73,74	0,25	0,09	35,31	0,29	0,09	32,06	0,23
T1 VSI 1	0,33	0,03	10,56	0,41	0,12	30,30	0,44	0,10	22,21	0,39
T2 VSI 1	0,32	0,03	10,43	0,34	0,12	37,73	0,27	0,11	41,01	0,31
T3 VSI 1	0,14	0,09	63,41	0,06	0,03	56,42	0,06	0,08	142,32	0,09
T1 CONV 1	0,28	0,11	40,32	0,27	0,11	41,15	0,31	0,08	26,25	0,29
T2 CONV 1	0,27	0,06	22,84	0,17	0,09	51,86	0,14	0,06	39,48	0,19
T3 CONV 1	0,34	0,15	44,27	0,25	0,07	25,75	0,26	0,08	32,26	0,28

\*As formas de ruptura dos corpos de prova no ensaio de resistência de aderência à tração estão descritos no Apêndice B

Na tabela 41, nota-se que nos traços T2 VSI (altura inferior e altura superior), T3 VSI (altura superior) e T2 CONV (altura superior) não foi possível realizar os ensaios nas respectivas alturas em função da dificuldade de projeção das mesmas. Isso pode ser constatado nos seus comportamentos reológicos discutidos anteriormente.

Os maiores valores de resistência de aderência ocorreram nas argamassas com traço 1:1:4, sendo que apenas o traço T1 CONV 1 não seguiu a mesma tendência. Vale lembrar que a NBR 13749 (ABNT, 2013) especifica que valores superiores a 0,30 MPa podem ser utilizados em revestimentos externos e valores superiores a 0,20 MPa podem ser utilizados em revestimentos internos e em tetos. Além desses, os traços T2 VSI, T2 CONV e T2 VSI 1 também obtiveram valores superiores aos estipulados pela mesma norma.

Os traços T2 APR, T3 VSI, T2 CONV, T1 CONV 1 e T3 CONV 1 mostraram-se eficientes apenas para serem utilizados como revestimentos internos ou em tetos, pois seus valores foram maiores que 0,20 MPa e menores que 0,30 MPa

Já os traços restantes não atingiram o valor mínimo de 0,20 MPa, ficando aquém das especificações técnicas da referida norma.

Além do alto coeficiente de variação dos resultados, notou-se a predominância da ruptura do tipo "B" e "C", as quais correspondem em rompimento na interface substrato/argamassa e ruptura na argamassa, respectivamente. O que se pôde notar foi que a maioria dos traços 1:1:8 a ruptura ocorreu conforme o tipo "B", tendo uma redução drástica no seu valor de resistência de aderência à tração final. Presume-se que isso pode ter ocorrido devido a influência da característica do substrato, ou seja, ser composto de blocos de concreto da classe A, com resistência à compressão maior que 8 MPa. Peduzzi, *et al.* (2012), em sua pesquisa, que avaliou a influência das propriedades de blocos de concreto na resistência de aderência de revestimentos, identificaram que houve um considerável aumento da forma de ruptura adesiva em relação à coesiva e que, com o aumento do  $f_{bk}$  dos blocos ocorreu uma redução da resistência de aderência nos revestimentos aplicado.

Como forma de analisar estatisticamente os resultados obtidos nesse ensaio, realizou-se uma análise de variância (ANOVA), a qual verifica a interação, a influência e os efeitos das variáveis controláveis (fator forma e granulometria do agregado no comportamento reológico e aplicabilidade das faixas de resultados do fator forma, granulométricos e reológicos) sobre a variável de resposta. As diferenças são

consideradas significativas quando fator  $p < 0,05$ , onde  $p$  é a probabilidade de os valores serem iguais. Os resultados estão expostos na tabela 41.

Tabela 41: ANOVA dos fatores controláveis (fator forma e granulometria - CG), os traços T1, T2 e T3 com as diferentes composições granulométricas e alturas de aplicações no substrato dos traços T1, T2 e T3 com as diferentes composições granulométricas propostos sobre as variáveis de respostas (resistência de aderência à tração)

	SQ	GDL	MQ	F	Fator p	Significativo
Fator forma e granulometria	0,9749	4	0,2437	10,85	0,000	0,000*
Traço T1 APR, VSI, CONV, VSI 1 e CONV 1	0,6888	4	0,1722	9,46	0,000	0,000*
Traço T2 APR, VSI, CONV, VSI 1 e CONV 1	0,9311	4	0,2328	18,10	0,000	0,000*
Traço T3 APR, VSI, CONV, VSI 1 e CONV 1	0,6726	4	0,1682	17,81	0,000	0,000*
Altura do substrato T1 APR, VSI, CONV, VSI 1 e CONV 1	0,1659	2	0,0829	3,88	0,023	0,023*
Altura do substrato T2 APR, VSI, CONV, VSI 1 e CONV 1	0,2138	2	0,1069	6,01	0,003	0,003*
Altura do substrato T3 APR, VSI, CONV, VSI 1 e CONV 1	0,0249	2	0,0124	0,95	0,390	0,390

SQ: soma quadrática; GDL: graus de liberdade; MQ: média quadrática; Fcalc: valor calculado de F  
\*significativo a 5% de significância

Através da análise da tabela 41 e nos intervalos de confiança das figuras 50 a 53, pode-se perceber que o fator forma e granulometria (CG), os traços T1, T2 e T3, além das alturas de aplicação no substrato com os traços T1 e T2 exerceram influências estatisticamente significativas diante da resistência de aderência. Por outro lado, a altura do substrato das argamassas de traços T3 APR, VSI, CONV, VSI 1 e CONV 1 (com proporção de 1:1:8 em massa) não se pôde identificar relação estatística significativa na resistência de aderência.

Pode-se notar que os maiores valores de resistência de aderência, ou seja aqueles maiores que 0,30 MPa, ocorreram nas alturas média e superior dos substratos ensaiados e naqueles traços que continham maior relação aglomerante/agregado na sua dosagem (T1 e T2), como era de se esperar.

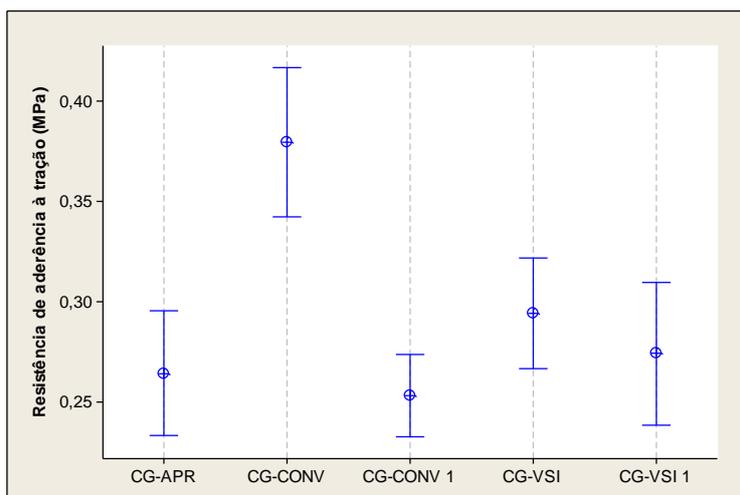


Figura 50: Intervalos de confiança das médias de resistência de aderência à tração pelas diferentes composições granulométricas (fator forma e granulometria)

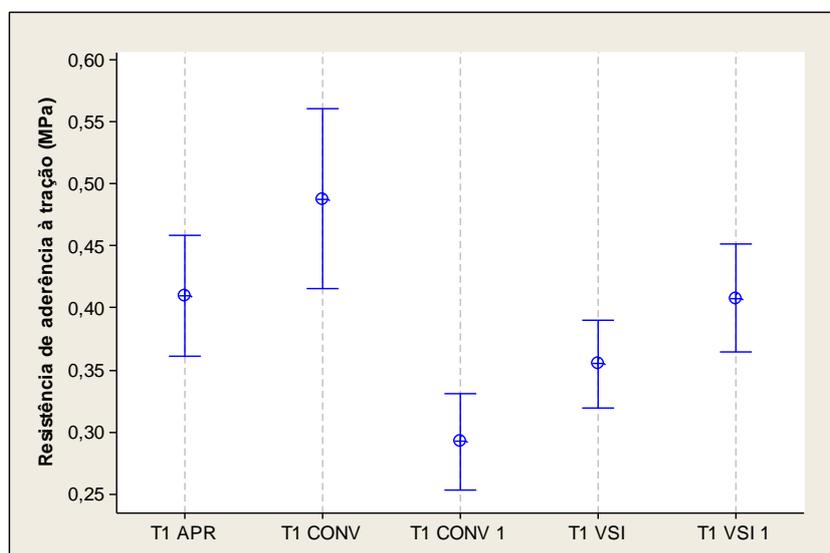


Figura 51: Intervalos de confiança das médias de resistência de aderência à tração pelos mesmos traços (T1) de diferentes composições granulométricas

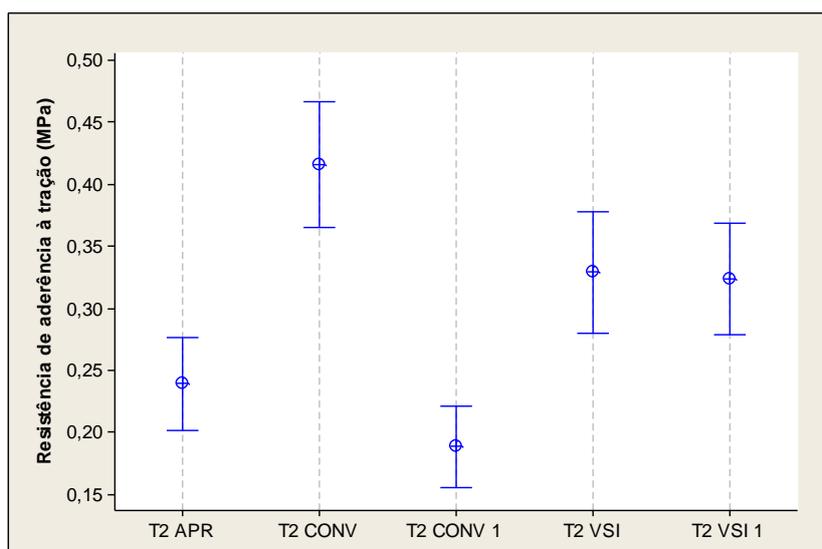


Figura 52: Intervalos de confiança das médias de resistência de aderência à tração pelos mesmos traços (T2) de diferentes composições granulométricas

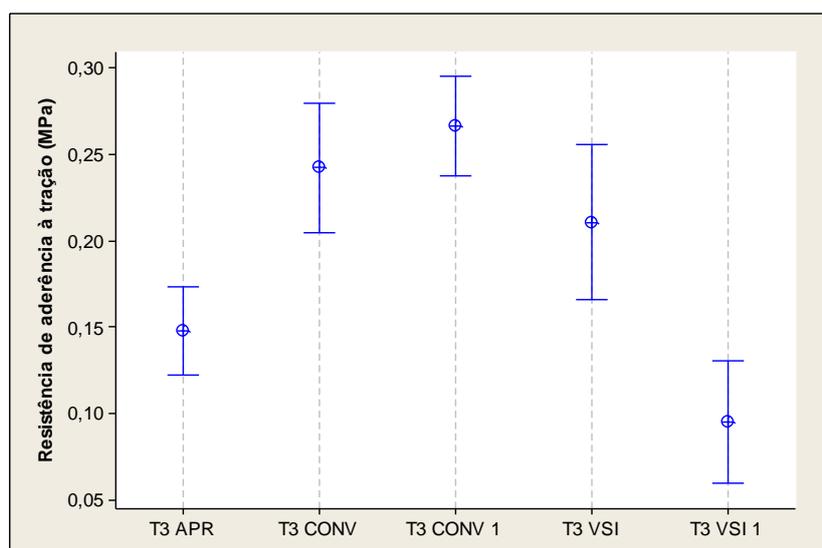


Figura 53: Intervalos de confiança das médias de resistência de aderência à tração pelos mesmos traços (T3) de diferentes composições granulométricas

Através das análises múltiplas de médias através do Método de Fischer apresentado nas tabela 42, é possível notar que os resultados são estatisticamente diferentes quando se observa a interação da composição CG-CONV com a resistência de aderência entre as demais, mostrando, assim, que o fator forma influencia nos resultados na variável de resposta.

Esse resultado corrobora com aqueles obtidos por Tristão (2005) que, quando avaliou a relação resistência à flexão pela resistência à compressão, verificou que os maiores resultados foram observados para argamassas que utilizaram areias de britagem nas

suas composições. Ele explica que como esses tipos de areias possuem texturas superficiais mais rugosa, tem-se a área de contato pasta/agregado aumentada, propiciando uma maior área de aderência desses componentes.

Dessa forma, pode-se afirmar que nesta pesquisa este fato também ocorreu, como pode ser verificado nos resultados das características das argamassas no estado endurecido, em que a composição CG-CONV apresentou os maiores valores de resistência à compressão, tração na flexão e módulo dinâmico nas diversas dosagens em que foi utilizada. Tal característica também pode ter influenciado nos resultados de resistência de aderência, em que a área de contato pasta/agregado auxiliou no aumento do desempenho nesse quesito.

Tabela 42: análise múltipla de médias pelo Método de Fisher do impacto do fator forma e granulometria do agregado na resistência de aderência à tração

Composições Granulométricas	Argamassas (grupo)	CG-APR	CG-VSI	CG-CONV	CG-VSI 1	CG-CONV 1
CG-APR	T APR		NS	S	NS	NS
CG-VSI	T VSI	NS		S	NS	NS
CG-CONV	T CONV	S	S		S	S
CG-VSI 1	T VSI 1	NS	NS	S		NS
CG-CONV 1	T CONV 1	NS	NS	S	NS	

S - Significativo; NS - Não Significativo

Percebe-se também que, nas tabelas 43 a 45, quando analisado a interação dos resultados de resistência de aderência das argamassas de mesmo traço, porém de diferentes composições granulométricas, apresentaram valores estatisticamente diferentes, determinando assim que, variando a composição granulométrica e fator forma, se obtém-se diferentes valores de resistência de aderência para uma mesma dosagem.

Tabela 43: análise múltipla de médias pelo Método de Fisher do impacto dos mesmos traços (T1) e diferentes areias na resistência de aderência à tração

Composições Granulométricas	Argamassas (grupo)	CG-APR	CG-VSI	CG-CONV	CG-VSI 1	CG-CONV 1
CG-APR	T1 APR		NS	S	NS	S
CG-VSI	T1 VSI	NS		S	S	S
CG-CONV	T1 CONV	S	S		S	S
CG-VSI 1	T1 VSI 1	NS	S	S		NS
CG-CONV 1	T1 CONV 1	S	S	S	NS	

S - Significativo; NS - Não Significativo

Tabela 44: análise múltipla de médias pelo Método de Fisher do impacto dos mesmos traços (T2) e diferentes areias na resistência de aderência à tração

Composições Granulométricas	Argamassas (grupo)	CG- APR	CG- VSI	CG- CONV	CG-VSI 1	CG-CONV 1
CG-APR	T2 APR		S	S	S	NS
CG-VSI	T2 VSI	S		S	NS	S
CG-CONV	T2 CONV	S	S		S	S
CG-VSI 1	T2 VSI 1	S	NS	S		S
CG-CONV 1	T2 CONV 1	NS	S	S	S	

S - Significativo; NS - Não Significativo

Tabela 45: análise múltipla de médias pelo Método de Fisher do impacto dos mesmos traços (T3) e diferentes areias na resistência de aderência à tração

Composições Granulométricas	Argamassas (grupo)	CG- APR	CG- VSI	CG- CONV	CG-VSI 1	CG-CONV 1
CG-APR	T3 APR		S	S	S	S
CG-VSI	T3 VSI	S		NS	S	S
CG-CONV	T3 CONV	S	NS		S	NS
CG-VSI 1	T3 VSI 1	S	S	S		S
CG-CONV 1	T3 CONV 1	S	S	NS	S	

S - Significativo; NS - Não Significativo

Da mesma forma que Cechin (2017) verificou, nas análises dos intervalos de confiança (figuras 54 a 56) e análises comparativas entre médias pelo método de Fischer, apresentada nas tabelas 46 a 48, mostrou diferenças muito próximas quando analisado as médias de resistência de aderência à tração em relação às diferentes alturas, concluindo-se que o coeficiente de variação resultante nos ensaios pode ter influenciado.

Como forma de justificar tais resultados, vários autores já têm relatado e avaliado que existe grande variabilidade na execução de revestimentos com argamassas industrializadas e rodadas em obra, aplicadas manualmente ou mecanicamente (GONÇALVES e BAUER, 2005; DUALIBE, CAVANI e OLIVERIA, 2005; ANTUNES e JOHN, 2007; FERNANDES *et al.*, 2007; FERNANDES *et al.*, 2009 e CECHIN, 2017). Eles concordam ao afirmar que utilizando a mecanização de revestimentos reduz a influência da especialização da mão-de-obra no desempenho dos revestimentos e torna o lançamento constante, melhorando a adesão inicial quando comparado com a execução manual. Além disso, com a homogeneização da energia de impacto no substrato, eliminam-se os vazios proporcionando melhor ancoragem do revestimento,

aumentando assim os valores de resistências de aderência no plano central da parede.

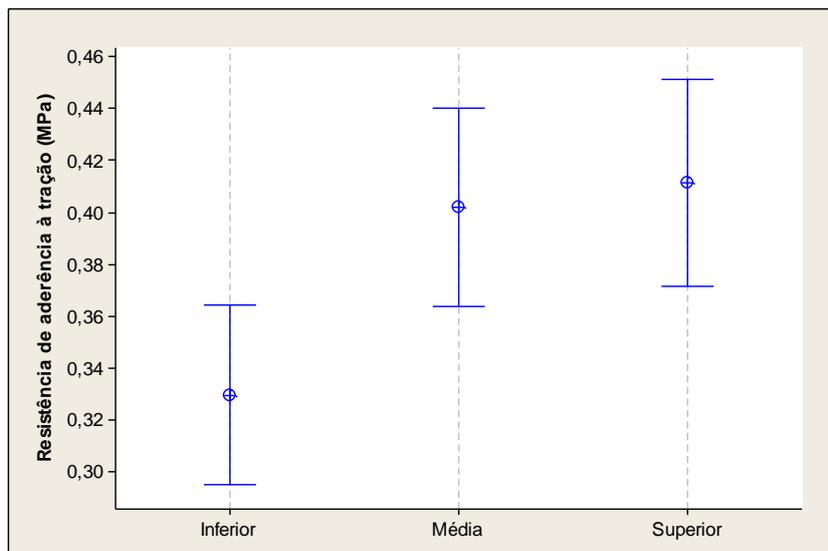


Figura 54: Intervalos de confiança das médias de resistência de aderência à tração pelos mesmos traços (T1) nas diferentes alturas do substrato (inferior, médio, superior)

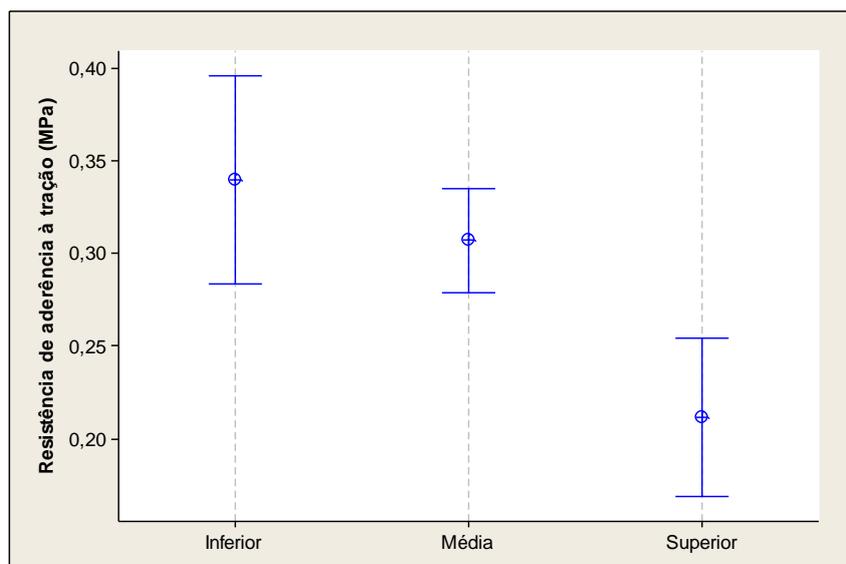


Figura 55: Intervalos de confiança das médias de resistência de aderência à tração pelos mesmos traços (T2) nas diferentes alturas do substrato (inferior, médio, superior)

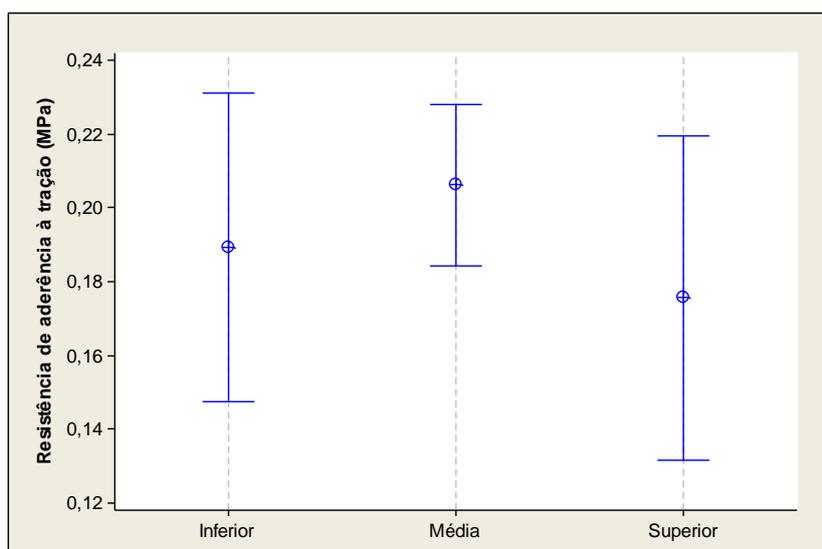


Figura 56: Intervalos de confiança das médias de resistência de aderência à tração mesmos traços (T3) nas diferentes alturas do substrato (inferior, médio, superior)

Tabela 46: análise múltipla de médias pelo Método de Fisher do impacto da resistência de aderência à tração dos mesmos traços (T1) nas diferentes alturas do substrato (inferior, médio, superior)

Alturas	1 (Inferior)	2 (Média)	3 (Superior)
Inferior		S	S
Média	S		NS
Superior	S	NS	

S - Significativo; NS - Não Significativo

Tabela 47: análise múltipla de médias pelo Método de Fisher do impacto da resistência de aderência à tração dos mesmos traços (T2) nas diferentes alturas do substrato (inferior, médio, superior)

Alturas	1 (Inferior)	2 (Média)	3 (Superior)
Inferior		NS	S
Média	NS		S
Superior	S	S	

S - Significativo; NS - Não Significativo

Tabela 48: análise múltipla de médias pelo Método de Fisher do impacto da resistência de aderência à tração dos mesmos traços (T3) nas diferentes alturas do substrato (inferior, médio, superior)

Alturas	1 (Inferior)	2 (Média)	3 (Superior)
Inferior		NS	NS
Média	NS		NS
Superior	NS	NS	

S - Significativo; NS - Não Significativo

### 4.3.2 Permeabilidade pelo método do cachimbo

Na tabela 49, apresentam-se os valores médios dos resultados do coeficiente de permeabilidade pelo método do cachimbo. Os valores individuais estão expostos no Apêndice B.

Tabela 49: permeabilidade média pelo método do cachimbo

Identificação	Altura	Coeficiente de permeabilidade (ml.min)	Coeficiente de permeabilidade médio (ml.min)
T1 APR	Inferior	1,96	1,99
	Média	2,35	
	Superior	1,68	
T2 APR	Inferior	2,33	3,09
	Média	3,79	
	Superior	3,14	
T3 APR	Inferior	7,10	7,40
	Média	7,15	
	Superior	7,96	
T1 VSI	Inferior	11,04	11,29
	Média	9,46	
	Superior	13,37	
T2 VSI	Inferior	6,34	7,81
	Média	8,09	
	Superior	9,00	
T3 VSI	Inferior	7,88	8,11
	Média	8,36	
	Superior	8,09	
T1 CONV	Inferior	4,02	4,91
	Média	5,02	
	Superior	5,69	
T2 CONV	Inferior	5,88	7,11
	Média	7,16	
	Superior	8,28	
T3 CONV	Inferior	7,41	6,62
	Média	5,94	
	Superior	6,50	
T1 VSI 1	Inferior	3,74	4,60
	Média	5,11	
	Superior	4,93	
T2 VSI 1	Inferior	5,67	6,02
	Média	6,26	
	Superior	6,12	

Tabela 49: permeabilidade média pelo método do cachimbo (continuação)

Identificação	Altura	Coefficiente de permeabilidade (ml.min)	Coefficiente de permeabilidade médio (ml.min)
T3 VSI 1	Inferior	9,73	8,88
	Média	10,21	
	Superior	6,69	
T1 CONV 1	Inferior	5,63	6,60
	Média	6,01	
	Superior	8,16	
T2 CONV 1	Inferior	8,20	8,67
	Média	9,33	
	Superior	8,48	
T3 CONV 1	Inferior	5,63	5,60
	Média	5,07	
	Superior	6,10	

Como forma de analisar estatisticamente os resultados obtidos nesse ensaio, realizou-se uma análise de variância (ANOVA), a qual verificam-se a interação, a influência e os efeitos das variáveis controláveis (fator forma e granulometria do agregado no comportamento reológico e aplicabilidade das faixas de resultados do fator forma, granulométricos e reológicos) sobre a variável de resposta. As diferenças são consideradas significativas quando fator  $p < 0,05$ , onde  $p$  é a probabilidade de os valores serem iguais.

Tabela 50: ANOVA dos fatores controláveis (fator forma e granulometria do agregado no comportamento reológico e aplicabilidade das faixas de resultados do fator forma, granulométricos e reológicos propostos sobre as variáveis de respostas (coeficiente de permeabilidade pelo método do cachimbo)

	SQ	GDL	MQ	F	Fator p	Significativo
Fator forma e granulometria	294,50	4	73,63	9,62	0,000	0,000*
Traço T1 APR, VSI, CONV, VSI 1 e CONV 1	569,60	4	142,40	32,79	0,000	0,000*
Traço T2 APR, VSI, CONV, VSI 1 e CONV 1	223,52	4	55,88	14,44	0,000	0,000*
Traço T3 APR, VSI, CONV, VSI 1 e CONV 1	125,23	4	31,31	10,54	0,000	0,000*
Altura do substrato T1 APR, VSI, CONV, VSI 1 e CONV 1	22,40	2	11,2	0,85	0,434	0,434
Altura do substrato T2 APR, VSI, CONV, VSI 1 e CONV 1	21,95	2	10,98	1,51	0,230	0,230
Altura do substrato T3 APR, VSI, CONV, VSI 1 e CONV 1	1,06	2	0,53	0,10	0,901	0,901

SQ: soma quadrática; GDL: graus de liberdade; MQ: média quadrática; Fcalc: valor calculado de F  
\*significativo a 5% de significância

Percebe-se, através da análise da tabela 50 e nos intervalos de confiança das figuras 57 a 60 e na análise múltipla de médias pelo método de Fisher, apresentados nas

tabelas 51 a 54 que, novamente, o fator forma e composição granulométrica influenciaram significativamente nos resultados do coeficiente de permeabilidade dos painéis ensaiados. Tais influências corroboram com os resultados da variação dos traços das argamassas, variando-se as composições granulométricas, as quais também se mostraram estatisticamente influentes na variável de resposta (coeficiente de permeabilidade).

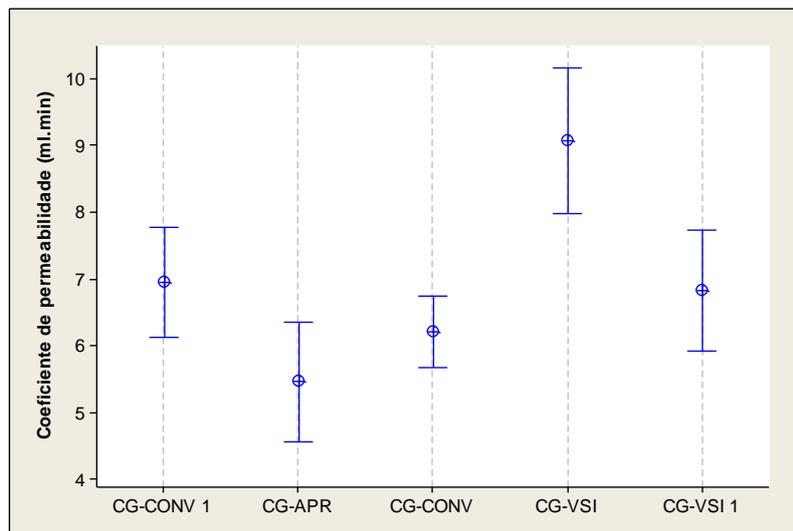


Figura 57: Intervalos de confiança das médias do coeficiente de permeabilidade pelas diferentes composições granulométricas (fator forma e granulometria)

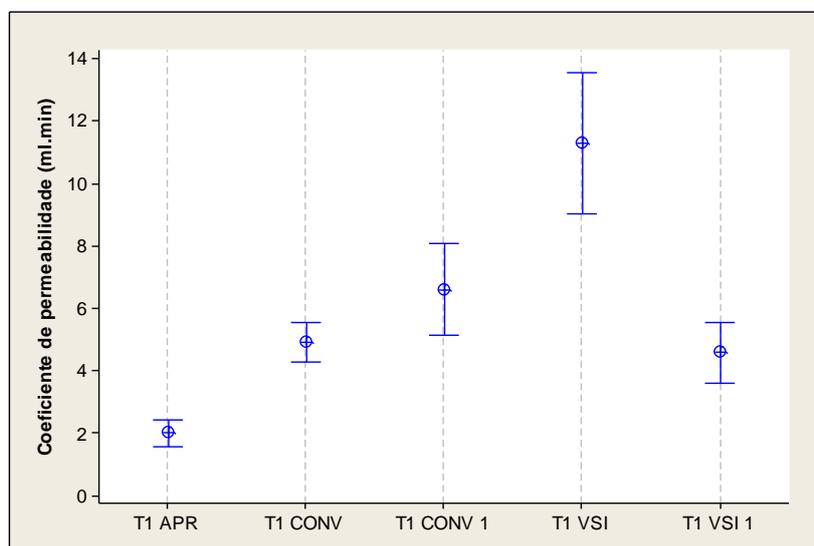


Figura 58: Intervalos de confiança das médias do coeficiente de permeabilidade pelos mesmos traços (T1) de diferentes composições granulométricas

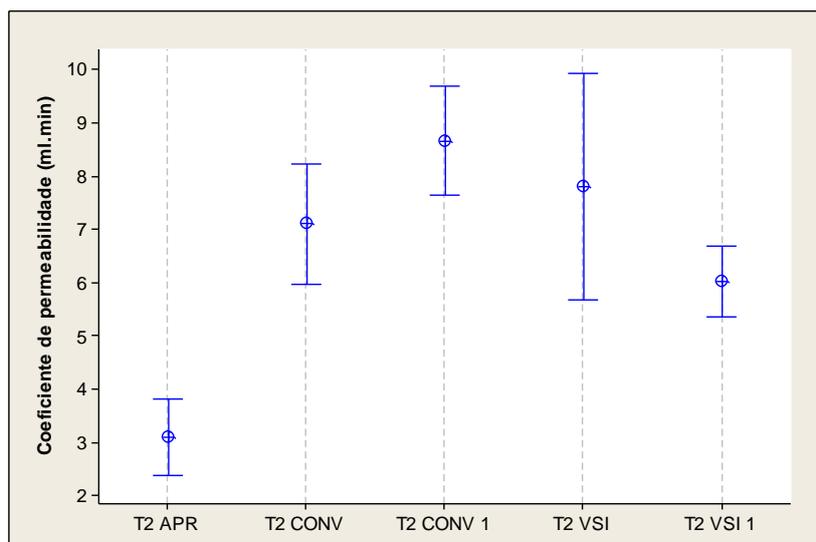


Figura 59: Intervalos de confiança das médias do coeficiente de permeabilidade pelos mesmos traços (T2) de diferentes composições granulométricas

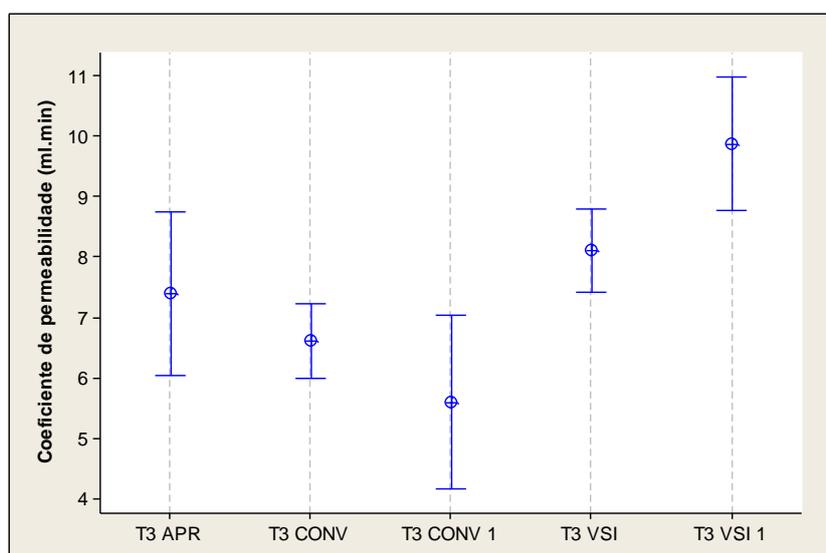


Figura 60: Intervalos de confiança das médias do coeficiente de permeabilidade pelos mesmos traços (T3) de diferentes composições granulométricas

Tabela 51: análise múltipla de médias pelo Método de Fisher do impacto do fator forma e granulometria (CG) do agregado no coeficiente de permeabilidade pelo método do cachimbo

Composições Granulométricas	Argamassas (grupo)	CG-APR	CG-VSI	CG-CONV	CG-VSI 1	CG-CONV 1
CG-APR	T APR		S	NS	S	S
CG-VSI	T VSI	S		S	S	S
CG-CONV	T CONV	NS	S		NS	NS
CG-VSI 1	T VSI 1	S	S	NS		NS
CG-CONV 1	T CONV 1	S	S	NS	NS	

S - Significativo; NS - Não Significativo

Tabela 52: análise múltipla de médias pelo Método de Fisher do impacto dos mesmos traços (T1) e diferentes areias no coeficiente de permeabilidade pelo método do cachimbo

Composições Granulométricas	Argamassas (grupo)	CG-APR	CG-VSI	CG-CONV	CG-VSI 1	CG-CONV 1
CG-APR	T1 APR		S	S	S	S
CG-VSI	T1 VSI	S		S	S	S
CG-CONV	T1 CONV	S	S		NS	NS
CG-VSI 1	T1 VSI 1	S	S	NS		S
CG-CONV 1	T1 CONV 1	S	S	NS	S	

S - Significativo; NS - Não Significativo

Tabela 53: análise múltipla de médias pelo Método de Fisher do impacto dos mesmos traços (T2) e diferentes areias no coeficiente de permeabilidade pelo método do cachimbo

Composições Granulométricas	Argamassas (grupo)	CG-APR	CG-VSI	CG-CONV	CG-VSI 1	CG-CONV 1
CG-APR	T2 APR		S	S	S	S
CG-VSI	T2 VSI	S		NS	S	NS
CG-CONV	T2 CONV	S	NS		NS	NS
CG-VSI 1	T2 VSI 1	S	S	NS		S
CG-CONV 1	T2 CONV 1	S	NS	NS	S	

S - Significativo; NS - Não Significativo

Tabela 54: análise múltipla de médias pelo Método de Fisher do impacto dos mesmos traços (T3) e diferentes areias no coeficiente de permeabilidade pelo método do cachimbo

Composições Granulométricas	Argamassas (grupo)	CG-APR	CG-VSI	CG-CONV	CG-VSI 1	CG-CONV 1
CG-APR	T3 APR		NS	NS	S	S
CG-VSI	T3 VSI	NS		S	S	S
CG-CONV	T3 CONV	NS	S		S	NS
CG-VSI 1	T3 VSI 1	S	S	S		S
CG-CONV 1	T3 CONV 1	S	S	NS	S	

S - Significativo; NS - Não Significativo

Já para os fatores controláveis propostos: altura de aplicação no substrato para cada traço, não apresentaram influência estatística para a variável de resposta, como pode ser visto na tabela 50, assim como nos intervalos de confiança das figuras 61 a 63 e na análise múltipla de médias pelo método de Fisher, apresentados nas tabelas 55 a 57. Dias e Carasek (2003) e Cechin (2017) também chegaram à mesma conclusão, sendo que os primeiros autores avaliaram resultados em diferentes regiões de aplicação do revestimento, variando alturas até incidência solar. Já a segunda autora avaliou, dentre outros pontos, três valores de vazão de equipamentos de projeção de argamassa, altura do substrato e sentido de aplicação.

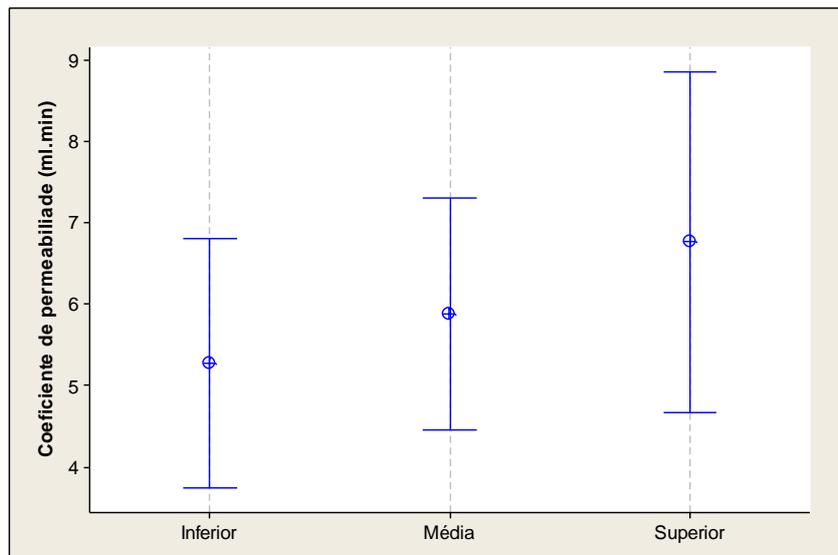


Figura 61: Intervalos de confiança das médias do coeficiente de permeabilidade pelos mesmos traços (T1) nas diferentes alturas do substrato (inferior, médio, superior)

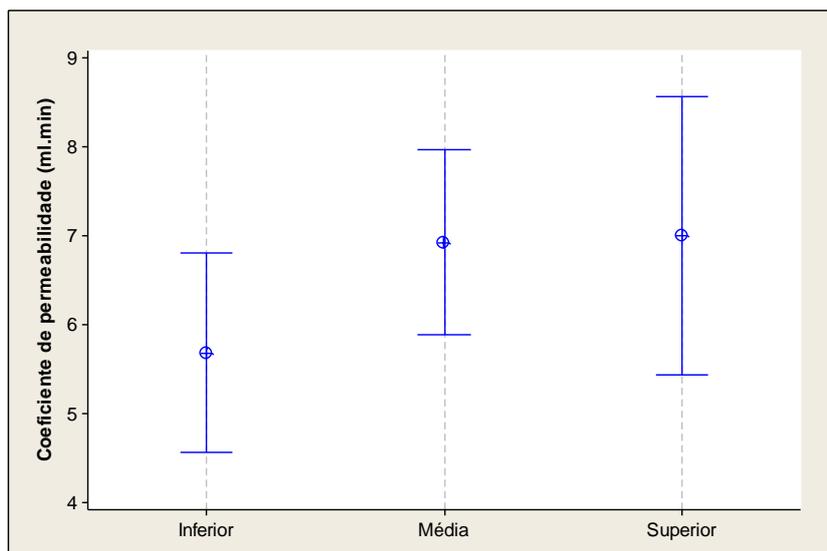


Figura 62: Intervalos de confiança das médias do coeficiente de permeabilidade pelos mesmos traços traços (T2) nas diferentes alturas do substrato (inferior, médio, superior)

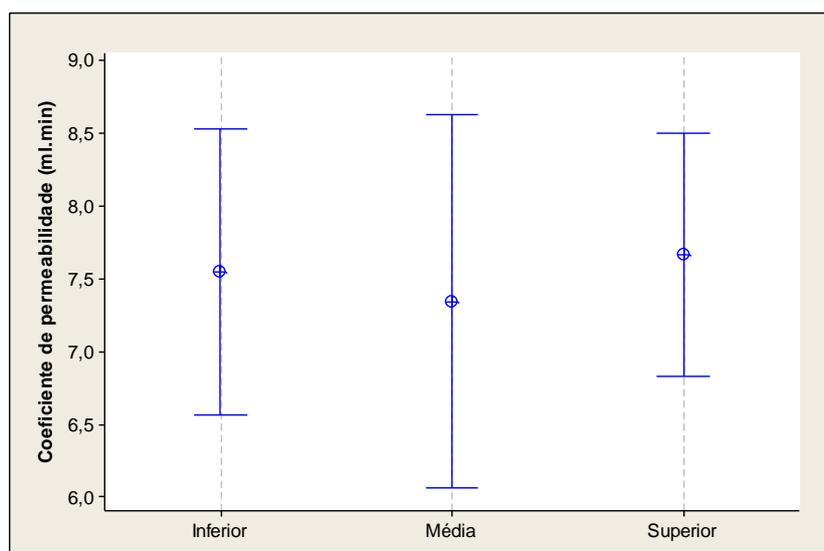


Figura 63: Intervalos de confiança das médias do coeficiente de permeabilidade pelos mesmos traços (T3) nas diferentes alturas do substrato (inferior, médio, superior)

Tabela 55: análise múltipla de médias pelo Método de Fisher do impacto do coeficiente de permeabilidade pelo método do cachimbo dos mesmos traços (T1) nas diferentes alturas do substrato (inferior, médio, superior)

Alturas	1 (Inferior)	2 (Média)	3 (Superior)
Inferior		NS	NS
Média	NS		NS
Superior	NS	NS	

S - Significativo; NS - Não Significativo

Tabela 56: análise múltipla de médias pelo Método de Fisher do impacto do coeficiente de permeabilidade pelo método do cachimbo dos mesmos traços (T2) nas diferentes alturas do substrato (inferior, médio, superior)

Alturas	1 (Inferior)	2 (Média)	3 (Superior)
Inferior		NS	NS
Média	NS		NS
Superior	NS	NS	

S - Significativo; NS - Não Significativo

Tabela 57: análise múltipla de médias pelo Método de Fisher do impacto do coeficiente de permeabilidade pelo método do cachimbo dos mesmos traços (T3) nas diferentes alturas do substrato (inferior, médio, superior)

Alturas	1 (Inferior)	2 (Média)	3 (Superior)
Inferior		NS	NS
Média	NS		NS
Superior	NS	NS	

S - Significativo; NS - Não Significativo

Por outro lado, o que se pôde notar foi que ocorreu uma tendência de que quanto maior a resistência de aderência à tração, menor é a permeabilidade dos revestimentos ensaiados. Esse aspecto pode ser notado na figura 64, que apresenta a relação entre os valores médios de resistência de aderência e coeficiente médio de permeabilidade dos traços executados.

Esses resultados corroboram novamente com as afirmações de Romano *et al.* (2015) de que o aumento na porosidade das argamassas resultam em uma diminuição nos valores absolutos de resistência.

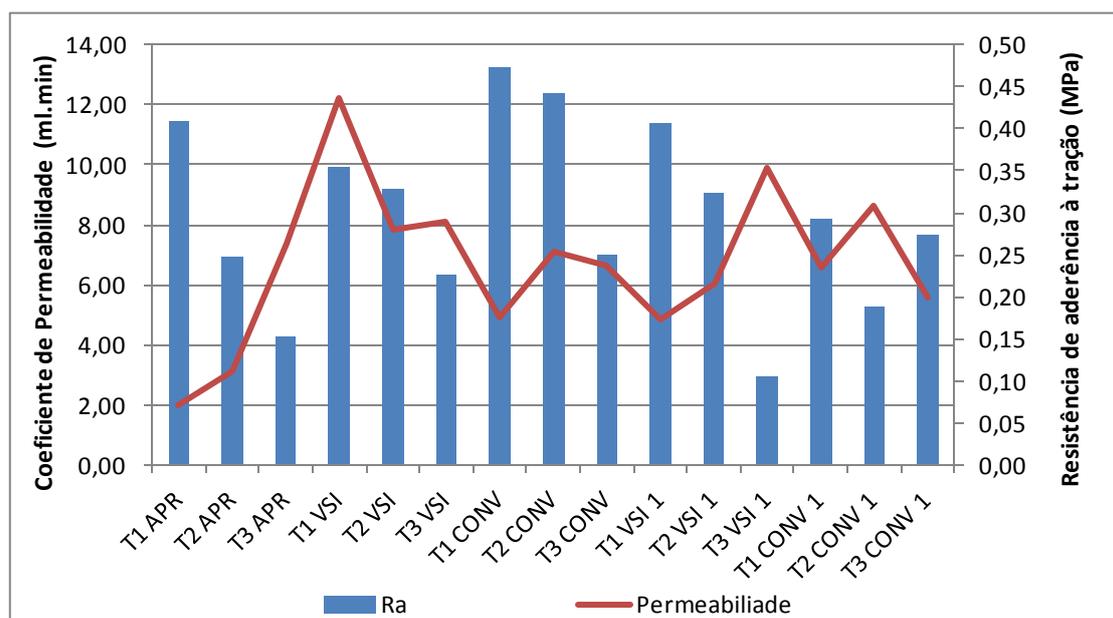


Figura 64: relação entre os valores médios de resistência de aderência e coeficiente médio de permeabilidade dos traços executados

De uma forma geral, através das análises múltiplas de médias pelo método de Fisher, pode-se comprovar que o fator forma e composição granulométrica são significativamente decisivas no comportamento do coeficiente de permeabilidade dos revestimentos avaliados. Isso pode ser explicado em função de que no momento da mistura da argamassa ocorre a incorporação de ar e a distribuição do tamanho dos grãos podem afetar na permeabilidade dos revestimentos.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa teve como objetivo principal o de determinar parâmetros de projetabilidade através da análise da forma do agregado miúdo e do comportamento reológico para a formulação de argamassas de revestimentos. Para tanto, produziu-se 15 argamassas de projeção, com proporcionamentos 1:1:4, 1:1:6 e 1:1:8, em massa, com três diferentes composições granulométricas (CG-APR, CG-VSI, CG-CONV) e duas corrigidas (CG-VSI 1 e CG-CONV 1) e com três relações aglomerante/agregado. As argamassas foram produzidas em laboratório em quantidades suficientes para as devidas caracterizações nos estados fresco e endurecido, estudos de comportamento reológico (*squeeze flow* e reometria rotacional), teste de projeção, resistência de aderência à tração e de permeabilidade.

Com as análises visuais dos agregados e verificação do fator forma dos mesmos, o estudo das composições granulométricas, as caracterizações nos estados fresco e endurecido das argamassas de projeção confeccionadas, dos ensaios de comportamento reológico e o teste de projeção executado, pôde-se corroborar com a hipótese mencionada no início do trabalho, a qual via a possibilidade de determinar características reológicas limites que definissem a projetabilidade de argamassas. Dessa forma, a comprovação de tal afirmação está na combinação dos seguintes fatores que influenciaram diretamente no comportamento reológico e que podem ser considerados como parâmetros reológicos de projetabilidade, a elencar:

a) fator forma utilizável das areias: argamassas que contenham na sua composição grãos a partir de: rugosos e polidos a polidos; arredondados; e de baixa esfericidade;

b) composição granulométrica utilizável: argamassas que contenham agregados com maior porcentagem de material fino passante na peneira #0,6mm;

c) viscosidade aparente (Pa.s): com a combinação dos fatores impostos como padrão para a confecção das argamassas (quantidades de aglomerantes,

porcentagens de incorporador de ar e retentor de água) obteve-se intervalos de valores de viscosidade aparente ideal para projetabilidade relacionada ao fator forma dos grãos, sendo que para grãos polidos de 14 a 28 Pa.s; e para grãos a partir de rugosos e polidos de 16 a 48 Pa.s.

Como forma de apresentar um resumo contendo os parâmetros que influenciam na projetabilidade pode-se propor a tabela 58 abaixo:

Tabela 58: resumo dos parâmetros de projetabilidade

Composição Granulométrica	Módulo de Finura	Superfície Específica (m <sup>2</sup> /g)	Traços	Viscosidade	Retenção de água	Densidade de massa	Ar incorporado (%)
CG-APR Grãos polidos	1,66	4.141	1:1:4	AUMENTA	IGUAL	IGUAL	4,40
			1:1:6				4,00
			1:1:8				5,30
CG-VSI Grãos rugosos	2,48	6.780	1:1:4	DIMINUI	IGUAL	DIMINUI	5,70
			1:1:6				6,00
			1:1:8				5,80
CG-CONV Grãos rugosos	2,00	10.393	1:1:4	DIMINUI	AUMENTA	DIMINUI	3,97
			1:1:6				4,50
			1:1:8				4,00
CG-VSI 1 Grãos rugosos e polidos	1,66	4.028	1:1:4	AUMENTA	IGUAL	AUMENTA	6,50
			1:1:6				6,00
			1:1:8				5,80
CG-CONV 1 Grãos rugosos e polidos	1,66	3.959	1:1:4	AUMENTA	IGUAL	AUMENTA	3,80
			1:1:6				3,80
			1:1:8				3,90

## 5.1 CONCLUSÕES

Através da análise visual dos agregados, utilizando-se a lupa estereoscópica, pôde-se concluir, que o agregado CG-APR apresentou superfície dos grãos predominantemente polidos, como mostrado na tabela 59. Já as areias de britagem CG-VSI e CG-CONV, de origem basáltica, apresentaram superfícies dos grãos com predominância rugosos. Por outro lado, nas duas composições granulométricas corrigidas, respectivamente CG-VSI 1 e CG-CONV 1, verificou-se que, com a correção com areia APR em cada fração, houve um melhoramento da classificação de superfície para polidas e rugosas.

Pode-se considerar que as composições CG-APR, CG-VSI 1, CG-VSI e CG-CONV 1 são bem arredondados, pois apresentaram valores médios acima de 0,70, de acordo

com a figura 20 de Powers (1953). Por outro lado, a CG-CONV classificou-se como sendo arredondado, pois o valor de arredondamento ficou em 0,69.

Considera-se, assim, que a composição CG-APR possui grãos predominantemente com alta esfericidade, favorecendo o comportamento reológico quanto a deformação e fluxo viscoso. Já as demais composições apresentaram esfericidade baixa, em função do ligeiro alongamento de suas formas.

Nos ensaios de comportamento reológico das argamassas de projeção pelo método *squeeze-flow*, pôde-se verificar que existe uma influência do teor agregado/pasta nas argamassas, o qual as argamassas dos grupos T1 e T2 apresentaram comportamentos semelhantes, respectivamente, com baixos níveis de esforços para promover o fluxo plástico. Isso se explica devido a maior concentração de pasta envolvendo os grãos de agregado diminuindo o atrito interno e facilitando o fluxo. Por outro lado, as argamassas do grupo T3 apresentaram resistência ao fluxo plástico pelo aumento da quantidade de agregado, prejudicando assim fluxo plástico.

No que diz respeito à influência da composição granulométrica no ensaio de *squeeze-flow*, observou-se que ocorreram comportamentos distintos, sendo que as argamassas produzidas com as composições mais grossas (CG-VSI e CG-CONV) mostraram-se mais rígidas e consistentes, produzindo menores deformações e com elevadas cargas de compressão com velocidades de aplicação mais lenta. Já as argamassas produzidas com a CG-APR necessitaram menos carga em todos os traços para promover o fluxo plástico em função da maior quantidade de finos na sua composição. Logo necessitaram maior quantidade de água de amassamento, facilitando o envolvimento da pasta e promovendo maior lubrificação dos grãos de areia.

Pôde-se notar que as argamassas produzidas com as composições corrigidas (CG-VSI 1 e CG-CONV 1) apresentaram bom comportamento em comparação com as outras areia. Mostrou-se assim que a correção de finos faltantes foi decisivo no para o melhoramento do comportamento da deformação plástica durante o ensaio de *squeeze flow*. Isso se explica devido a correção do fator forma da areia original, a qual é composta de grãos predominantemente rugosos e a inserção de grãos polidos possibilitou a diminuição da consistência e o conseqüente melhoramento do comportamento reológico das argamassas.

No que se refere ao fator forma das areias em relação aos resultados dos ensaios de *squeez-flow*, pode-se inferir que existe influência na resistência ao fluxo apresentada

pelas argamassas com agregados compostos por grãos com formas irregulares e com superfícies rugosas.

Quando analisadas pelo método de reometria rotacional, pode-se afirmar que os principais fatores que influenciaram significativamente no comportamento reológico das argamassas de projeção foram os parâmetros de forma e granulometria dos agregados e densidade de massa, os quais podem ser comparados pela tabela 58.

Os parâmetros de forma e granulometria dos agregados mostraram-se decisivos no comportamento reológico. Essa característica influenciou na viscosidade aparente, dificultando o fluxo das argamassas. Assim, as argamassas com as composições CG-APR foram mais eficientes quanto ao fluxo viscoso, pois possuem grãos polidos e com alta esfericidade. Já aquelas produzidas com areias de britagem apresentaram aumento gradual da viscosidade aparente, visto que apresentaram grãos irregulares, com superfícies rugosas e baixa esfericidade, comprometendo o fluxo viscoso.

Outro fator que influenciou no comportamento reológico foi o ar incorporado, o qual refletiu diretamente na viscosidade aparente das argamassas estudadas. Observou-se, de modo geral, que com o aumento da porcentagem de ar incorporado, diminuiu a viscosidade aparente. Além disso, a presença do ar incorporado contribuiu para a diminuição da densidade de massa, facilitando o fluxo viscoso da argamassa.

A grande maioria das argamassas fluíram sem problemas de entupimento. Deve-se destacar que as argamassas contendo a areia CG-APR apresentaram as melhores aparências com relação à consistência e trabalhabilidade.

Deve-se destacar também, que as composições CG-VSI 1 e CG-CONV 1 mostraram-se eficientes quanto à projeção, as quais foram beneficiadas pela correção das composições com areia APR gerando melhoramentos no fator forma e comportamento reológico.

Tabela 59: resumo dos principais resultados obtidos na pesquisa

<b>AREIAS</b>	<b>CG-APR</b>		<b>CG-VSI</b>		<b>CG-CONV</b>		<b>CG-VSI 1</b>		<b>CG-CONV 1</b>						
Análise visual	Polida		Rugosa		Rugosa		Polida e Rugosa		Polida e Rugosa						
Forma	0,74		0,69		0,70		0,70		0,73						
Arredondamento	0,72		0,70		0,69		0,71		0,71						
Esfericidade	0,84		0,79		0,78		0,79		0,79						
<b>ARGAMASSAS</b>	<b>T1 (1:1:4)</b>					<b>T2 (1:1:6)</b>					<b>T3 (1:1:8)</b>				
<b>CG</b>	<b>APR</b>	<b>VSI</b>	<b>CONV</b>	<b>VSI 1</b>	<b>CONV 1</b>	<b>APR</b>	<b>VSI</b>	<b>CONV</b>	<b>VSI 1</b>	<b>CONV 1</b>	<b>APR</b>	<b>VSI</b>	<b>CONV</b>	<b>VSI 1</b>	<b>CONV 1</b>
Índice de consistência (mm)	259,0	259,5	273,5	259,6	271,7	267,7	261,8	259,1	251,2	263,1	268,7	255,7	259,5	246,7	255,7
Retenção de água (%)	98,52	98,87	98,05	98,99	97,98	97,96	97,52	95,96	98,75	96,70	97,30	97,31	94,59	97,73	96,38
Densidade de massa (kg/m <sup>3</sup> )	1587	1631	1797	1624	1711	1599	1564	1874	1504	1730	1523	1771	1904	1472	1557
Ar incorporado (%)	4,40	5,70	3,97	6,50	3,80	4,00	6,00	4,50	6,00	3,80	5,30	5,80	4,00	5,80	3,90
Viscosidade máx. (Pa.s)	24,07	21,63	22,62	49,06	25,85	21,55	30,56	30,00	37,70	26,28	19,03	31,77	38,55	36,21	19,05
Resistência à compressão (MPa)	1,69	1,85	3,10	1,73	3,50	1,21	1,11	1,75	0,69	2,71	0,89	0,55	0,59	1,67	1,77
Resistência à tração na flexão (MPa)	1,41	1,41	1,86	1,71	2,28	1,06	0,92	1,17	0,81	1,59	0,56	0,53	0,53	1,39	1,25
Módulo de elasticidade dinâmico (GPa)	3,38	4,51	5,39	3,71	4,68	2,94	2,84	5,14	2,63	3,55	2,58	4,16	4,06	1,91	2,01
Densidade aparente (kg/m <sup>3</sup> )	1372	1447	1573	1338	1479	1353	1382	1647	1294	1524	1326	1582	1660	1294	1356
Absorção por capilaridade (g/dm <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> )	10,77	7,56	9,76	11,72	8,7	12,96	10,12	12,51	10,81	12,51	14,64	9,76	16,97	13,60	16,36
Resistência de aderência (MPa)	0,41	0,35	0,46	0,39	0,29	0,25	0,33	0,42	0,31	0,19	0,14	0,21	0,23	0,09	0,28
Permeabilidade (ml.min)	1,99	11,29	4,91	4,60	6,60	3,09	7,81	7,11	6,02	8,67	7,40	8,11	6,62	8,88	5,60

Através do exposto, pode-se traçar recomendações quanto à formulação de argamassas de projeção levando em conta os parâmetros de projetabilidade elencados anteriormente:

- a) deve-se buscar um agregado miúdo com fator forma ideal que seja composto de grãos polidos e arredondados, pois vão propiciar fluxos viscosos e plásticos ideais para argamassas de projeção;
- b) se necessário, promover correção na granulometria do agregado escolhido em virtude de possíveis deficiências de alguma fração, módulo de finura e de superfície específica, bem como a correção do fator forma;
- c) utilização de aditivos incorporador de ar, pois propicia diminuição da viscosidade e aditivo retentor de água, pois auxilia na manutenção da água de amassamento e o fluxo plástico com o tempo;
- d) o traço indicado em massa é o de 1:1:6, pois gera uma relação agregado/aglomerante ideal, trazendo bons resultados tanto nas propriedades no estado fresco como no endurecido;
- e) controle tecnológico do comportamento reológico das argamassas através de squeeze flow o qual é um ensaio simples e de menor custo que o de reometria rotacional.

## 5.2 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

O presente trabalho visou determinar parâmetros reológicos para a formulação de argamassas de projeção levando em conta o fator forma das areias. Um dos parâmetros que se destacou foi a influência do ar incorporado através da presença de aditivo para esse fim, o qual sua porcentagem manteve-se constante em todas as dosagens estudadas. Além desse fator, surgem questionamentos que devem ser analisados em temas para pesquisas futuras:

- a) estudar qual a faixa ideal de aditivo ar incorporado e sua influência no comportamento reológico das argamassas de projeção;
- b) avaliar qual a faixa ideal de aditivo retentor de água e a influência tanto na incorporação de ar quanto no comportamento reológico das argamassas de projeção;

- c) verificar a influência do tipo de substrato de aderência em revestimentos executados a partir da projeção de argamassa e a influência dos parâmetros de fator forma da areia no desempenho da argamassa;
- d) avaliar dosagens de argamassas variando-se os tipos de aglomerantes (tipos de cimentos, tipos de cales hidratadas e hidráulicas) nos seus comportamentos reológicos e variando-se as composições granulométricas e fator forma;
- e) verificar e comparar o comportamento de argamassas de projeção através outras técnicas de medições reológicas;
- f) analisar a extensão de aderência e permeabilidade de dosagens de argamassas de projeção variando-se os parâmetros de projetabilidade;

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKBULUT, S. **Fractal dimensioning of sand grains using image analysis system.** Journal of Engineering Sciences, v. 8, p. 329-334, 2002.

ALVES, N. **Avaliação dos aditivos incorporadores de ar em argamassas de revestimento.** Dissertação (Mestrado). ENC/FT/Universidade de Brasília. Brasília, DF, 175p. 2002.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS: **ASTM - Standard specification for mortar for unit masonry.** West Conshohocken, 2004.

ANTUNES, R.P.N.; JOHN, V.M. **Determinação e controle da energia de impacto de argamassas lançadas manualmente.** São Paulo, Epusp, 2007. 14 p. (Boletim Técnico). Departamento de Engenharia de Construção Civil. BT/PCC/455

ANTUNES, G. R., STOLZ, C.M., MASUERO, A.B. **Análise da influência do equipamento utilizado no ensaio de resistência de aderência à tração.** In: 4º Congresso Português de argamassas e ETICS, 2012, Coimbra. 4º Congresso Português de argamassas e ETICS. Lisboa, APFAC, 2012.

ARASAN, S.; HASILOGLU, A.; AKBULUT, S. **Shape Properties of Natural and Crushed Aggregate using Image Analysis.** International Journal of Civil and Structural Engineering, v. 1, p. 221-233, 2010.

ARAÚJO, G. S. **Estudos de parâmetros texturais das areias para argamassas de revestimento através de análise de imagens.** Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico. Vitória. 2001.

ARNOLD, D. C. M. **Análise da influência da forma dos grãos nas propriedades das argamassas.** Dissertação (mestrado). Universidade do Vale do Rio dos Sinos. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. São Leopoldo, RS, 185p. 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **ABCP: Manual de Revestimentos de Argamassa.** Comunidade da Construção, S/D. Disponível em: <<http://www.comunidadeconstrucao.com.br/upload/ativos/279/anexo/ativosmanu.pdf>>. Acesso em: 29 Janeiro 2016.

ASOCIACIÓN MERCOSUR DE NORMALIZACIÓN. **NM 47: 02**: Determinação do teor de ar em concreto fresco – Método pressométrico. [s. l.], 2002.

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

\_\_\_\_\_. **NBR NM 52**: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 53**: Agregado graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 2009

\_\_\_\_\_. **NBR NM 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

\_\_\_\_\_. **NBR 6136**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

\_\_\_\_\_. **NBR 7211**: Agregados para concreto - Especificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 7215**: Resistência à compressão do cimento portland. Rio de Janeiro: ABNT, 1996.

\_\_\_\_\_. **NBR 7175**: Cal hidratada para argamassas - Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

\_\_\_\_\_. **NBR 7389-1**: Agregados - Análise petrográfica de agregados para concreto - Parte 1: Agregado miúdo. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

\_\_\_\_\_. **NBR 11578**: Cimento portland composto. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

\_\_\_\_\_. **NBR 12118**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

\_\_\_\_\_. **NBR 13276**: Argamassa para assentamento de paredes e tetos – Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

\_\_\_\_\_. **NBR 13277:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da retenção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 13278:** Argamassa para assentamento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro: ABNT, 2005

\_\_\_\_\_. **NBR 13279:** Argamassa para assentamento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 13280:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 13281:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e teto - Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR13528:** Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

\_\_\_\_\_. **NBR13529** - Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Terminologia. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

\_\_\_\_\_. **NBR 15259** - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e teto - Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 15630:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultra-sônica. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

\_\_\_\_\_. **NBR 13749:** Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2013

\_\_\_\_\_. **NBR 15839:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Caracterização reológica pelo método *squeeze-flow*. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

\_\_\_\_\_. **NBR 16607**: Cimento Portland - Determinação dos tempos de pega. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

BRITISH SATANDARD. **BS 4551**: Methods of testing mortars, screeds and plasters. London. 1980.

AUSTIN, S. A.; ROBINS, P. J.; GOODIER, C. I. **The rheological performance of wet-process sprayed mortars**. Magazine of Concrete Research, v. 51, p. 341-352, 1999.

BANDEIRA, A. F. D. **Caracterização de argamassas de cal aérea e de cal hidráulica natural com metacaulin – Evolução com a Idade**. 2012, 172 p. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Civil), Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.

BANFILL, P. F. G. **Rheological methods for assessing the flow properties of mortar and related materials**. Construction and Building Materials, v. 8, p. 43-50, 1994.

BANFILL, P. F. G. **The influence of fine materials in sand on the rheology of fresh mortar. Utilizing ready mix concrete and mortar**. Proceedings of the international conference held at the University of Dundee. p. 8-10. 1999.

BARBOSA, M. P. et al. **Determinação de parâmetros reológicos de argamassas e concreto através de técnicas alternativas**. Revista IBRACON de Estruturas e Materiais, v. 4, nº 3, p. 440-480, Agosto 2011.

BARNES, H. A.; NGUYEN, Q. D. **Rotating vane rheometry — a review**. Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics, n. 98, p. 1-14, 2001.

BARRETT, P. J. **The shape of rock particles, a critical review**. Sedimentology, v. 27, p. 291-303, 1980.

BAUER, E. **Revestimentos de argamassa: características e peculiaridades**. [S.l.], p. <http://www.comunidade-da-construcao.com.br/upload/ativos/123/anexo/revesar.pdf>. 2005.

BAUER, E. et al. **Study of the laboratory Vane test on mortars**. Building and Environment, n. 42, p. 86-92, 2007.

BENTZ, D. P.; FERRARIS, C. F.; GALLER, M. A.; HANSEN, A. S.; GUYNN, J. M. **Influence of particle size distributions on yield stress and viscosity of cement-fly ash pastes.** Cement and Concrete Research, v. 42, p. 404-409. 2012.

BRIGGS, C; EVERTSSON, C.M. **Shape potential of rock.** Minerals Engineering. Vol. 11, n. 2, p. 125-132. 1998.

CAPUTO, H. P. **Mecânica dos Solos e suas Aplicações - Fundamentos.** 6ª. ed. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos, 1996.

CARASEK, H. **Aderência de argamassas à base de cimento portland a substratos porosos: avaliação dos fatores intervenientes e contribuição ao estudo do mecanismo da ligação.** Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 285. 1996.

CARASEK, H. **Apostila da disciplina Tecnologia das Argamassas.** Goiânia: Curso de Mestrado UFG, 2005.

CARASEK, H. **MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais.** 2ª Edição. ed. São Paulo: IBRACON, 2010.

CARDOSO, F. A. **Método de formulação de argamassas de revestimento baseado em distribuição granulométrica e comportamento reológico.** Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 138. 2009.

CARDOSO, F. A.; JOHN, V. M.; PILEGGI, R. G.; BANFILL, P. F. G. **Characterisation of rendering mortars by squeeze-flow and rotational rheometry.** Cement and Concrete Research. v.57, p. 79-87, 2014.

CARDOSO, F. A.; PILEGGI, R. G.; JOHN, V. M. **Caracterização reológica de argamassas pelo método de squeeze-flow.** Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, 6. International Symposium on Mortars Technology. Florianópolis: [s.n.]. p. 121-143 2005.

CARNEIRO, A. M. P.; CINCOTTO, M. A. **Dosagem de argamassas através de curvas granulométricas.** Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, BT/PCC/237. São Paulo, p. 14. 1999.

CARR, J. R.; MISRA, M.; LITCHFIELD, J. **Estimating Surface Area for Aggregate in the Size Range 1 mm or Larger**. Transportation Research Record, p. 20-27, 1992.

CECHIN, G. **Análise de fatores que exercem influência na argamassa e no processo de projeção em revestimento de paredes**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 2017.

CECHIN, G.; STOLZ, C. M.; MASUERO, A. B. **Influence of production systems on the properties of fresh and hardened shotcrete**. Ambiente Construído, vol. 18, nº 2. Porto Alegre. Apr./June, 2018.

CEPURITIS, R.; GARBOCZI, E. J.; FERRARIS, C. F.; JACOBSEN, S.; SORENSEN, B. E. **Measurement of particle size distribution and specific surface area for crushed concrete aggregate fines**. Advanced Powder Technology. v. 28, p. 706-720, 2017.

CEPURITIS, R.; WIGUM, B. J.; GARBOCZI, E. J.; MORTSELL, E.; JACOBSEN, S. **Filler from crushed aggregate for concrete: Pore structure, specific surface, particle shape and size distribution**. Cement & Concrete Composites. v. 54, p. 2-16, 2014.

CINCOTTO, M. A.; SILVA, M. A. C.; CASCUDO, H. C. **Argamassas de revestimento: propriedades, características e métodos de ensaios**. IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas. São Paulo, p. 118. 1995.

CINCOTTO, M. A.; SILVA; CARASEK, H. **Argamassas de revestimento: propriedades, características e métodos de ensaios**. IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas. São Paulo, p. 118. 1995.

CORTES, D. D.; KIM, H. K. P. A. M.; SANTAMARINA, J. C. **Rheological and mechanical properties of mortars prepared with natural and manufactured sands**. Cement and Concrete Research, v. 38, p. 1142-1147, 2008.

COSTA, F. N. **Processo de produção de revestimento de fachada de argamassa: problemas e oportunidades de melhorias**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Porto Alegre. 2005.

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

CRESCÊNCIO, R. M. **Desempenho do revestimento decorativo monocamada**. 2003. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

CZARNECKA, E.; GILLOTT, J. **Effect of Different Types of Crushers on Shape and Roughness of Aggregates**. Cement, Concrete and Aggregates, Vol. 4, No. 1, p. 33-36, 1982.

DE LARRARD, F. **Concrete Mixture Proportioning: A Scientific Approach**. Modern Concrete Technology Series, vol. 9, E&FN SPON, London, 1999, 421pg.

DIAS, L. de A. **Avaliação da permeabilidade e da absorção de água de revestimentos de argamassa**. Goiânia, 2003. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, 2003.

DIAS, L. de A.; CARASEK, H. **Avaliação da permeabilidade e absorção de água de revestimentos de argamassa pelo método do cachimbo**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 5., 2003. São Paulo. Anais... São Paulo: USP, 2003. p. 519- 531.

DO Ó, S. W. **Análise da retenção de água em argamassas de revestimento aditivadas**. Dissertação (Mestrado). Universidade de Brasília. Brasília, p. 173. 2004.

DONZA, H.; CABRERA, O.; IRASSAR, E. F. **High-strength concrete with different fine aggregate**. Cement and Concrete Research, v. 32 (11), p. 1755-1761, 2002.

DUALIBE, R. P.; CAVANI, G. R.; OLIVEIRA, M. C. B. **Influência do Tipo de Projeção da Argamassa na Resistência de Aderência à Tração e Permeabilidade à Água**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE ARGAMASSAS, 6., Florianópolis, 2005. Anais...Florianópolis: ANTAC, 2005. p. 508-517.

ENGMANN, J.; SERVAIS, C.; BURBIDGE, A. **Squeeze flow theory and applications to rheometry: A review**. Journal of non-newtonian fluid mechanics, n. 132, p. 1-27, 2005.

ERDOGAN, S. T.; MARTYS, N. S.; FERRARIS, C. F.; FOWLER, D. W. **Influence of the shape and roughness of inclusions on the rheological properties of a cementitious suspension.** Cement & Concrete Composites. v. 30, p. 393-402, 2008.

FERNANDES, H. C. et al. **Influência da forma de aplicação e da reologia da argamassa nas propriedades mecânica dos revestimentos.**In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE ARGAMASSAS, 8, 2009, Curitiba, PR.

\_\_\_\_\_. **Fatores que influenciam a energia de lançamento da argamassa na projeção por spray a ar comprimido.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE ARGAMASSAS, 7., Recife, 2007. Anais...Porto Alegre: ANTAC, 2007. v. 1

FERNLUND, J. M. R. **Image analysis method for determining 3-D shape of coarse aggregate.** Cement and Concrete Research, v. 35, p. 1629-1637, 2005.

FERRARIS, C. F.; DE LARRARD, F. **Modified slump test to measure rheological parameters of fresh concrete.** Cement, Concrete and Aggregates, v. 20, nº 2, p. 241-247, December 1998.

FERRARIS, C. F.; MARTYS, N. S. **Relating Fresh Concrete Viscosity Measurements from Different Rheometers.** Journal of Research of National Institute of Standards and Technology, v. 108, p. 229-234, 2003.

FIALHO, P. F. et al. **Influência das areias de origens diversas no comportamento reológico das argamassas para revestimento.** In: 54<sup>o</sup> Congresso Brasileiro do Concreto - IBRACON. Alagoas: [s.n.]. 2012. p. 1-13.

FIORITO, A. J. S. I. **Manual de argamassas e revestimentos:** estudos e procedimentos de execução. 2<sup>a</sup> Edição. ed. São Paulo: Pini, 2009.

FORMAGINI, S. **Dosagem Científica e Caracterização Mecânica de Concretos de Altíssimo Desempenho.** Tese (Doutorado). Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, 2005.

GIORDANI, C. **Influência da cal hidratada no comportamento de argamassas mistas.** 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

GHOURCHIAN, S.; WYRZYKOWSKI, M.; PLAMONDON, M.; LURA, P. **On the mechanism of plastic shrinkage cracking in fresh cementitious materials**. Cement and Concrete Research, v. 115, p. 251-263, 2019.

GOLDONI, A. G. et al. **Avaliação de um método baseado em análise de imagens para obtenção de parâmetros de forma em grãos de areia de britagem**. Revista Ibracon de Estruturas e Materiais, v. 8, n. 5, p. 577-590, Outubro 2015.

GONÇALVES, J. P. et al. **Comparison of natural and manufactured fine aggregates in cement mortars**. Cement and Concrete Research, v. 37, p. 924-932, 2007.

GONÇALVES, S.R. de C. **Variabilidade e fatores de dispersão da resistência de aderência nos revestimentos em argamassa – estudo de caso**. Brasília, 2004. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) – Programa de pós-graduação em Estrutura e Construção Civil, Universidade de Brasília.

GONÇALVES, S.R de C.; BAUER, E. **Estudo de caso da variação de resistência de aderência à tração em uma parede**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS. 6., 2005. Florianópolis. Anais...Florianópolis, 2005

GOODIER, I. C. **Wet-process sprayed mortar and concrete for repair**. Doctoral Thesis. Loughborough University. [S.l.]. 2000.

GRASSL, P.; WONG, H. S.; BUENFELD, N. R. **Influence of aggregate size and volume fraction on shrinkage induced micro-cracking of concrete and mortar**. Cement and Concrete Research, v. 40, p. 85-93, 2010.

HACKLEY, V. A.; FERRARIS, C. F. **The use of Nomenclature in Dispersion Science and Technology**. Washington: National Institute of Standards and Technology, 2001.

HAFID, H.; OVARLEZ, G.; TOUSSAINT, F; JEZEQUEL, P. H.; ROUSSEL, N. **Effect of particle morphological parameters on sand grains packing properties and rheology of model mortars**. Cement and Concrete Research, v. 80, p. 44-51, 2016.

HENDRICKX, R. **The adequate measurement of the workability of masonry mortar**. PhD thesis. Katholieke Universiteit Leuven. Lovaina - Belgica, p. 213. 2009.

HEWLETT, P. C. **LEA's Chemistry of Cement and Concrete**. Fourth edition. ed. New York: John Wiley & Sons Inc., 1998.

HOPPE, J. et al. **Técnicas de caracterização reológica de argamassas**. E-Mat - Revista de Ciência e Tecnologia de Materiais de Construção Civil, v. 3, n. 2, p. 103-120, 2006.

HOPPE, J.; CINCOTTO, M.; PILEGGI, R. G. **Técnicas de caracterização reológica de concretos**. Revista Concreto & Construções, São Paulo, v. 47, n. Ed. IBRACON, p. 108 – 124, 2007.

HU, C.; LARRARD, F. **Rheological testing and modelling of fresh high performance concrete**. Materials and Structures, v. 28, p. 1-7, 1995.

HYSLIP, J. P.; VALLEJO, L. E. **Fractal analysis of the roughness and size distribution of granular materials**. Engineering Geology, v. 48, p. 231-244, 1997.

JAYASREE, C.; GETTU, R. **Experimental study of the flow behaviour of superplasticized cement paste**. Materials and Structures, v. 41, p. 1581-1593, 2008.

KABAGIRE, K. D.; DIEDERICH, P.; YAHIA, A.; CHEKIRE, M. **Experimental assessment of the effect of particle characteristics on rheological properties of model mortar**. Construction and Building Materials, v. 151, p. 615-624, 2017.

KIRYU, H. D. S. **Investigação reológica e análise mecânica de compósitos não-newtonianos**. Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho - UNESP. Ilha Solteira, SP, p. 204. 2006.

KOEHLER, E. P.; FOWLER, D. W. **Summary of concrete workability test methods**. International Center for Aggregates Research. The University of Texas at Austin. Austin. 2003.

KUO, C. Y. et al. **Three-dimensional image analysis of aggregate particles from orthogonal projections**. Transportation Research Record, v. 1526, p. 98-103, 1996.

KWAN, A. K. H.; MORA, C. F.; CHAN, H. C. **Particle shape analysis of coarse aggregate using digital image processing**. Cement and Concrete Research, v. 29, p. 1403-1410, 1999.

LEE, J. R. J.; SMITH, M. L.; SMITH, L. N. **A new approach to the three-dimensional quantification of angularity using image analysis of the size and form of coarse aggregates.** Engineering Geology, v. 91, p. 254-264, 2007.

LU, G.; WANG, K.; RUDOLPHI, T. J. **Modeling rheological behavior of highly flowable mortar using concepts of particle and fluid mechanics.** Cement & Concrete Composites, v. 30, p. 1-12, 2008.

MACIEL, L. L.; BARROS, M. M. S. B.; SABBATINI, F. H. **Recomendações para a execução de revestimentos de argamassa para paredes de vedação internas e exteriores e tetos.** São Paulo. 1998.

MALKIN, A. Y.; ISAYEV, A. I. **Rhology: Concepts, Methods, & Applications.** Toronto: ChemTec Publishing, 2006.

MERTENS, G.; ELSEN, J. **Use of computer assisted image analysis for the determination of the grain-size distribution of sands used in mortars.** Cement and Concrete Research, v. 36, p. 1453-1459, 2006.

METHA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais.** 2a. ed. São Paulo: IBRACON, 2014.

MICHEL, F.; COURARD, L. **Particle size distribution of limestone fillers: granulometry and specific surface area investigations.** Particulate Science and Technology, v.32, 334–340, 2014.

MIN, B. H.; ERWIN, L.; JENNINGS, H. M. **Rheological behaviour of fresh cement paste as measured by squeeze flow.** JOURNAL OF MATERIALS SCIENCE, v. 29, p. 1374-1381, 1994.

MOURA, C .B. **Aderência de revestimentos externos de argamassa em substratos de concreto: influência das condições de temperatura e ventilação na cura do chapisco.** 2007. 234 p. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.

MONTE, R. **Avaliação de metodologias de ensaio destinadas à verificação da eficiência de aditivos superplastificantes em pastas de cimento Portland.**

Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, SP, p. 102. 2003.

MORA, C. F.; KWAN, A. K. H.; CHAN, H. C. **Particule size distribution analysis of coarse aggregate using digital image processing**. Cement and Concrete Research, v. 28, p. 921-932, 1998.

NASCIMENTO, C. R. **Ensaio em reômetros rotacional tipo cilindros coaxiais**. Comunicação Técnica, CT2007-081-00. Rio de Janeiro, p. 26. 2007.

NEVILLE, A. M. **Properties of Concrete**. Fourth edition. ed. New York: John Wiley & Sons Inc., 1996.

OLIVEIRA, I. R.; STUART, A. R.; PILLEGI, R. G.; PANDOLFELLI, V. C. **Dispersão e empacotamento de partículas: princípios e aplicações em processamento cerâmico**. 18 ed. Fazendo arte editorial, 195 p., 2000.

PASHIAS, N. E. A. **A fifty cent rheometer for yield stress measurement**. Journal of Rheology **40**, p. 1179-1189, 1996.

PEDUZZI, M. L.; CAMPOS, M. O.; BRITO, M. H. G.; CARASEK, H. **Influência das propriedades de blocos de concreto na resistência de aderência de revestimentos de argamassa**. In: 54º Congresso Brasileiro do Concreto. Maceió, Alagoas, 2012.

PERSSON, A. L. **Image analysis of shape and size of fine aggregates**. Engineering Geology, v. 50, p. 177-186, 1998.

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

POWERS, M. C. **A new roundness scale for sedimentary particles**. Journal of Sedimentary Petrology, v. 23, p. 117-119, 1953.

POWERS, T. C. **Properties of fresh concrete**. Wiley & Son, 1968.

QUIROGA, P.; FOWLER, D. **The effects of aggregates characteristics on the performance of portland cement concrete**. International Center for Aggregates Research. The University of Texas. Austin, p. 358. 2004.

RAJAN, B.; SINGH, D. **Understanding influence of crushers on shape characteristics of fine aggregates based on digital image and conventional techniques**. Construction and Building Materials, v. 150, p. 833-843, 2017.

RECENA, F. A. P. **Conhecendo argamassa**. 2ª Edição. ed. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2012.

RIBEIRO, J. L. D.; TEN CATEN, C. **Projeto de Experimentos**. PPGE/UFGRS. Porto Alegre, p. 153. 2011.

RILEM. **MR-3. The Complex Workability – Consistence – Plasticity**. RILEM. France. 1982.

ROMANO, R. C. O.; TORRES, D. R.; PILEGGI, R. G. **Impact of aggregate grading and air-entrainment on the properties of fresh and hardened mortars**. Construction and Building Materials, v. 82, p. 219-226, 2015.

RUBIN, A. P. **Argamassas autonivelantes industrializadas para contrapiso: Análise do desempenho físico-mecânico frente às argamassas dosadas em obra**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS . Porto Alegre, 2015.

SANTOS, C. C. N. **Critérios de projetabilidade para as argamassas industrializadas de revestimento utilizando bomba de argamassa com eixo helicoidal**. Dissertação (Mestrado). Universidade de Brasília. Brasília/DF. 2003.

SANTOS, W. J. **Desenvolvimento de metodologia de dosagem de argamassas de revestimento e assentamento**. Tese (Doutorado) Universidade Federal de Viçosa. Viçosa/MG. 2014.

SCHRAMM, G. **Reologia e Reometria – Fundamentos teóricos e práticos**. 2ª. ed. São Paulo: Artliber, 2006.

SELMO, S. M. S. **Dosagem de argamassas de cimento Portland e cal para revestimento externo de fachada de edifícios.** Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 227. 1989.

SEFF, L.; BARBETTA, P. A.; REPETTE, W. L.; HOTZA, D.; PAIVA, H.; FERREIRA, V. M.; LABRICHA, J. A. **Mortar composition defined according to rheometer and flow table tests using factorial designed experiments.** Construction and Building Materials, v. 23, p. 3107-3111, 2009.

SILVA, N. G.; BUEST, G.; CAPITELI, V. **Argamassas com areia britada: Influência dos finos e da forma das partículas.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 6, 2005, Florianópolis. Anais...Florianópolis: ANTAC, 2005.

SILVA, N. G.; CAMPITELI, V.C. **Correlação entre módulo de elasticidade dinâmico e resistências mecânicas de argamassas de cimento, cal e areia.** In: Ambiente Construído, v 8, n 4, p 21-35, 2008.

SIMS I.; BROWN B. **Concrete Aggregates. Lea's chemistry of cement and concrete.** Fourth Edition. Edited by Peter C. Hewlett. 2005.

STOLZ, C. M. **Análise dos principais parâmetros que influenciam na área de contato substrato/argamassa de revestimento.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, p. 170. Tese (Doutorado). 2015.

STOLZ, C. M.; MASUERO, A. B. **Influence of grains distribution on the rheological behavior of mortars.** Construction and Building Materials, v. 177, p. 261-271, 2018.

SOBRAL, S., **Reologia e Trabalhabilidade dos Concretos.** Associação Brasileira de Cimento Portland, No 62, São Paulo, 1990, 76 páginas.

TANNER, R. I. **Engineering Rheology.** 2ª Edição. ed. New York: Oxford University Press Inc., 2002. p. 522.

TANNER, R. J.; WALTERS, K. **Rheology: An historical Perspective.** Elsevier Science, 1998. p. 268.

TAVARES, L.M. **Particle weakening in high-pressure roll grinding.** Minerals Engineering. Vol 18, p. 651-657. 2005.

TIERRIE, J.; BAAJ, H.; DARMEDRU, P. **Modeling the relationship between the shape and flowing characteristics of processed sands**. Construction and Building Materials, v. 104, p. 235-246, 2016.

TRISTÃO, F. A. **Influência da composição granulométrica da areia nas propriedades das argamassas de revestimento**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, p. 218. 1995.

TRISTÃO, F. A. **Influência dos parâmetros texturais das areias nas propriedades das argamassas mistas de revestimento**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, p. 234. 2005.

VARGAS, M. **Introdução à mecânica dos solos**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1978.

VASCO, C.; COSTA, M. R. M. M.; SILVA, N. G. **Comparativo do comportamento reológico de argamassas industrializadas de revestimento da região Sul do Brasil**. VIII Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. Curitiba: [s.n.]. 2009.

WESTERHOLM, M. **Rheology of the mortar phase of concrete with crushed aggregate**. Licentiate Theses. Department of Chemical Engineering and Geosciences. University of Technology Stockholm. [S.I.], p. 198. 2006.

WESTERHOLM, M. et al. **Influence of fine aggregate characteristics on the rheological properties of mortars**. Cement & Concrete Composites, v. 30, p. 274-282, 2008.

WILLS, M. H. **How aggregate particle shape influences concrete mixing water requirement and strength**. Journal Materials, v. 2 (4), p. 101-111, 1967.

ZANELATTO, K. C. **Avaliação da influência da técnica de execução no comportamento dos revestimentos de argamassa aplicados com projeção mecânica contínua**. Dissertação (Mestrado) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2012.

ZHANG, W.; ZAKARIA, M.; HAMA, Y. **Influence of aggregate materials characteristics on the drying shrinkage properties of mortar and concrete**. Construction and Building Materials, v. 49, p. 500-510, 2013.

ZHAO, P.; ZSAKI, A. M.; NOKKEN, M. R. **Using digital image correlation to evaluate plastic shrinkage cracking in cement-based materials.** Construction and Building Materials, v. 182, p. 108-117, 2018.

# ANEXOS

TIPO / CLASSE : CP II-Z-32

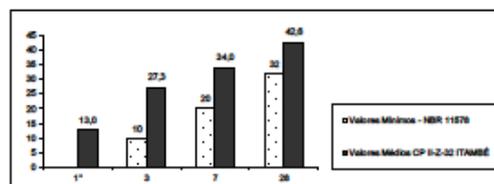
## RELATÓRIO DE ENSAIOS DE CIMENTO

PERÍODO : out/17  
missão : 30/11/2017

Data	Químicos										Físicos										
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Perda Fogo	CaO Livre	Resid. Insol.	Equiv. Alaal.	Exp. Quente	Tempo de Injeção	Tempo de Pega Fim	Cons. Normal	Blaine	# 200	# 325	Resistência à Compressão			
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	mm	h : min	h : min	%	cm <sup>2</sup> /g	%	%	1 dia	3 dias	7 dias	28 dias
02	6,14	21,07	3,25	54,34	3,55	2,77	5,90	0,50	11,48	0,88	0,50	04:20	05:15	28,3	3.580	3,40	11,70	12,8	25,5	32,1	41,7
04	6,28	22,37	3,28	54,38	3,62	2,69	5,55	0,50	11,82	0,85	0,50	04:25	05:15	28,3	3.480	3,50	12,00	12,7	25,8	32,4	41,1
06	6,19	22,06	3,25	54,48	3,52	2,78	5,74	0,56	11,38	0,85	0,00	04:45	05:50	28,3	3.900	3,70	12,60	11,9	25,0	32,4	41,1
10	6,17	21,82	3,18	54,41	3,65	2,72	5,81	0,50	10,78	0,88	0,00	04:35	05:15	28,3	3.530	2,90	10,80	12,5	28,4	34,3	42,7
13	6,14	21,84	3,10	55,42	3,67	2,42	5,58	0,53	10,41	0,80	1,00	04:30	05:15	28,0	3.500	2,80	9,40	14,8	28,5	34,7	42,7
17	6,28	21,23	3,17	55,52	3,62	2,44	5,58	0,53	10,47	0,88	0,00	04:20	05:15	28,0	3.580	2,80	9,30	13,7	28,1	35,3	43,1
19	6,37	21,58	3,14	54,50	3,48	2,54	5,75	0,58	11,40	0,88	0,00	04:15	05:00	27,8	3.520	3,00	10,20	12,3	27,1	33,5	43,0
23	6,30	21,18	3,10	54,43	3,49	2,54	5,40	0,62	11,02	0,80	0,00	04:20	05:00	28,0	3.530	3,10	11,30	13,0	27,5	34,8	43,3
25	6,28	20,95	3,13	54,17	3,43	2,51	5,54	0,50	11,17	0,88	0,00	04:35	05:15	27,8	3.490	2,90	10,20	13,9	27,2	33,9	43,0
27	6,25	21,35	3,11	58,00	3,35	2,59	5,52	0,62	10,70	0,87	0,00	04:10	05:00	27,8	3.470	3,00	9,20	15,0	29,7	35,1	44,1
31	6,32	21,38	3,14	54,35	3,23	2,70	5,53	0,50	11,39	0,88	0,00	04:15	05:00	27,8	3.490	2,30	8,90	11,3	27,8	35,8	43,1
<b>Média</b>	<b>6,24</b>	<b>21,68</b>	<b>3,17</b>	<b>54,71</b>	<b>3,51</b>	<b>2,61</b>	<b>5,83</b>	<b>0,58</b>	<b>11,08</b>	<b>0,88</b>	<b>0,18</b>	<b>04:25</b>	<b>05:13</b>	<b>28,0</b>	<b>3.505</b>	<b>3,00</b>	<b>10,61</b>	<b>13,0</b>	<b>27,3</b>	<b>34,0</b>	<b>42,8</b>
<b>Sd</b>	<b>0,08</b>	<b>0,43</b>	<b>0,08</b>	<b>0,68</b>	<b>0,14</b>	<b>0,13</b>	<b>0,16</b>	<b>0,03</b>	<b>0,46</b>	<b>0,03</b>	<b>0,34</b>	<b>00:11</b>	<b>00:14</b>	<b>0,3</b>	<b>63,17</b>	<b>0,42</b>	<b>1,28</b>	<b>1,2</b>	<b>1,4</b>	<b>1,3</b>	<b>0,8</b>
<b>Min</b>	<b>6,14</b>	<b>20,86</b>	<b>3,10</b>	<b>54,17</b>	<b>3,23</b>	<b>2,42</b>	<b>5,40</b>	<b>0,53</b>	<b>10,41</b>	<b>0,80</b>	<b>0,00</b>	<b>04:10</b>	<b>05:00</b>	<b>27,8</b>	<b>3.380</b>	<b>2,30</b>	<b>8,80</b>	<b>11,3</b>	<b>25,0</b>	<b>32,1</b>	<b>41,1</b>
<b>Max</b>	<b>6,37</b>	<b>22,37</b>	<b>3,28</b>	<b>58,00</b>	<b>3,87</b>	<b>2,77</b>	<b>5,80</b>	<b>0,82</b>	<b>11,82</b>	<b>0,88</b>	<b>1,00</b>	<b>04:45</b>	<b>05:50</b>	<b>28,3</b>	<b>3.680</b>	<b>3,70</b>	<b>12,80</b>	<b>15,0</b>	<b>29,7</b>	<b>35,8</b>	<b>44,1</b>

Obs.: A Norma da ABNT não prevê a determinação da Resistência à Compressão a um dia para o CP II-Z-32.  
A massa específica média do CP II-Z-32 ITAMBÉ é 2,98 g/cm<sup>3</sup> (NBR NM 23).  
As datas do relatório se referem ao dia de expedição do cimento.

carimboassinatura





N° Informe: 003  
 RAT N°000-2018

Solicitante:	César Winter Mello (UNILA)	Recepción de Muestras:	23/02/2018
Datos del solicitante:	Docente UNILA - Ensayo en el marco de los experimentos de investigación de doctorado.	Fecha de Análisis:	08/03/2018
Identificación de la muestra:	Aditivos para concreto (Celulósico, M1; Silipol, M2; Aerante, M3)	Fecha de Informe:	16/05/2018
Condiciones de recepción:	Recipientes de plástico, cerrados, parcialmente llenos. Transportados y almacenados a temperatura ambiente.		

Determinación	Unidad de Medida	Valor			Norma de Ensayo <sup>2</sup>
		M1 (Celulósico)	M2 (Silipol)	M3 (Aerante)	
Tenor de sólidos	g/100 g	93,6%	96,9%	98,8%	ABNT NBR 10908:2008
pH	Un. De pH	8,2 (26,9°C)	10,1(25,5°C)	10,4(26,0°C)	ABNT NBR 10908:2008

**Observaciones:**

- El pH se determinó en soluciones de concentración 10 % en masa.
- No se detectaron puntos finales adecuados en la determinación del tenor del cloruro por el método potenciométrico. La suspensión del aditivo M1 (Celulósico) en agua, utilizando las cantidades establecidas en la norma, resultan muy viscosas para ser sometidas a titulación potenciométrica.
- No existen valores normativos o de referencia para estos productos. Los ensayos indicados en la Norma ABNT NBR 10908 corresponden a ensayos de caracterización de aditivos para argamassa y concreto.

<sup>1</sup> Asociación Brasileira de Normas Técnicas ABNT NBR 10908. Aditivos para argamassa e concreto - Ensaio de caracterización. Segunda edición.

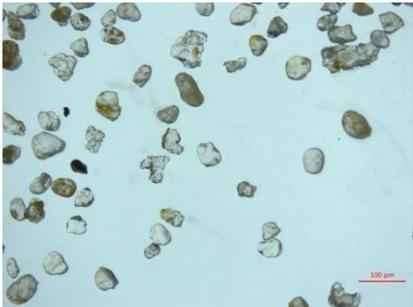
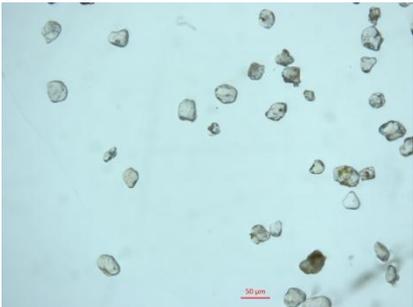
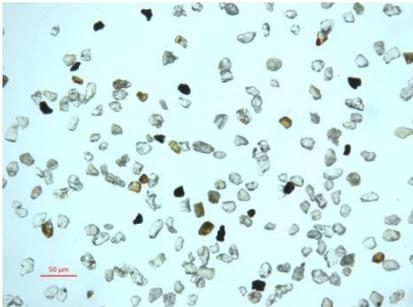
CHI, 16 de mayo del 2018.

Luis Guillermo Vellach Mas  
 Ing. Civil

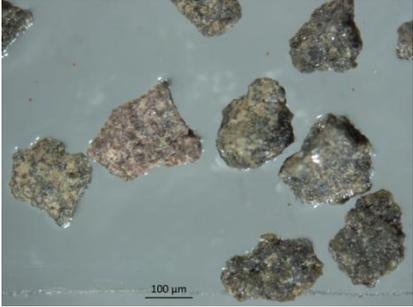
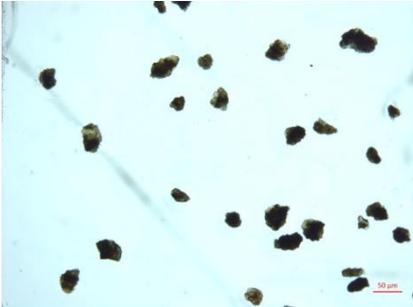
Ricardo Rodríguez Báez  
 Ing. Químico

# APÊNDICES

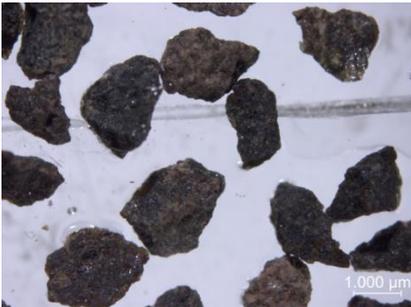
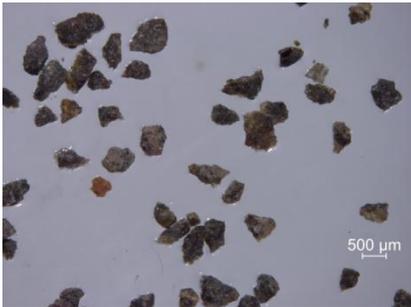
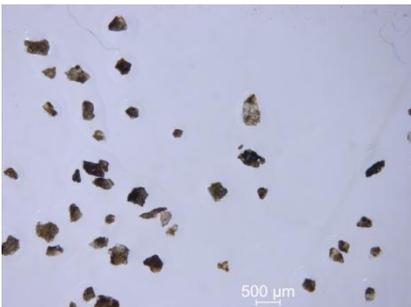
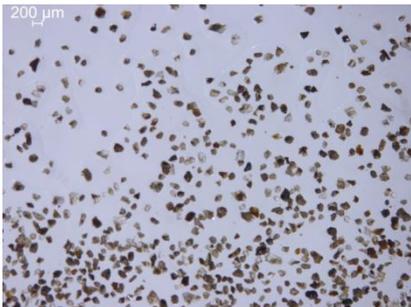
**Apêndice A:** Imagens em lupa estereoscópica das frações da areia CG-APR, com aumento 20x0,65

	
CG-APR 0,6 mm - POLIDA FOSCA	CG-APR 0,3 mm - POLIDA
	
CG-APR 0,15 mm - POLIDA	CG-APR 0,074 mm - POLIDA

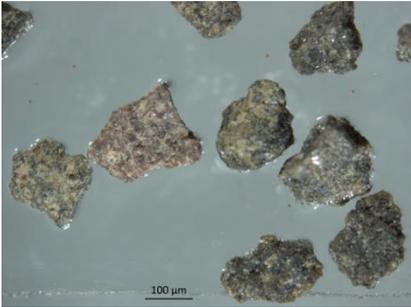
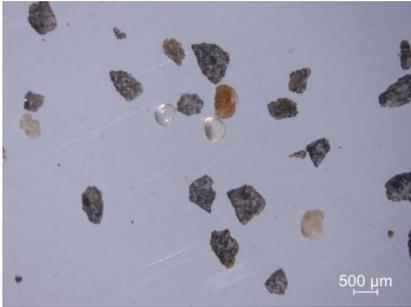
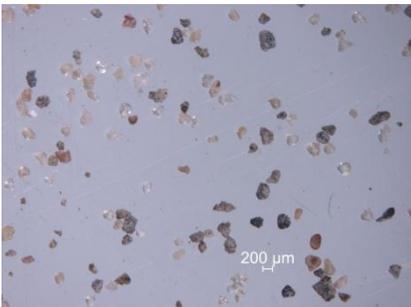
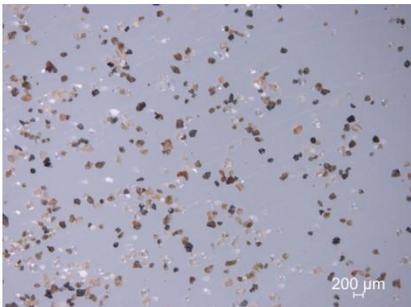
Imagens em lupa estereoscópica das frações da areia CG-VSI, com aumento 20x0,65

	
CG-VSI 0,6 mm - RUGOSA	CG-VSI 0,3 mm - RUGOSA
	
CG-VSI 0,15 mm - RUGOSA	CG-VSI 0,074 mm - FOSCA E RUGOSA

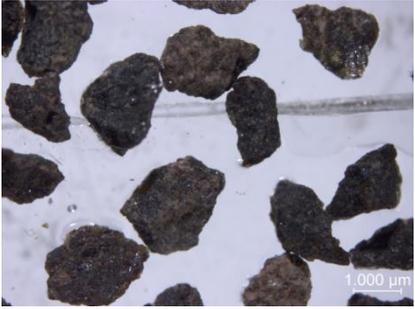
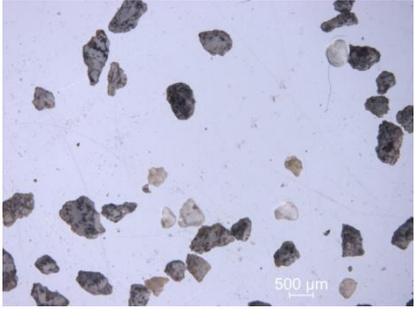
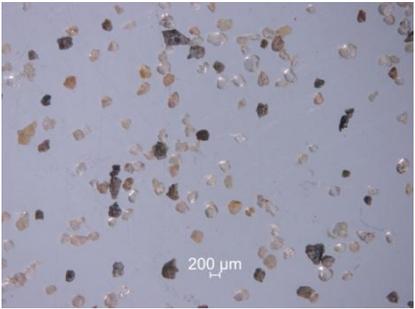
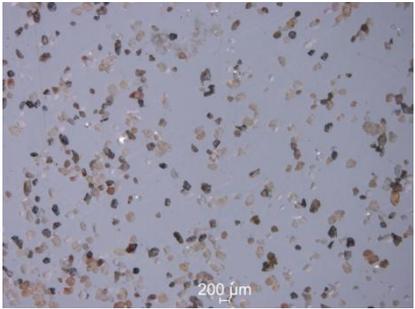
Imagens em lupa estereoscópica das frações da areia CG-CONV, com aumento 20x0,65

	
CG-CONV 0,6 mm - RUGOSA	CG-CONV 0,3 mm - RUGOSA
	
CG-CONV 0,15 mm - RUGOSA	CG-CONV 0,074 mm - RUGOSA E FOSCA

Imagens em lupa estereoscópica das frações da areia CG-VSI 1, com aumento 20x0,65

	
CG-VSI 1 0,6 mm - RUGOSA	CG-VSI 1 0,3 mm - RUGOSA E POLIDA
	
CG-VSI 1 0,15 mm - RUGOSA E POLIDA	CG-VSI 1 0,074 mm - RUGOSA E POLIDA

Imagens em lupa estereoscópica das frações da areia CG-CONV 1, com aumento 20x0,65

	
CG-CONV 1 0,6 mm - RUGOSA	CG-CONV 1 0,3 mm - RUGOSA
	
CG-CONV 1 0,15 mm - RUGOSA E POLIDA	CG-CONV 1 0,074 mm - RUGOSA E POLIDA

#### APÊNDICE B: Caracterização das argamassas de projeção produzidas no estado fresco

<b>DENSIDADE DE MASSA NO ESTADO FRESCO NBR 13728 (ABNT, 2005)</b>				
<b>ARGAMASSAS</b>	<b>Densidade de Massa (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Média (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Desvio Padrão (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Coefficiente de Variação (%)</b>
T1 APR	1585	1587	30	2
	1618			
	1558			
T2 APR	1599	1599	52	3
	1650			
	1547			
T3 APR	1523	1523	40	3
	1563			
	1484			
T1 VSI	1680	1631	50	3
	1631			
	1581			
T2 VSI	1598	1563	34	2
	1561			
	1531			
T3 VSI	1820	1771	50	3
	1772			
	1721			
T1 CONV	1856	1797	58	3
	1796			
	1740			
T2 CONV	1911	1874	37	2
	1874			
	1837			
T3 CONV	1943	1904	36	2
	1894			
	1873			
T1 VSI 1	1689	1624	65	4
	1623			
	1559			
T2 VSI 1	1449	1504	55	4
	1505			
	1558			
T3 VSI 1	1541	1472	68	5
	1473			
	1404			
T1 CONV 1	1783	1711	71	4
	1710			
	1641			
T2 CONV 1	1760	1730	31	2
	1730			
	1699			
T3 CONV 1	1604	1557	48	3
	1559			
	1508			

**ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA ( I<sub>c</sub>) NBR 13276 (ABNT, 2005)**

ARGAMASSAS	Índice de Consistência (Ic) (cm)	Média (cm)	Desvio Padrão (cm)	Coefficiente de Variação (%)	Relação água/Mc
T1 APR	25,70 26,10 25,90	25,90	0,20	0,77	0,25
T2 APR	26,50 26,80 27,00	26,77	0,25	0,94	0,22
T3 APR	27,50 26,40 26,70	26,87	0,57	2,12	0,21
T1 VSI	25,93 25,26 26,65	25,95	0,70	2,68	0,22
T2 VSI	25,93 25,96 26,65	26,18	0,41	1,56	0,19
T3 VSI	25,52 25,94 25,25	25,57	0,35	1,36	0,18
T1 CONV	27,01 27,81 27,22	27,35	0,41	1,52	0,24
T2 CONV	25,69 26,32 25,73	25,91	0,35	1,36	0,22
T3 CONV	25,53 26,32 25,99	25,95	0,40	1,53	0,21
T1 VSI 1	25,64 26,29 25,96	25,96	0,33	1,25	0,23
T2 VSI 1	25,05 25,31 25,00	25,12	0,17	0,66	0,22
T3 VSI 1	24,40 24,75 24,87	24,67	0,24	0,99	0,21
T1 CONV 1	27,23 27,48 26,79	27,17	0,35	1,29	0,25
T2 CONV 1	26,94 25,98 26,00	26,31	0,55	2,09	0,22
T3 CONV 1	25,50 25,35 25,85	25,57	0,26	1,00	0,22

**RETENÇÃO DE ÁGUA NBR 13277 (ABNT, 2005)**

ARGAMASSAS	Retenção de água (%)	Média (%)	Desvio Padrão (%)	Coefficiente de Variação (%)
T1 APR	98,6 98,0 98,9	98,5	0,5	0,5
T2 APR	98,0 98,7 97,2	98,0	0,7	0,7
T3 APR	97,3 97,0 97,6	97,3	0,3	0,3
T1 VSI	98,9 99,0 98,8	98,9	0,1	0,1
T2 VSI	97,5 97,9 97,1	97,5	0,4	0,4
T3 VSI	97,3 97,6 97,0	97,3	0,3	0,3
T1 CONV	98,0 98,4 97,7	98,1	0,4	0,4
T2 CONV	96,0 96,3 95,6	96,0	0,4	0,4
T3 CONV	94,6 95,0 94,1	94,6	0,4	0,5
T1 VSI 1	99,0 99,3 98,7	99,0	0,3	0,3
T2 VSI 1	98,8 98,9 98,6	98,8	0,2	0,2
T3 VSI 1	97,7 98,3 97,2	97,7	0,6	0,6
T1 CONV 1	98,0 98,3 97,6	98,0	0,4	0,4
T2 CONV 1	96,7 97,3 96,1	96,7	0,6	0,6
T3 CONV 1	96,4 95,9 96,9	96,4	0,5	0,5

AR INCORPORADO NBR 13728 (ABNT, 2005)				
ARGAMASSAS	Ar incorporado (%)	Média (%)	Desvio Padrão (%)	Coefficiente de Variação (%)
T1 APR	4,40	4,4	0,4	9,1
	4,80			
	4,00			
T2 APR	4,00	4,0	0,2	5,0
	3,80			
	4,20			
T3 APR	5,40	5,3	0,2	3,3
	5,10			
	5,40			
T1 VSI	5,70	5,7	0,1	1,8
	5,60			
	5,80			
T2 VSI	6,00	6,0	0,2	3,3
	5,80			
	6,20			
T3 VSI	5,80	5,8	0,4	6,9
	5,40			
	6,20			
T1 CONV	4,00	4,0	0,2	3,9
	3,80			
	4,10			
T2 CONV	4,50	4,5	0,2	4,4
	4,30			
	4,70			
T3 CONV	4,00	4,0	0,2	5,0
	3,80			
	4,20			
T1 VSI 1	6,50	6,5	0,2	3,1
	6,70			
	6,30			
T2 VSI 1	6,00	6,0	0,2	3,3
	5,80			
	6,20			
T3 VSI 1	5,80	5,8	0,1	1,7
	5,70			
	5,90			
T1 CONV 1	3,80	3,8	0,1	2,6
	3,70			
	3,90			
T2 CONV 1	3,80	3,8	0,1	2,6
	3,70			
	3,90			
T3 CONV 1	3,90	3,9	0,1	2,6
	3,80			
	4,00			

## Caracterização das argamassas de projeção produzidas no estado fresco

CP's	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO NBR 13279 (ABNT, 2005)														
	T1 APR Fc	T2 APR Fc	T3 APR Fc	T1 VSI Fc	T2 VSI Fc	T3 VSI Fc	T1 CONV Fc	T2 CONV Fc	T3 CONV Fc	T1 VSI 1 Fc	T2 VSI 1 Fc	T3 VSI 1 Fc	T1 CONV 1 Fc	T2 CONV 1 Fc	T3 CONV 1 Fc
	Tensão	Tensão	Tensão	Tensão	Tensão	Tensão	Tensão	Tensão	Tensão	Tensão	Tensão	Tensão	Tensão	Tensão	Tensão
	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa
CP01	1,52	1,39	1,08	1,86	1,15	0,59	3,07	1,71	0,67	1,76	0,63	1,67	3,64	4,64	1,92
CP01	1,67	1,39	1,03	2,16	1,08	0,59	3,38	1,61	0,64	1,57	0,57	1,62	3,05	2,48	1,87
CP02	1,36	1,43	0,88	1,65	1,12	0,54	2,88	1,91	0,58	1,88	0,63	1,84	2,89	2,54	1,69
CP02	1,28	1,50	0,83	1,75	1,23	0,49	3,33	1,80	0,63	1,56	0,81	1,72	3,19	2,61	1,78
CP03	1,90	1,20	0,91	1,80	1,23	0,48	3,47	1,69	0,56	1,64	0,70	1,40	3,23	2,21	1,83
CP03	1,94	1,19	0,91	1,83	1,21	0,60	3,41	1,88	0,63	1,98	0,62	1,51	4,13	2,14	1,81
CP04	1,98	1,07	0,68	1,94	1,16	0,50	3,14	1,77	0,46	1,65	0,68	2,00	3,21	2,53	1,86
CP04	1,98	0,93	0,86	2,03	0,98	0,46	3,01	1,49	0,49	1,44	0,64	1,86	4,14	2,99	1,66
CP05	1,56	1,06	0,93	1,53	0,98	0,53	3,41	1,71	0,59	1,74	0,74	1,61	3,50	2,51	1,83
CP05	1,57	1,13	0,83	1,85	1,25	0,43	2,81	1,83	0,56	2,01	0,78	1,44	3,30	3,08	1,49
CP06	1,90	1,23	0,89	2,01	1,11	0,68	2,77	1,81	0,62	1,82	0,68	1,76	3,97	2,50	1,65
CP06	1,66	1,05	0,86	1,81	0,89	0,68	2,58	1,77	0,63	1,67	0,78	1,62	3,76	2,33	1,79
MÉDIA	1,69	1,21	0,89	1,85	1,11	0,55	3,10	1,75	0,59	1,73	0,69	1,67	3,50	2,71	1,77
SD (Mpa)	0,24	0,18	0,10	0,17	0,11	0,08	0,30	0,12	0,06	0,17	0,07	0,18	0,42	0,66	0,12
CV (%)	14,46	14,72	11,17	9,17	10,27	15,02	9,61	6,72	10,48	10,05	10,72	10,58	12,12	24,46	6,79

RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO NBR 13279 (ABNT, 2005)															
CPs	T1 APR	T2 APR	T3 APR	T1 VSI	T2 VSI	T3 VSI	T1 CONV	T2 CONV	T3 CONV	T1 VSI 1	T2 VSI 1	T3 VSI 1	T1 CONV 1	T2 CONV 1	T3 CONV 1
	Tf	Tf	Tf	Tf	Tf	Tf	Tf	Tf	Tf						
	Tensão	Tensão	Tensão	Tensão	Tensão	Tensão	Tensão	Tensão	Tensão						
	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa						
CP01	1,35	1,28	0,53	1,35	0,83	0,60	2,21	0,94	0,68	1,50	0,90	1,43	2,06	1,46	1,43
CP02	1,43	1,05	0,38	1,58	0,86	0,49	1,58	1,20	0,49	1,76	0,79	1,46	2,48	1,80	1,16
CP03	1,58	1,05	0,75	1,73	0,94	0,60	2,33	1,13	0,38	1,80	0,75	1,35	2,63	1,46	1,50
CP04	1,43	0,98	0,53	1,28	0,98	0,53	1,73	1,39	0,60	2,06	0,94	1,43	2,51	1,58	1,05
CP05	1,20	0,83	0,75	0,98	1,01	0,45	1,50	1,28	0,45	1,80	0,75	1,28	2,18	1,84	1,13
CP06	1,50	1,20	0,45	1,58	0,90	0,49	1,84	1,09	0,60	1,31	0,71	1,43	1,80	1,43	1,24
<b>MÉDIA</b>	1,41	1,06	0,56	1,41	0,92	0,53	1,86	1,17	0,53	1,71	0,81	1,39	2,28	1,59	1,25
<b>SD (Mpa)</b>	0,13	0,16	0,16	0,27	0,07	0,06	0,34	0,16	0,11	0,26	0,09	0,07	0,32	0,18	0,18
<b>CV (%)</b>	9,15	15,08	27,65	19,12	7,64	11,95	18,13	13,37	21,14	15,40	11,30	4,94	13,90	11,41	14,16

ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE NBR15259 (ABNT, 2005)								
ARGAMASSAS	m0	m10	m90	At médio 10 min	At médio 90 min	C médio (g/dm <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> )	Desvio Relativo (%)	CV (%)
T1 APR	349,46	356,03	367,05	0,41	1,09	10,77	0,39	3,60
	351,00	357,76	368,72					
	352,27	358,80	369,12					
T2 APR	352,55	364,90	378,00	1,28	2,09	12,96	0,38	2,93
	346,13	371,34	383,87					
	346,39	370,39	383,64					
T3 APR	344,40	353,54	367,85	0,61	1,52	14,64	0,29	1,98
	343,99	353,90	368,64					
	342,72	352,86	367,72					
T1 VSI	378,35	382,81	390,07	0,29	0,76	7,56	0,51	6,69
	370,62	375,02	382,29					
	370,75	375,68	383,82					
T2 VSI	354,37	362,41	372,85	0,45	1,09	10,12	0,28	2,73
	358,64	365,23	375,16					
	361,30	368,38	378,38					
T3 VSI	418,62	424,29	433,75	0,35	0,96	9,76	0,38	3,86
	405,40	411,17	421,35					
	407,76	413,31	422,94					
T1 CONV	407,17	412,80	422,47	0,36	0,97	9,76	0,24	2,44
	406,38	411,92	421,50					
	407,66	413,54	423,57					
T2 CONV	424,40	431,28	442,88	0,44	1,23	12,51	0,99	7,93
	426,95	433,99	446,36					
	418,36	425,75	439,32					
T3 CONV	428,69	437,04	453,73	0,52	1,58	16,97	0,31	1,85
	422,38	430,44	447,35					
	428,74	437,47	454,78					
T1 VSI 1	355,33	362,06	373,71	0,40	1,13	11,72	0,60	5,14
	359,71	365,62	376,77					
	355,45	362,03	374,38					
T2 VSI 1	334,41	341,23	351,85	0,42	1,09	10,81	0,26	2,43
	336,85	343,40	354,51					
	328,26	334,90	345,60					
T3 VSI 1	326,58	334,54	347,66	0,50	1,35	13,60	1,21	8,89
	329,85	338,91	353,89					
	345,21	352,39	365,10					
T1 CONV 1	379,84	385,44	394,32	0,38	0,92	8,70	0,87	10,00
	385,39	391,97	399,72					
	378,71	384,70	394,16					
T2 CONV 1	389,56	397,23	409,17	0,48	1,26	12,51	0,57	4,56
	397,09	404,48	417,56					
	388,84	396,84	409,34					
T3 CONV 1	346,72	358,65	375,54	0,72	1,74	16,36	0,46	2,81
	349,04	360,52	376,65					
	347,85	358,88	374,94					

DENSIDADE DE MASSA APARENTE NO ESTADO ENDURECIDO NBR 13280 (ABNT, 2005)								
ARGAMASSAS	Massa (g)	Dimensões			Volume médio (cm <sup>3</sup> )	Densidade de massa g/cm <sup>3</sup>	Desvio padrão (g/cm <sup>3</sup> )	CV (%)
		L (cm)	H (cm)	C (cm)				
T1 APR	349,46	16,03	3,99	4,03	259,45	1372	35,94	2,618
	351,00	16,50	4,00	4,05				
	352,27	15,99	4,00	4,05				
	357,06	15,98	4,00	4,04				
	364,02	16,04	4,00	4,03				
	362,64	15,99	3,99	4,04				
T2 APR	349,80	16,00	4,01	4,04	258,56	1353	10,83	0,801
	351,38	15,99	4,00	4,03				
	352,48	15,99	4,03	4,03				
	352,55	16,02	4,01	4,04				
	346,13	16,00	4,01	4,05				
	346,39	16,00	4,00	4,03				
T3 APR	342,52	16,00	4,01	4,04	258,96	1326	3,78	0,285
	344,25	16,03	4,00	4,04				
	342,72	16,01	4,00	4,05				
	343,93	16,00	4,00	4,05				
	343,80	16,05	4,00	4,04				
	342,37	16,06	4,00	4,04				
T1 VSI	365,82	16,00	3,99	4,01	255,71	1447	21,63	1,495
	363,95	16,00	3,99	4,01				
	373,32	16,00	3,99	4,01				
	377,32	16,01	3,99	3,99				
	369,82	15,99	3,99	4,01				
	369,78	16,01	3,99	4,01				
T2 VSI	357,19	16,00	4,02	4,07	259,45	1382	15,49	1,121
	361,90	16,00	4,04	4,07				
	358,62	16,02	4,02	4,07				
	354,40	16,00	3,99	4,03				
	357,95	16,01	3,99	4,03				
	360,58	16,00	4,01	4,00				
T3 VSI	409,24	15,97	4,02	4,00	258,75	1582	19,14	1,210
	410,92	15,97	4,03	4,06				
	405,48	16,00	4,01	4,06				
	417,74	15,99	4,06	4,00				
	405,08	15,99	4,02	3,99				
	407,37	15,99	4,01	4,06				
T1 CONV	401,84	15,97	4,00	4,02	257,03	1573	5,93	0,377
	402,74	15,96	3,98	4,05				
	401,74	15,96	4,00	4,00				
	406,49	15,97	4,01	4,03				
	405,86	15,97	4,00	4,04				
	406,87	15,96	4,00	4,04				
T2 CONV	425,49	15,97	3,99	3,98	255,97	1647	17,39	1,055
	418,47	15,99	3,98	4,00				
	416,34	15,99	4,00	4,00				
	424,40	15,96	4,00	4,03				
	426,95	16,00	4,00	4,05				
	418,36	16,00	4,01	4,00				

DENSIDADE DE MASSA APARENTE NO ESTADO ENDURECIDO NBR 13280 (ABNT, 2005) (continuação)								
ARGAMASSAS	Massa	Dimensões			Volume médio (cm <sup>3</sup> )	Densidade de massa g/cm <sup>3</sup>	Desvio padrão (g/cm <sup>3</sup> )	CV (%)
	(g)	L (cm)	H (cm)	C (cm)				
T3 CONV	424,35	15,98	4,04	3,98	255,65	1660	13,17	0,793
	419,55	16,00	4,00	3,98				
	422,36	15,99	4,00	4,00				
	428,69	16,08	3,97	3,99				
	422,38	15,99	3,99	3,98				
	428,74	15,99	4,04	4,01				
T1 VSI 1	359,32	15,99	4,02	4,00	257,52	1388	9,06	0,653
	358,13	16,00	4,02	4,02				
	356,03	16,00	4,00	4,04				
	355,33	15,98	4,01	4,02				
	359,71	15,99	4,00	4,03				
	355,45	15,99	4,04	4,00				
T2 VSI 1	330,58	15,98	4,02	4,00	257,47	1294	12,12	0,937
	333,70	15,98	4,02	4,02				
	334,80	16,00	4,00	4,04				
	334,41	15,99	4,01	4,02				
	336,85	16,00	4,00	4,03				
	328,26	15,98	4,04	4,00				
T3 VSI 1	333,92	15,99	4,00	4,01	257,04	1294	29,86	2,308
	329,31	16,00	4,02	4,00				
	330,18	16,00	4,00	4,04				
	326,58	16,09	3,99	4,02				
	329,85	15,99	3,99	4,03				
	345,21	16,00	3,99	4,01				
T1 CONV 1	381,60	16,02	4,01	4,05	258,40	1479	9,93	0,671
	381,37	16,01	4,01	4,00				
	386,39	16,01	4,01	4,04				
	379,84	15,98	4,00	4,04				
	385,39	16,07	4,00	4,05				
	378,71	16,01	3,99	4,03				
T2 CONV 1	387,85	15,99	3,99	4,02	257,14	1524	16,89	1,108
	388,32	16,00	3,99	3,99				
	389,91	16,00	4,00	4,02				
	399,56	15,99	3,99	4,05				
	397,09	15,98	3,99	4,05				
	388,95	15,99	3,99	4,06				
T3 CONV 1	349,85	16,00	4,00	4,01	256,91	1356	6,67	0,492
	350,46	15,98	4,05	4,02				
	346,97	15,99	4,00	4,00				
	346,72	16,00	3,99	4,03				
	349,04	15,99	3,99	4,03				
	347,85	16,02	3,99	4,01				

MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO - NBR 15630 (ABNT, 2008)						
ARGAMASSAS	L mm	t μs	V mm/μs	Ed GPa	Desvio Padrão (GPa)	CV (%)
T1 APR	160	102,5	1,65	3,38	0,35	10,30
	160	101,1				
	160	92,2				
	160	92,2				
	160	96,7				
	160	95,6				
T2 APR	160	102,9	1,55	2,94	0,11	3,59
	160	100,1				
	160	104,6				
	160	103				
	160	104,1				
	160	102,8				
T3 APR	160	110,1	1,47	2,58	0,12	4,59
	160	113,5				
	160	108,6				
	160	107				
	160	106,6				
	160	107,2				
T1 VSI	160	86,1	1,86	4,51	0,16	3,49
	160	85,2				
	160	87,2				
	160	84,2				
	160	87,2				
	160	85,7				
T2 VSI	160	111,1	1,51	2,84	0,17	5,87
	160	105,9				
	160	101,8				
	160	105,6				
	160	104,7				
	160	105,6				
T3 VSI	160	93,3	1,71	4,16	0,27	6,46
	160	92,9				
	160	96				
	160	89,4				
	160	94,4				
	160	95,7				
T1 CONV	160	81,4	1,95	5,39	0,22	4,07
	160	84,1				
	160	83,9				
	160	81				
	160	81				
	160	80,4				
T2 CONV	160	83,7	1,86	5,14	0,30	5,88
	160	85,7				
	160	87,9				
	160	87,7				
	160	83				
	160	87,6				

MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO - NBR 15630 (ABNT, 2008) (continuação)						
ARGAMASSAS	L mm	t μs	V mm/μs	Ed GPa	Desvio Padrão (GPa)	CV (%)
T3 CONV	160	97,9	1,65	4,06	0,11	2,70
	160	97,1				
	160	94,9				
	160	97,9				
	160	98,6				
	160	95,8				
T1 VSI 1	160	92,4	1,72	3,71	0,05	1,30
	160	92,6				
	160	93,1				
	160	92,6				
	160	93,1				
	160	93,4				
T2 VSI 1	160	107,6	1,50	2,63	0,07	2,61
	160	107,5				
	160	106,6				
	160	104,4				
	160	106,1				
	160	106,1				
T3 VSI 1	160	125,3	1,28	1,91	0,16	8,43
	160	129,3				
	160	125,9				
	160	124,9				
	160	126,5				
	160	118,2				
T1 CONV 1	160	83,9	1,88	4,68	0,15	3,12
	160	84,9				
	160	84,2				
	160	85,6				
	160	86				
	160	87,2				
T2 CONV 1	160	99,6	1,61	3,55	0,05	1,39
	160	98,7				
	160	99,07				
	160	100				
	160	101,1				
	160	98,7				
T3 CONV 1	160	117,8	1,28	2,01	0,20	9,95
	160	120,3				
	160	126,9				
	160	130,5				
	160	132,4				
	160	120,1				

Resultado da resistência de aderência à tração das argamassas de projeção produzidas

RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO DOS REVESTIMENTOS - NBR 13528 (ABNT, 2010)															
T1 APR															
LOCAL	Corpo de Prova				Local do Ensaio		Carga de	Tensão	Forma de Ruptura (%)						
	Nº	d1	d2	dm	Área	Bloco	Junta	Ruptura	Ra	Sub.	Sub/Arg	Arg	Arg/Cola	Cola	Cola/Past
		(mm)	(mm)	(mm)				(mm²)	(kgf)						
ALTURA MÉDIA	CP01	50	50	50	1962,5	X		52,00	0,26		100				
	CP02	50	50	50	1962,5	X		74,00	0,38			100			
	CP03	50	50	50	1962,5	X		57,00	0,29			100			
	CP04	50	50	50	1962,5	X		86,00	0,44			100			
	CP05	50	50	50	1962,5	X		67,00	0,34			100			
	CP06	50	50	50	1962,5	X		73,00	0,37		50	50			
	CP07	50	50	50	1962,5	X		46,00	0,23		10	90			
	CP08	50	50	50	1962,5	X		72,00	0,37		70	30			
	CP09	50	50	50	1962,5	X		76,00	0,39			100			
	CP10	50	50	50	1962,5	X		82,00	0,42			100			
	CP11	50	50	50	1962,5		X	104,00	0,53			100			
	CP12	50	50	50	1962,5		X	109,00	0,56		100				
	CP13	50	50	50	1962,5		X	114,00	0,58		100				
	CP14	50	50	50	1962,5	X		138,00	0,70		80	20			
	CP15	50	50	50	1962,5	X		104,00	0,53			100			
ALTURA SUPERIOR	CP16	50	50	50	1962,5		X	117,00	0,60		100				
	CP17	50	50	50	1962,5	X		99,00	0,50			100			
	CP18	50	50	50	1962,5		X	60,00	0,31			100			
	CP19	50	50	50	1962,5	X		68,00	0,35			100			
	CP20	50	50	50	1962,5	X		89,00	0,45			100			
	CP21	50	50	50	1962,5	X		114,00	0,58			100			
	CP22	50	50	50	1962,5	X		71,00	0,36			100			
	CP23	50	50	50	1962,5	X		129,00	0,66				100		
ALTURA INFERIOR	CP24	50	50	50	1962,5	X		61,00	0,31		100				
	CP25	50	50	50	1962,5	X		25,00	0,13		90	10			
	CP26	50	50	50	1962,5	X		48,00	0,24			100			
	CP27	50	50	50	1962,5	X		86,00	0,44			100			
	CP28	50	50	50	1962,5	X		61,00	0,31				100		
	CP29	50	50	50	1962,5	X		69,00	0,35		30	70			
	CP30	50	50	50	1962,5	X		73,00	0,37		40	60			
	CP31	50	50	50	1962,5	X		72,00	0,37		20	80			

RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO DOS REVESTIMENTOS - NBR 13528 (ABNT, 2010)															
T2 APR															
LOCAL	Corpo de Prova				Local do Ensaio		Carga de	Tensão	Forma de Ruptura (%)						
	Nº	d1	d2	dm	Área	Bloco	Junta	Ruptura	Ra	Sub.	Sub/Arg	Arg	Arg/Cola	Cola	Cola/Past
		(mm)	(mm)	(mm)				(mm²)	(kgf)						
ALTURA SUPERIOR	CP01	50	50	50	1962,5	X		51,00	0,26			100			
	CP02	50	50	50	1962,5	X		45,00	0,23			100			
	CP03	50	50	50	1962,5	X		44,00	0,22			20	80		
	CP04	50	50	50	1962,5	X		43,00	0,22		20	80			
	CP05	50	50	50	1962,5	X		64,00	0,33			100			
	CP06	50	50	50	1962,5	X		46,00	0,23			100			
	CP07	50	50	50	1962,5	X		50,00	0,25			100			
ALTURA MÉDIA	CP08	50	50	50	1962,5		X	55,00	0,28		20	80			
	CP09	50	50	50	1962,5		X	46,00	0,23			20	80		
	CP10	50	50	50	1962,5		X	29,00	0,15		100				
	CP11	50	50	50	1962,5		X	37,00	0,19		100				
	CP12	50	50	50	1962,5		X	50,00	0,25		50	50			
	CP13	50	50	50	1962,5	X		66,00	0,34			100			
	CP14	50	50	50	1962,5	X		38,00	0,19			100			
	CP15	50	50	50	1962,5	X		72,00	0,37			100			
	CP16	50	50	50	1962,5	X		9,00	0,05		80	20			
	CP17	50	50	50	1962,5	X		87,00	0,44			100			
	CP18	50	50	50	1962,5	X		73,00	0,37			100			
	CP19	50	50	50	1962,5				0,00					100	
	CP20	50	50	50	1962,5	X		54,00	0,28		80	20			
	CP21	50	50	50	1962,5	X		33,00	0,17		90	10			
ALTURA INFERIOR	CP22	50	50	50	1962,5	X		63,00	0,32			100			
	CP23	50	50	50	1962,5	X		29,00	0,15		30	70			
	CP24	50	50	50	1962,5	X		37,00	0,19		20	80			
	CP25	50	50	50	1962,5	X		75,00	0,38			100			
	CP26	50	50	50	1962,5	X		45,00	0,23			100			
	CP27	50	50	50	1962,5	X		41,00	0,21			100			
	CP28	50	50	50	1962,5		X	33,00	0,17			100			

RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO DOS REVESTIMENTOS - NBR 13528 (ABNT, 2010)															
T3 APR															
LOCAL	Corpo de Prova				Local do Ensaio		Carga de	Tensão	Forma de Ruptura (%)						
	Nº	d1	d2	dm	Área (mm²)	Bloco	Junta	Ruptura	Ra	Sub.	Sub/Arg	Arg	Arg/Cola	Cola	Cola/Past
		(mm)	(mm)	(mm)				(kgf)	(Mpa)						
ALTURA SUPERIOR	CP01	50	50	50	1962,5	X		10,00	0,05		100				
	CP02	50	50	50	1962,5	X		32,00	0,16		100				
	CP03	50	50	50	1962,5	X		16,00	0,08		100				
	CP04	50	50	50	1962,5	X		33,00	0,17		100				
	CP05	50	50	50	1962,5	X		21,00	0,11		100				
	CP06	50	50	50	1962,5	X		43,00	0,22		100				
	CP07	50	50	50	1962,5	X		35,00	0,18		50	50			
	CP08	50	50	50	1962,5	X		27,00	0,14		100				
ALTURA MÉDIA	CP09	50	50	50	1962,5	X		45,00	0,23		90	10			
	CP10	50	50	50	1962,5	X		36,00	0,18		100				
	CP11	50	50	50	1962,5	X		50,00	0,25		100				
	CP12	50	50	50	1962,5	X		47,00	0,24		40	60			
	CP13	50	50	50	1962,5		X	54,00	0,28		30	70			
	CP14	50	50	50	1962,5	X		26,00	0,13		50	50			
	CP15	50	50	50	1962,5	X		35,00	0,18		60	40			
	CP16	50	50	50	1962,5	X		38,00	0,19		90	10			
	CP17	50	50	50	1962,5	X		34,00	0,17		100				
	CP18	50	50	50	1962,5	X		24,00	0,12		100				
	CP19	50	50	50	1962,5	X		28,00	0,14		90	10			
	CP20	50	50	50	1962,5	X		61,00	0,31			100			
	CP21	50	50	50	1962,5		X	17,00	0,09		100				
	CP22	50	50	50	1962,5	X		8,00	0,04		90	10			
	CP23	50	50	50	1962,5	X		23,00	0,12		100				
	CP24	50	50	50	1962,5	X		22	0,11		100				
	CP25	50	50	50	1962,5	X		21	0,11		90	10			
	CP26	50	50	50	1962,5	X		0	0,00					100	
ALTURA INFERIOR	CP27	50	50	50	1962,5	X		23	0,12		60	40			
	CP28	50	50	50	1962,5	X		4	0,02		100				
	CP29	50	50	50	1962,5	X		31	0,16		20	80			
	CP30	50	50	50	1962,5	X		29	0,15		100				
	CP31	50	50	50	1962,5	X		38	0,19		80	20			
	CP32	50	50	50	1962,5	X		37	0,19		30	70			
	CP33	50	50	50	1962,5	X		10	0,05		50	50			

RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO DOS REVESTIMENTOS - NBR 13528 (ABNT, 2010)															
T1 ABITA VSI															
LOCAL	Corpo de Prova				Local do Ensaio		Carga de	Tensão	Forma de Ruptura (%)						
	Nº	d1 (mm)	d2 (mm)	dm (mm)	Área (mm²)	Bloco	Junta	Ruptura (kgf)	Ra (Mpa)	Sub.	Sub/Arg	Arg	Arg/Cola	Cola	Cola/Past
ALTURA SUPERIOR	CP01	50	50	50	1962,5	X		91,00	0,46			100			
	CP02	50	50	50	1962,5	X		85,00	0,43			100			
	CP03	50	50	50	1962,5	X		101,00	0,51			100			
	CP04	50	50	50	1962,5		X	85,00	0,43			100			
	CP05	50	50	50	1962,5		X	55,00	0,28		100				
	CP06	50	50	50	1962,5		X	50,00	0,25		100				
	CP07	50	50	50	1962,5	X		64,00	0,33			100			
ALTURA MÉDIA	CP08	50	50	50	1962,5	X		74,00	0,38		20	80			
	CP09	50	50	50	1962,5	X		74,00	0,38			100			
	CP10	50	50	50	1962,5	X		45,00	0,23		100				
	CP11	50	50	50	1962,5	X		87,00	0,44			100			
	CP12	50	50	50	1962,5	X		62,00	0,32			20	80		
	CP13	50	50	50	1962,5	X		55,00	0,28			50	50		
	CP14	50	50	50	1962,5	X		104,00	0,53			100			
	CP15	50	50	50	1962,5	X		70,00	0,36			50	50		
	CP16	50	50	50	1962,5	X		89,00	0,45			100			
	CP17	50	50	50	1962,5	X		71,00	0,36			50	50		
	CP18	50	50	50	1962,5	X		47,00	0,24			50	50		
	CP19	50	50	50	1962,5	X		66,00	0,34			50	50		
	CP20	50	50	50	1962,5			69,00	0,35			100			
	CP21	50	50	50	1962,5			102,00	0,52			50	50		
ALTURA INFERIOR	CP22	50	50	50	1962,5		X	56,00	0,29			100			
	CP23	50	50	50	1962,5		X	48,00	0,24		40	60			
	CP24	50	50	50	1962,5		X	71	0,36			30	70		
	CP25	50	50	50	1962,5	X		56	0,29			100			
	CP26	50	50	50	1962,5	X		41	0,21		100				
	CP27	50	50	50	1962,5	X		55	0,28		100				
	CP28	50	50	50	1962,5	X		78	0,40			100			

RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO DOS REVESTIMENTOS - NBR 13528 (ABNT, 2010)															
T2 VSI															
LOCAL	Corpo de Prova				Local do Ensaio		Carga de	Tensão	Forma de Ruptura (%)						
	Nº	d1 (mm)	d2 (mm)	dm (mm)	Área (mm²)	Bloco	Junta	Ruptura (kgf)	Ra (Mpa)	Sub.	Sub/Arg	Arg	Arg/Cola	Cola	Cola/Past
ALTURA MÉDIA	CP01	50	50	50	1962,5	X		98,00	0,50					100	
	CP02	50	50	50	1962,5	X		47,00	0,24		70	30			
	CP03	50	50	50	1962,5	X		65,00	0,33			50	50		
	CP04	50	50	50	1962,5	X		86,00	0,44			100			
	CP05	50	50	50	1962,5	X		87,00	0,44			100			
	CP06	50	50	50	1962,5	X		59,00	0,30		20	80			
	CP07	50	50	50	1962,5	X		60,00	0,31		80	20			
	CP08	50	50	50	1962,5	X		62,00	0,32		20	80			
	CP09	50	50	50	1962,5	X		87,00	0,44			80	20		
	CP10	50	50	50	1962,5	X		78,00	0,40		20	80			
	CP11	50	50	50	1962,5	X		44,00	0,22		100				
	CP12	50	50	50	1962,5	X		49,00	0,25		90	10			
	CP13	50	50	50	1962,5	X		38,00	0,19		100				
	CP14	50	50	50	1962,5	X		90,00	0,46			70	30		
	CP15	50	50	50	1962,5	X		34,00	0,17		100				
	CP16	50	50	50	1962,5	X		63,00	0,32		100				
	CP17	50	50	50	1962,5		X	95,00	0,48		80	20			
	CP18	50	50	50	1962,5		X	95,00	0,48		80	20			
	CP19	50	50	50	1962,5		X	36,00	0,18		80	20			
	CP20	50	50	50	1962,5		X	55,00	0,28		90	10			
	CP21	50	50	50	1962,5	X		49,00	0,25		70	30			
	CP22	50	50	50	1962,5	X		28,00	0,14			20	80		
	CP23	50	50	50	1962,5	X		81,00	0,41		100				

RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO DOS REVESTIMENTOS - NBR 13528 (ABNT, 2010)															
T3 VSI															
LOCAL	Corpo de Prova				Local do Ensaio		Carga de	Tensão	Forma de Ruptura (%)						
	Nº	d1 (mm)	d2 (mm)	dm (mm)	Área (mm²)	Bloco	Junta	Ruptura (kgf)	Ra (Mpa)	Sub.	Sub/Arg	Arg	Arg/Cola	Cola	Cola/Past
ALTURA MÉDIA	CP01	50	50	50	1962,5	X		68,00	0,35			100			
	CP02	50	50	50	1962,5	X		21,00	0,11		100				
	CP03	50	50	50	1962,5	X		58,00	0,30		100				
	CP04	50	50	50	1962,5	X		48,00	0,24		100				
	CP05	50	50	50	1962,5	X		78,00	0,40			90	10		
	CP06	50	50	50	1962,5	X		48,00	0,24		60	40			
	CP07	50	50	50	1962,5	X		15,00	0,08		100				
	CP08	50	50	50	1962,5	X		76,00	0,39			100			
	CP09	50	50	50	1962,5	X		38,00	0,19		100				
	CP10	50	50	50	1962,5	X		32,00	0,16		80	20			
	CP11	50	50	50	1962,5	X		57,00	0,29			80	20		
	CP12	50	50	50	1962,5	X		75,00	0,38			100			
	CP13	50	50	50	1962,5	X		18,00	0,09		100				
	CP14	50	50	50	1962,5	X		15,00	0,08		100				
	CP15	50	50	50	1962,5	X		78,00	0,40			40	60		
	CP16	50	50	50	1962,5	X		57,00	0,29			100			
	CP17	50	50	50	1962,5	X		62,00	0,32			100			
	CP18	50	50	50	1962,5	X		44,00	0,22			100			
	CP19	50	50	50	1962,5	X		31,00	0,16		50	50			
	CP20	50	50	50	1962,5	X		0,00	0,00						
	CP21	50	50	50	1962,5	X		44,00	0,22			100			
	CP22	50	50	50	1962,5	X		0,00	0,00			100			
CP23	50	50	50	1962,5	X		49	0,25		90	10				
ALTURA INFERIOR	CP24	50	50	50	1962,5	X		9	0,05		100				
	CP25	50	50	50	1962,5	X		28	0,14		100				
	CP26	50	50	50	1962,5	X		34	0,17		90	10			
	CP27	50	50	50	1962,5	X		49	0,25		50	50			
	CP28	50	50	50	1962,5		X	49	0,25		100				
	CP29	50	50	50	1962,5	X		5	0,03		100				
	CP30	50	50	50	1962,5	X		55	0,28			100			

RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO DOS REVESTIMENTOS - NBR 13528 (ABNT, 2010)											
T1 CONV.											
LOCAL	Corpo de Prova	Local do Ensaio		Cargade	Tensão	Forma de Ruptura (%)					
	Nº	Bloco	Junta	Ruptura (kgf)	Ra (Mpa)	Sub.	Sub/Arg	Arg	Arg/Cola	Cola	Cola/Past
ALTURA SUPERIOR	CP01	X		118,00	0,60			100			
	CP02	X		58,00	0,30		100				
	CP03	X		48,00	0,24		70	30			
	CP04	X		88,00	0,45			100			
	CP05	X		89,00	0,45			100			
	CP06	X		68,00	0,35		20	80			
	CP07	X		99,00	0,50		50	50			
ALTURA MÉDIA	CP08	X		67,00	0,34		80	20			
	CP09		X	115,00	0,59			100			
	CP10	X		28,00	0,14		100				
	CP11	X		88,00	0,45			100			
	CP12	X		155,00	0,79			100			
	CP13	X		82,00	0,42			100			
	CP14	X		103,00	0,52			100			
	CP15	X		183,00	0,93			100			
	CP16	X		156,00	0,79			100			
	CP17	X		48,00	0,24		100				
	CP18	X		122,00	0,62			100			
	CP19	X		128,00	0,65			100			
	CP20	X		37,00	0,19		100				
	CP21	X		116,00	0,59			100			
	CP22	X		153,00	0,78			100			
	CP23	X		117,00	0,60			100			
	CP24				0,00						X
ALTURA INFERIOR	CP25	X		52	0,26		100				
	CP26		X	126	0,64			100			
	CP27	X		81	0,41			100			
	CP28	X		55	0,28		100				
	CP29	X		88	0,45		30				
	CP30	X		107	0,55		80				
	CP31	X		99	0,50		100				

RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO DOS REVESTIMENTOS - NBR 13528 (ABNT, 2010)											
T2 CONV.											
LOCAL	Corpo de Prova	Local do Ensaio		Carga de	Tensão	Forma de Ruptura (%)					
	Nº	Bloco	Junta	Ruptura (kgf)	Ra (Mpa)	Sub.	Sub/Arg	Arg	Arg/Cola	Cola	Cola/Past
ALTURA MÉDIA	CP01	X		80,00	0,41			100			
	CP02	X		109,00	0,56			50	50		
	CP03	X		80,00	0,41		100				
	CP04		X	125,00	0,64		100				
	CP05	X		82,00	0,42		100				
	CP06		X	83,00	0,42		100				
	CP07		X	56,00	0,29		100				
	CP08		X	57,00	0,29		100				
	CP09		X	100,00	0,51		100				
	CP10	X		91,00	0,46			100			
	CP11	X		51,00	0,26		50	50			
	CP12		X	85,00	0,43			100			
	CP13	X		85,00	0,43		50	50			
	CP14	X		61,00	0,31		100				
	CP15	X		73,00	0,37		50	50			
	CP16	X		60,00	0,31		100	20			
	CP17	X		77,00	0,39		100	100			
	CP18	X		105,00	0,54		80	20			
	CP19	X		16,00	0,08		100				
	CP20	X		65,00	0,33			100			
	CP21	X		106,00	0,54			100			
	CP22	X		73,00	0,37		100				
	CP23		X	58,00	0,30		100				
ALTURA INFERIOR	CP24		X	89	0,45		50	50			
	CP25	X		112	0,57		50	50			
	CP26	X		126	0,64			100			
	CP27		X	35	0,18		100				
	CP28	X		77	0,39		90	10			
	CP29	X		85	0,43			100			
	CP30		X	146	0,74			100			
	CP31	X		83	0,42			100			

RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO DOS REVESTIMENTOS - NBR 13528 (ABNT, 2010)											
T3 CONV.											
LOCAL	Corpo de Prova	Local do Ensaio		Carga de	Tensão	Forma de Ruptura (%)					
	Nº	Bloco	Junta	Ruptura (kgf)	Ra (Mpa)	Sub.	Sub/Arg	Arg	Arg/Cola	Cola	Cola/Past
ALTURA SUPERIOR	CP01	X		78,00	0,40		100				
	CP02	X		29,00	0,15	100					
	CP03	X		72,00	0,37		100				
	CP04	X		50,00	0,25	50	50				
	CP05	X		62,00	0,32	100					
ALTURA MÉDIA	CP06	X		38,00	0,19	100					
	CP07	X		66,00	0,34	100					
	CP08	X		50,00	0,25		100				
	CP09	X		39,00	0,20	100					
	CP10	X		53,00	0,27		100				
	CP11	X		61,00	0,31		100				
	CP12	X		40,00	0,20	100					
	CP13	X		56,00	0,29		100				
	CP14	X		75,00	0,38	100					
	CP15	X		73,00	0,37		100				
	CP16	X		46,00	0,23		100				
	CP17	X			0,00						100
	CP18	X		49,00	0,25	100					
	CP19	X		70,00	0,36	100					
	CP20	X		44,00	0,22	100					
	CP21	X		59,00	0,30		100				
	CP22		X		53,00	0,27	100				
	CP23				35,00	0,18		100			
	CP24		X		66	0,34	100				
	CP25	X			48	0,24		100			
	CP26		X		5	0,03	100				
	CP27	X			50	0,25		100			
ALTURA INFERIOR	CP28	X		13	0,07	100					
	CP29	X		35	0,18	100					
	CP30	X		6	0,03	100					
	CP31	X		60	0,31		100				
	CP32	X		41	0,21	100					

RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO DOS REVESTIMENTOS - NBR 13528 (ABNT, 2010)											
T1 VSI 1											
LOCAL	Corpo de Prova	Local do Ensaio		Carga de	Tensão	Forma de Ruptura (%)					
	Nº	Bloco	Junta	Ruptura (kgf)	Ra (Mpa)	Sub.	Sub/Arg	Arg	Arg/Cola	Cola	Cola/Past
ALTURA SUPERIOR	CP01	X		113,00	0,58			100			
	CP02	X		107,00	0,55			100			
	CP03	X		82,00	0,42			100			
	CP04		X	87,00	0,44			100			
	CP05	X		62,00	0,32			100			
	CP06		X	91,00	0,46			100			
	CP07		X	65,00	0,33			100			
ALTURA MÉDIA	CP08	X		70,00	0,36			100			
	CP09		X	45,00	0,23		100				
	CP10		X	103,00	0,52			100			
	CP11	X		66,00	0,34		100				
	CP12	X		112,00	0,57			100			
	CP13	X		89,00	0,45			100			
	CP14	X		40,00	0,20		100				
	CP15	X		90,00	0,46			100			
	CP16	X		85,00	0,43			100			
	CP17	X		92,00	0,47			100			
	CP18	X		101,00	0,51			100			
	CP19	X		117,00	0,60			100			
	CP20	X		132,00	0,67			100			
	CP21	X		80,00	0,41			100			
	CP22	X		82,00	0,42			100			
	CP23	X		34,00	0,17		100				
	CP24	X		86	0,44		50	50			
ALTURA INFERIOR	CP25		X	67	0,34			100			
	CP26		X	66	0,34			100			
	CP27	X		63	0,32			100			
	CP28	X		68	0,35			100			
	CP29	X		66	0,34			100			
	CP30		X	71	0,36			100			
	CP31	X		50	0,25			100			

RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO DOS REVESTIMENTOS - NBR 13528 (ABNT, 2010)											
T2 VSI 1											
LOCAL	Corpo de Prova Nº	Local do Ensaio		Carga de Ruptura (kgf)	Tensão Ra (Mpa)	Forma de Ruptura (%)					
		Bloco	Junta			Sub.	Sub/Arg	Arg	Arg/Cola	Cola	Cola/Past
ALTURA SUPERIOR	CP01	X		37,00	0,19			100			
	CP02	X		88,00	0,45		30	70			
	CP03		X	58,00	0,30			100			
	CP04	X		47,00	0,24			100			
	CP05	X		26,00	0,13		100				
	CP06	X		64,00	0,33			100			
	CP07	X		13,00	0,07		100				
ALTURA MÉDIA	CP08		X	88,00	0,45			100			
	CP09		X	98,00	0,50			100			
	CP10	X		66,00	0,34			100			
	CP11	X		75,00	0,38			100			
	CP12		X	67,00	0,34			100			
	CP13	X		86,00	0,44			100			
	CP14	X		55,00	0,28			100			
	CP15	X		52,00	0,26		100				
	CP16	X		75,00	0,38			100			
	CP17	X		29,00	0,15		100				
	CP18	X		95,00	0,48			100			
	CP19	X		113,00	0,58		60	40			
	CP20	X		33,00	0,17		50	50			
	CP21	X		50,00	0,25			100			
	CP22	X		71,00	0,36			100			
	CP23	X		52,00	0,26		100				
	CP24	X		44	0,22		100				
ALTURA INFERIOR	CP25	X		72	0,37			100			
	CP26	X		113	0,58			100			
	CP27	X		66	0,34		30	70			
	CP28	X		68	0,35			100			
	CP29	X		57	0,29			100			
	CP30		X	56	0,29			100			
	CP31		X	59	0,30			100			

RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO DOS REVESTIMENTOS - NBR 13528 (ABNT, 2010)											
T3 VSI 1											
LOCAL	Corpo de Prova	Local do Ensaio		Carga de	Tensão	Forma de Ruptura (%)					
	Nº	Bloco	Junta	Ruptura (kgf)	Ra (Mpa)	Sub.	Sub/Arg	Arg	Arg/Cola	Cola	Cola/Past
ALTURA SUPERIOR	CP01	X		11,00	0,06		100				
	CP02	X		28,00	0,14		100				
	CP03	X		5,00	0,03		100				
	CP04	X		2,00	0,01		100				
	CP05		X	45,00	0,23			100			
	CP06	X		2,00	0,01		100				
	CP07	X		0,00	0,00		100				
	CP08	X		1,00	0,01		100				
	CP09	X		6,00	0,03		100				
ALTURA MÉDIA	CP10	X		10,00	0,05		100				
	CP11	X		15,00	0,08		70	30			
	CP12	X		19,00	0,10		100				
	CP13		X	64,00	0,33			100			
	CP14	X		25,00	0,13			100			
	CP15	X		15,00	0,08		50	50			
	CP16	X		10,00	0,05		100				
	CP17	X		6,00	0,03		100				
	CP18	X		7,00	0,04		100				
	CP19	X		0,00	0,00		100				
	CP20	X		19,00	0,10		100				
	CP21	X		15,00	0,08		100				
	CP22	X		2,00	0,01		100				
	CP23	X		0,00	0,00		100				
ALTURA INFERIOR	CP24		X	72	0,37			100			
	CP25	X		11	0,06		100				
	CP26	X		17	0,09		100				
	CP27	X		13	0,07		100				
	CP28	X		20	0,10		100				
	CP29		X	59	0,30			100			
	CP30		X	38	0,19			100			
	CP31		X	45	0,23			100			
	CP32	X		18	0,09		100				

RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO DOS REVESTIMENTOS - NBR 13528 (ABNT, 2010)											
T1 CONV. 1											
LOCAL	Corpo de Prova	Local do Ensaio		Carga de Ruptura (kgf)	Tensão Ra (Mpa)	Forma de Ruptura (%)					
		Nº	Bloco			Junta	Sub.	Sub/Arg	Arg	Arg/Cola	Cola
ALTURA SUPERIOR	CP01	X			57,00	0,29		70	30		
	CP02	X			56,00	0,29		100			
	CP03	X			91,00	0,46			100		
	CP04	X			43,00	0,22			50	50	
	CP05		X		124,00	0,63			100		
	CP06	X			63,00	0,32			100		
	CP07	X			55,00	0,28		50	50		
	CP08	X			48,00	0,24		100			
	CP09	X			80,00	0,41			100		
ALTURA MÉDIA	CP10	X			82,00	0,42		50	50		
	CP11	X			20,00	0,10		100			
	CP12	X			85,00	0,43		50	50		
	CP13	X			65,00	0,33		100			
	CP14	X			86,00	0,44		50	50		
	CP15	X			62,00	0,32			100		
	CP16	X			73,00	0,37			100		
	CP17	X			13,00	0,07		100			
	CP18	X			39,00	0,20		100			
	CP19	X			53,00	0,27		100			
	CP20	X			56,00	0,29		70	30		
	CP21	X			25,00	0,13		80	20		
	CP22	X			63,00	0,32		70	30		
	CP23	X			42,00	0,21		100			
	CP24		X		61	0,31			100		
	CP25	X			40	0,20		50	50		
	CP26	X			44	0,22		100			
	CP27	X			39	0,20		40	60		
ALTURA INFERIOR	CP28	X			46	0,23			100		
	CP29	X			63	0,32			50	50	
	CP30	X			56	0,29				100	
	CP31	X			43	0,22			30	70	
	CP32	X			30	0,15			100		
	CP33		X		91	0,46			30	70	
	CP34	X			32	0,16			100		
	CP35	X			69	0,35				100	
	CP36	X			70	0,36				100	

RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO DOS REVESTIMENTOS - NBR 13528 (ABNT, 2010)											
T2 CONV. 1											
LOCAL	Corpo de Prova	Local do Ensaio		Carga de	Tensão	Forma de Ruptura (%)					
	Nº	Bloco	Junta	Ruptura (kgf)	Ra (Mpa)	Sub.	Sub/Arg	Arg	Arg/Cola	Cola	Cola/Past
ALTURA SUPERIOR	CP01		X	29,00	0,15		50	50			
	CP02	X		26,00	0,13		50	50			
	CP03	X		33,00	0,17		60	40			
	CP04	X		38,00	0,19		100				
	CP05	X		5,00	0,03		100				
	CP06	X		29,00	0,15			100			
	CP07	X		37,00	0,19		50	50			
ALTURA MÉDIA	CP08	X		20,00	0,10		100				
	CP09	X		6,00	0,03		100				
	CP10	X		45,00	0,23		100				
	CP11	X		15,00	0,08			100			
	CP12	X		43,00	0,22		50	50			
	CP13	X		30,00	0,15		100				
	CP14	X		25,00	0,13		100				
	CP15	X		25,00	0,13			100			
	CP16		X	58,00	0,30		100				
	CP17	X		15,00	0,08		100				
	CP18	X		27,00	0,14			100			
	CP19	X		61,00	0,31			100			
	CP20	X		61,00	0,31		100				
	CP21	X		24,00	0,12		30	70			
	CP22	X		37,00	0,19			100			
	CP23	X		55,00	0,28			100			
ALTURA INFERIOR	CP24	X		48	0,24			100			
	CP25	X		46	0,23			100			
	CP26	X		55	0,28			100			
	CP27	X		75	0,38			100			
	CP28	X		48	0,24			100			
	CP29	X		37	0,19			100			
	CP30	X		57	0,29			100			

RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO DOS REVESTIMENTOS - NBR 13528 (ABNT, 2010)											
T3 CONV. 1											
LOCAL	Corpo de Prova	Local do Ensaio		Carga de	Tensão	Forma de Ruptura (%)					
	Nº	Bloco	Junta	Ruptura (kgf)	Ra (Mpa)	Sub.	Sub/Arg	Arg	Arg/Cola	Cola	Cola/Past
ALTURA SUPERIOR	CP01	X		33,00	0,17		70	30			
	CP02	X		48,00	0,24		80	20			
	CP03	X		63,00	0,32		80	20			
	CP04	X		45,00	0,23		80	20			
	CP05	X		41,00	0,21		10	90			
	CP06	X		46,00	0,23		90	10			
	CP07	X		82,00	0,42			100			
	CP08	X		60,00	0,31		20	80			
	CP09	X		42,00	0,21		100				
ALTURA MÉDIA	CP10		X	27,00	0,14		100				
	CP11			40,00	0,20		20	80			
	CP12		X	73,00	0,37		20	80			
	CP13		X	34,00	0,17		100				
	CP14		X	67,00	0,34		100				
	CP15		X	56,00	0,29		100				
	CP16		X	72,00	0,37			100			
	CP17	X		59,00	0,30			100			
	CP18		X	42,00	0,21			100			
	CP19	X		46,00	0,23		70	30			
	CP20	X		49,00	0,25		70	30			
	CP21	X		31,00	0,16		100				
	CP22		X	56,00	0,29		80	20			
	CP23		X	27,00	0,14		60	40			
	CP24		X	40	0,20		60	40			
	CP25	X		70	0,36		50	50			
	CP26	X		44	0,22			100			
	CP27	X		49	0,25		50	50			
	CP28	X		63	0,32		80	20			
	CP29	X		53	0,27		70	30			
CP30	X		39	0,20		80	20				
CP31	X		57	0,29		10	90				
CP32	X		49	0,25		10	90				
ALTURA INFERIOR	CP33	X		71	0,36			100			
	CP34	X		78	0,40			100			
	CP35	X		64	0,33		50	50			
	CP36	X		62	0,32		30	70			
	CP37	X		72	0,37		100				
	CP38	X			0,00			100			
	CP39	X		91	0,46			100			
	CP40		X	50	0,25		50	50			

## Resultado do ensaio de coeficiente de permeabilidade pelo método do cachimbo

COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE PELO MÉTODO DO CACHIMBO												
T1 APR												
Tempo/Identif.	ALTURAS											
	INFERIOR				MÉDIA				SUPEPRIOR			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1 min	0,05	0,05	0	0,1	0,1	0,15	0,2	0	0,05	0,05	0	0,1
2 min	0,1	0,1	0,1	0,15	0,15	0,2	0,3	0,05	0,1	0,15	0	0,15
3 min	0,2	0,2	0,15	0,2	0,2	0,3	0,4	0,15	0,2	0,25	0	0,2
4 min	0,3	0,25	0,25	0,25	0,3	0,35	0,45	0,2	0,3	0,3	0,05	0,25
5 min	0,4	0,25	0,3	0,3	0,4	0,45	0,55	0,25	0,4	0,4	0,1	0,3
6 min	0,5	0,3	0,4	0,4	0,45	0,5	0,6	0,3	0,5	0,45	0,1	0,35
7 min	0,55	0,35	0,5	0,5	0,5	0,55	0,65	0,35	0,55	0,5	0,1	0,35
8 min	0,65	0,4	0,55	0,55	0,55	0,6	0,75	0,4	0,6	0,6	0,15	0,4
9 min	0,7	0,45	0,6	0,6	0,7	0,7	0,8	0,45	0,65	0,7	0,15	0,4
10 min	0,8	0,45	0,7	0,6	0,75	0,75	0,9	0,5	0,7	0,75	0,2	0,5
11 min	0,85	0,5	0,75	0,7	0,8	0,8	0,95	0,55	0,75	0,8	0,2	0,5
12 min	0,95	0,55	0,8	0,8	0,8	0,9	1	0,6	0,85	0,9	0,25	0,55
13 min	1	0,6	0,9	0,8	0,95	0,9	1,1	0,065	0,9	0,95	0,3	0,6
14 min	1,1	0,6	1	0,9	1	0,95	1,15	0,7	0,95	1	0,3	0,6
15 min	1,15	0,65	1,05	0,9	1,1	1	1,2	0,7	1	1,05	0,35	0,65
Coeficiente de Permeabilidade (A)	2,325	1,6	1,925	2	2,2	2,55	3,175	1,475	2,3	2,275	0,425	1,725
Coeficiente de Permeabilidade Médio (Am)	2,00											
DP	0,67											
CV	33,72											

COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE PELO MÉTODO DO CACHIMBO												
T2 APR												
Tempo/Identif.	ALTURAS											
	INFERIOR				MÉDIA				SUPEPRIOR			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1 min	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0,15
2 min	0,2	0,3	0,1	0,2	0,15	0,2	0,1	0,2	0,1	0	0,3	0,35
3 min	0,3	0,35	0,2	0,25	0,3	0,4	0,2	0,2	0,2	0,1	0,4	0,5
4 min	0,35	0,35	0,25	0,35	0,45	0,5	0,35	0,35	0,35	0,15	0,5	0,6
5 min	0,35	0,4	0,3	0,4	0,55	0,65	0,45	1	0,5	0,2	0,65	0,75
6 min	0,4	0,5	0,4	0,5	0,7	0,75	0,6	1,3	0,65	0,25	0,8	0,9
7 min	0,45	0,55	0,5	0,6	0,8	0,9	0,7	1,5	0,75	0,35	0,9	1
8 min	0,45	0,65	0,6	0,7	0,9	1	0,8	1,7	0,9	0,4	1	1,1
9 min	0,5	0,7	0,65	0,75	1	1,1	0,9	2	1	0,5	1,1	1,25
10 min	0,5	0,7	0,7	0,85	1,1	1,25	1	2,25	1,2	0,55	1,2	1,35
11 min	0,55	0,75	0,8	0,95	1,2	1,4	1,1	2,45	1,3	0,6	1,3	1,5
12 min	0,6	0,8	0,9	1	1,3	1,5	1,2	2,7	1,4	0,7	1,4	1,6
13 min	0,6	0,85	0,95	1,1	1,4	1,65	1,4	3,1	1,6	0,8	1,5	1,7
14 min	0,7	0,95	1	1,2	1,22	1,8	1,5	3,2	1,7	0,85	1,6	1,8
15 min	0,75	1	1,1	1,3	1,65	1,9	1,9	3,4	1,8	0,9	1,7	1,9
Coeficiente de Permeabilidade (A)	2,175	2,625	2	2,55	3,325	3,8	2,75	5,3	2,95	1,25	3,9	4,475
Coeficiente de Permeabilidade Médio (Am)	3,09											
DP	1,13											
CV	36,58											

COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE PELO MÉTODO DO CACHIMBO												
T3 APR												
Tempo/Identif.	ALTURAS											
	INFERIOR				MÉDIA				SUPEPRIOR			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1 min	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2 min	0,55	0,8	0,55	0,3	0,7	0,3	0,35	0,3	0,4	0,5	0,65	0,75
3 min	0,7	1,15	0,7	0,45	0,9	0,5	0,4	1,2	0,7	0,7	1	1
4 min	0,9	1,55	0,9	0,65	1,3	0,7	0,6	1,5	0,9	1	1,3	1,3
5 min	1,1	1,8	1,1	0,8	1,5	0,8	0,75	1,7	1,1	1,2	1,6	1,5
6 min	1,25	2,05	1,3	0,95	1,75	1	0,9	2,05	1,3	1,45	1,8	1,7
7 min	1,4	2,35	1,5	1,1	1,95	1,2	1	2,35	1,5	1,65	2,1	1,9
8 min	1,6	2,6	1,7	1,3	2,25	1,35	1,2	2,65	1,65	1,85	2,35	2,1
9 min	1,8	2,9	1,9	1,45	2,5	1,5	1,45	3	1,9	2	2,55	2,3
10 min	1,95	3,15	2	1,6	2,8	1,65	1,5	3,2	2	2,2	2,8	2,5
11 min	2,15	3,4	2,3	1,8	3	1,8	1,6	3,45	2,2	2,4	3	2,7
12 min	2,3	3,7	2,5	1,95	3,25	1,95	1,75	3,7	2,4	2,65	3,25	2,9
13 min	2,5	3,9	2,6	2,05	3,5	2,1	1,8	4	2,55	2,85	3,45	3,1
14 min	2,65	4,1	2,8	2,25	3,75	2,3	2	4,2	2,7	2,9	3,7	3,25
15 min	2,85	4,35	3	2,45	4	2,4	2,2	4,4	2,9	3,1	3,9	3,45
<b>Coefficiente de Permeabilidade (A)</b>	6,425	10,6	6,625	4,75	8,875	5,025	4,425	10,275	6,525	7,175	9,3	8,825
<b>Coefficiente de Permeabilidade Médio (Am)</b>	7,40											
<b>DP</b>	2,14											
<b>CV</b>	28,86											

COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE PELO MÉTODO DO CACHIMBO												
T1 VSI												
Tempo/Identif.	ALTURAS											
	INFERIOR				MÉDIA				SUPEPRIOR			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1 min	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2 min	0,8	0,8	0,8	0,75	0,9	0,9	1	0,8	0,7	0,9	1,2	1,1
3 min	1,2	1,1	1,2	1	1,2	1,3	1,5	1,2	1,1	1,4	1,7	1,6
4 min	1,5	1,5	1,6	1,3	1,55	1,7	1,9	1,55	1,45	1,8	2,15	2
5 min	1,9	1,8	2	1,7	1,9	2,1	2,35	1,9	1,8	2,1	2,6	2,4
6 min	2,3	2,2	2,4	2	2,25	2,5	2,7	2,25	2,1	2,6	3	2,9
7 min	2,6	2,55	2,75	2,25	2,6	2,7	3,15	2,5	2,45	2,9	3,4	3,3
8 min	2,95	2,85	3,1	2,6	2,9	3,2	3,6	2,8	2,8	3,3	3,8	3,65
9 min	3,3	3,2	3,45	2,95	3,3	3,5	3,9	3,1	3	3,6	4,2	4
10 min	3,6	3,5	3,8	3,25	3,6	3,8	4,1	3,45	3,5	4	4,5	4,25
11 min	3,95	3,8	4,1	3,6	3,9	4,1	4,55	3,75	3,8	4,3	4,9	4,6
12 min	4,2	4,1	4,4	3,9	4,2	4,25	4,85	4	4,1	4,6	5,3	5
13 min	4,4	4,3	4,5	4,1	4,4	4,6	5,3	5,1	4,2	5	5,7	5,3
14 min	4,7	4,6	4,75	4,4	4,75	4,9	5,6	4,3	4,4	5,13	6,05	5,65
15 min	5	4,9	5,15	4,65	5	6	5,9	4,7	4,9	5,7	6,4	6
<b>Coefficiente de Permeabilidade (A)</b>	11,375	10,975	11,9	9,925	11,4	12,35	13,9	11,2	10,65	12,9	15,35	14,575
<b>Coefficiente de Permeabilidade Médio (Am)</b>	12,21											
<b>DP</b>	1,66											
<b>CV</b>	13,63											

COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE PELO MÉTODO DO CACHIMBO												
T2 VSI												
Tempo/Identif.	ALTURAS											
	INFERIOR				MÉDIA				SUPERIOR			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1 min	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2 min	0,5	0,4	0,2	0,5	0,6	0,65	0,5	0,75	0,5	0,95	0,5	0,5
3 min	0,74	0,6	0,3	0,75	0,9	0,9	0,7	1,1	0,7	1,65	0,65	0,7
4 min	0,9	0,8	0,4	1	1,1	1,2	0,85	1,4	1	2,4	0,8	0,9
5 min	1,1	1	0,5	1,2	1,4	1,45	1	1,7	1,15	3,2	0,95	1,1
6 min	1,3	1,25	0,6	1,5	1,65	1,6	1,2	1,9	1,3	3,5	1,15	1,25
7 min	2	2,05	0,7	1,9	1,9	1,8	1,3	2,1	1,5	3,8	1,3	1,4
8 min	1,7	3,15	0,9	2,15	2,15	2	1,45	2,35	1,7	4	1,45	1,6
9 min	1,85		1	2,4	2,3	2,2	1,6	2,6	1,8	4,2	1,6	1,8
10 min	2,1		1,15	2,7	2,6	2,45	1,75	2,8	2		1,7	1,95
11 min	2,3		1,35	2,9	2,8	2,55	1,85	3	2,15		1,85	2,05
12 min	2,5		1,45	3,15	3	2,75	2	3,15	2,3		1,95	2,2
13 min	2,65		1,65	3,45	3,3	2,9	2,15	3,35	2,45		2,05	2,35
14 min	2,85		1,75	3,65	3,5	3,05	2,3	2,55	2,6		2,2	2,5
15 min	3,05		1,85	3,9	3,7	3,25	2,4	3,8	2,8		2,35	2,65
<b>Coefficiente de Permeabilidade (A)</b>	7,14	7,475	3,05	7,675	8,325	8,275	6,025	9,75	6,75	17,025	5,825	6,4
<b>Coefficiente de Permeabilidade Médio (Am)</b>	7,81											
<b>DP</b>	3,34											
<b>CV</b>	42,75											

COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE PELO MÉTODO DO CACHIMBO												
T3 VSI												
Tempo/Identif.	ALTURAS											
	INFERIOR				MÉDIA				SUPERIOR			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1 min	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2 min	0,3	0,5	0,4	0,35	0,3	0,6	0,6	0,7	0,75	0,6	0,5	0,45
3 min	0,7	0,8	0,65	0,65	0,7	0,85	0,85	1,1	1,1	0,85	0,8	0,7
4 min	0,9	1,05	1,1	1	0,9	1,1	1,1	1,4	1,35	1,05	1,1	0,8
5 min	1,15	1,4	1,4	1,2	1,2	1,35	1,4	1,75	1,7	1,3	1,35	1,2
6 min	1,5	1,7	1,8	1,6	1,5	1,55	1,5	2,05	1,9	1,5	1,6	1,4
7 min	1,75	1,9	2,1	1,9	1,75	1,7	1,8	2,45	2,3	1,7	1,85	1,55
8 min	1,95	2,4	2,4	2,2	2	2	2	2,7	2,45	1,9	2,1	1,75
9 min	2,25	2,65	2,65	2,45	2,3	2,25	2,15	3	2,7	2,1	2,3	1,95
10 min	2,5	2,9	2,95	1,7	2,45	2,4	2,4	3,3	2,9	2,35	2,55	2
11 min	2,8	3,25	3,25	3	3,75	2,6	2,6	3,6	3,2	2,5	2,8	2,35
12 min	3	3,55	3,55	3,3	2,95	2,8	2,7	3,9	3,45	2,7	3	2,5
13 min	3,3	3,85	3,05	3,5	3,25	3,05	2,95	4,1	3,7	2,9	3,3	2,7
14 min	3,5	4,1	4,1	3,8	3,4	3,25	3,25	4,4	3,9	3,1	3,5	2,85
15 min	3,75	4,4	4,4	4	3,6	3,4	3,4	4,7	4,1	3,3	3,7	3,05
<b>Coefficiente de Permeabilidade (A)</b>	7,125	8,3	8,45	7,625	7,2	7,85	7,95	10,45	9,95	7,65	8	6,75
<b>Coefficiente de Permeabilidade Médio (Am)</b>	8,11											
<b>DP</b>	1,10											
<b>CV</b>	13,52											

COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE PELO MÉTODO DO CACHIMBO												
T1 CONV.												
Tempo/Identif.	ALTURAS											
	INFERIOR				MÉDIA				SUPEPRIOR			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1 min	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2 min	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,45	0,6	0,35	0,35	0,4
3 min	0,4	0,45	0,45	0,5	0,6	0,5	0,5	0,6	0,75	0,5	0,5	0,65
4 min	0,5	0,6	0,55	0,6	0,75	0,65	0,6	0,75	0,95	0,7	0,65	0,85
5 min	0,6	0,7	0,7	0,75	0,95	0,8	0,85	0,95	1,15	0,85	0,8	1,05
6 min	0,65	0,8	0,8	0,9	1,1	0,95	0,95	1,05	1,25	1	0,9	1,3
7 min	0,7	0,9	0,9	1	1,2	1,1	1,1	0,2	1,45	1,25	1,05	1,45
8 min	0,8	1,1	1	1,15	1,4	1,2	1,2	1,35	1,6	1,3	1,2	1,65
9 min	0,9	1,15	1,1	1,3	1,55	1,35	1,35	1,5	1,8	1,45	1,35	1,8
10 min	0,95	1,25	1,25	1,4	1,65	1,45	1,5	1,6	1,9	1,55	1,5	1,95
11 min	1,05	1,3	1,35	1,55	1,8	1,55	1,6	1,75	2	1,7	1,6	2,1
12 min	1,1	1,45	1,45	1,7	2	1,7	1,7	1,9	2,2	1,8	1,7	2,3
13 min	1,2	1,5	1,55	1,8	2,1	1,8	1,8	2	2,3	1,95	1,85	2,45
14 min	1,3	1,65	1,7	1,9	2,2	1,9	1,95	2,1	2,4	2,05	1,95	2,6
15 min	1,35	1,75	1,75	2,1	2,4	2	2,1	2,3	2,6	2,15	2,1	2,8
<b>Coeficiente de Permeabilidade (A)</b>	3,4	4,15	4,05	4,475	6,025	4,8	4,8	4,45	6,65	5,125	4,675	6,325
<b>Coeficiente de Permeabilidade Médio (Am)</b>	4,91											
<b>DP</b>	0,97											
<b>CV</b>	19,80											

COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE PELO MÉTODO DO CACHIMBO												
T2 CONV.												
Tempo/Identif.	ALTURAS											
	INFERIOR				MÉDIA				SUPEPRIOR			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1 min	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2 min	0,35	0,4	0,55	0,3	0,55	0,5	0,5	0,55	0,65	0,3	1	0,65
3 min	0,6	0,65	0,7	0,45	0,8	0,75	0,7	0,8	0,95	0,45	1,3	0,9
4 min	0,8	0,85	1	0,7	1,05	1	0,9	1	1,2	0,7	1,65	1,1
5 min	0,95	1	1,2	0,8	1,3	1,2	1,1	1,15	1,45	0,9	1,95	1,35
6 min	1,15	1,15	1,35	1	1,6	1,35	1,3	1,45	1,65	1	2,25	1,55
7 min	1,3	1,35	1,5	1,15	1,8	1,65	1,5	1,5	1,9	1,25	2,5	1,75
8 min	1,5	1,5	1,8	1,3	2	1,9	1,7	1,75	2,1	1,35	2,8	1,95
9 min	1,7	1,65	1,9	1,45	2,25	2,1	1,9	1,95	2,3	1,55	3	2,15
10 min	1,85	1,8	2,1	1,6	2,5	2,4	2,05	2,1	2,5	1,7	3,3	2,35
11 min	2,05	2	2,3	1,8	2,7	2,6	2,3	2,25	2,7	1,9	3,5	2,5
12 min	2,2	2,15	2,45	1,95	2,95	2,8	2,5	2,5	2,95	2	3,7	2,65
13 min	2,3	2,3	2,6	2,15	3,2	3,1	2,6	2,7	3,1	2,2	4	2,8
14 min	2,5	2,45	2,75	2,3	3,4	3,3	2,75	2,8	3,4	2,4	4,2	3,1
15 min	2,65	2,65	2,9	2,5	3,6	3,55	2,9	3	3,5	2,5	4,4	3,25
<b>Coeficiente de Permeabilidade (A)</b>	5,725	5,95	6,925	4,9	7,825	7,15	6,6	7,05	8,525	5,125	11,55	7,95
<b>Coeficiente de Permeabilidade Médio (Am)</b>	7,11											
<b>DP</b>	1,79											
<b>CV</b>	25,22											

COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE PELO MÉTODO DO CACHIMBO												
T3 CONV.												
Tempo/Identif.	ALTURAS											
	INFERIOR				MÉDIA				SUPEPRIOR			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1 min	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2 min	0,5	0,5	0,5	0,4	0,3	0,35	0,5	0,4	0,6	0,55	0,4	0,4
3 min	0,75	0,8	0,85	0,6	0,5	0,55	0,7	0,6	0,9	0,7	0,6	0,6
4 min	0,95	1,05	1,1	0,8	0,8	0,7	0,9	0,8	1,1	0,9	0,8	0,8
5 min	1,2	1,35	1,4	1,1	1,05	0,9	1,1	0,95	1,3	1,1	0,95	0,95
6 min	1,4	1,6	1,65	1,3	1,3	1,1	1,3	1,1	1,55	1,3	1,1	1,1
7 min	1,6	1,8	1,9	1,6	1,55	1,2	1,45	1,3	1,8	1,5	1,3	1,3
8 min	1,8	2,05	2,15	1,8	1,8	1,4	1,65	1,4	2	1,75	1,5	1,5
9 min	2	2,3	2,4	2,05	2	1,55	1,8	1,6	2,2	1,9	1,7	1,65
10 min	2,25	2,5	2,7	2,3	2,3	1,7	2	1,75	2,4	2,1	1,85	1,8
11 min	2,5	2,8	2,9	2,5	2,5	1,85	2,2	1,9	2,65	2,3	2	2
12 min	2,7	3,05	3,2	2,8	2,8	2	2,35	2	2,8	2,5	2,2	2,2
13 min	2,9	3,3	3,3	3	3	2,2	2,5	2,2	3	2,7	2,4	2,35
14 min	3,1	3,5	3,6	3,2	3,25	2,3	2,7	2,3	3,2	2,85	2,55	2,5
15 min	3,35	3,7	3,8	3,4	3,5	2,5	2,85	2,5	3,4	3	2,7	2,65
Coeficiente de Permeabilidade (A)	7,05	7,875	8,225	6,5	6,25	5,325	6,525	5,65	7,95	6,65	5,7	5,7
Coeficiente de Permeabilidade Médio (Am)	6,62											
DP	0,98											
CV	14,82											

COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE PELO MÉTODO DO CACHIMBO												
T1 VSI 1												
Tempo/Identif.	ALTURAS											
	INFERIOR				MÉDIA				SUPEPRIOR			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1 min	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2 min	0,2	0,4	0,2	0,4	0,4	0,4	0,3	0,5	0,45	0,6	0,2	0,4
3 min	0,3	0,5	0,3	0,5	0,55	0,55	0,45	0,7	0,6	0,9	0,35	0,65
4 min	0,4	0,6	0,4	0,7	0,7	0,7	0,55	0,9	0,8	1,1	0,45	0,85
5 min	0,5	0,75	0,5	0,8	0,9	0,85	0,65	1,1	0,95	1,3	0,55	1,05
6 min	0,3	0,85	0,6	1	1	1	0,75	1,25	1,1	1,5	0,65	1,25
7 min	0,65	1	0,65	1,1	1,2	1,1	0,85	1,4	1,25	1,7	0,7	1,4
8 min	0,75	1,1	0,75	1,3	1,3	1,2	0,9	1,6	1,4	1,8	0,8	1,6
9 min	0,8	1,2	0,8	1,4	1,4	1,3	1	1,8	1,5	2	0,9	1,8
10 min	0,9	1,3	0,9	1,5	1,6	1,45	1,1	1,9	1,65	2,2	1	1,95
11 min	1	1,4	1	1,65	1,75	1,55	1,2	2,05	1,8	2,35	1,1	2,1
12 min	1,1	1,5	1,05	1,8	1,85	1,65	1,3	2,2	1,9	2,5	1,2	2,3
13 min	1,2	1,65	1,2	1,9	1,9	1,75	1,4	2,4	2,05	2,7	1,3	2,45
14 min	1,25	1,75	1,25	2,05	2,15	1,85	1,5	2,5	2,2	2,85	1,4	2,6
15 min	1,4	1,8	1,35	2,2	2,25	1,95	1,55	2,65	2,3	3	1,5	2,9
Coeficiente de Permeabilidade (A)	2,625	4,45	2,925	4,95	5,2	5	3,85	6,4	5,625	7,7	3,2	6,2
Coeficiente de Permeabilidade Médio (Am)	4,84											
DP	1,53											
CV	31,52											

COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE PELO MÉTODO DO CACHIMBO												
T2 VSI 1												
Tempo/Identif.	ALTURAS											
	INFERIOR				MÉDIA				SUPEPRIOR			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1 min	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2 min	0,2	0,25	0,2	0,3	0,2	0,4	0,4	0,3	0,35	0,4	0,3	0,3
3 min	0,35	0,5	0,5	0,7	0,5	0,7	0,6	0,6	0,6	0,7	0,5	0,6
4 min	0,5	0,75	0,7	1	0,7	0,95	0,85	0,8	0,7	1	0,7	0,8
5 min	0,65	0,95	0,9	1,3	0,9	1,2	1,15	1	1	1,25	0,9	1
6 min	0,8	1,2	1,15	1,6	1,1	1,45	1,4	1,2	1,2	1,5	1,1	1,25
7 min	0,9	1,4	1,35	1,85	1,3	1,65	1,6	1,4	1,4	1,7	1,25	1,45
8 min	1,05	1,55	1,6	2,1	1,5	1,85	1,8	1,6	1,55	1,9	1,35	1,6
9 min	1,15	1,7	1,75	2,35	1,7	2	2	1,75	1,7	2,1	1,55	1,8
10 min	1,3	1,9	1,95	2,6	1,8	2,2	2,15	1,9	1,85	2,25	1,7	2
11 min	1,4	2,1	2,15	2,85	2	2,4	2,4	2,1	2	2,4	1,85	2,2
12 min	1,55	2,25	2,35	3,05	2,1	2,55	2,55	2,3	2,15	2,65	2	2,4
13 min	1,7	2,45	2,5	3,3	2,3	2,75	2,75	2,4	2,3	2,8	2,25	2,6
14 min	1,8	2,65	2,7	3,5	2,45	2,9	2,9	2,6	2,45	3	2,5	2,8
15 min	1,9	2,7	2,9	3,7	2,6	3,05	3,1	2,7	2,6	3,15	2,75	3
<b>Coeficiente de Permeabilidade (A)</b>	3,825	5,7	5,5	7,65	5,35	7,075	6,7	5,95	5,85	7,3	5,275	6,05
<b>Coeficiente de Permeabilidade Médio (Am)</b>	6,02											
<b>DP</b>	1,05											
<b>CV</b>	17,43											

COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE PELO MÉTODO DO CACHIMBO												
T3 VSI 1												
Tempo/Identif.	ALTURAS											
	INFERIOR				MÉDIA				SUPEPRIOR			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1 min	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2 min	0,45	0,25	0,5	1	0,9	0,6	0,45	0,55	0,4	0,4	0,7	0,9
3 min	0,8	0,65	0,75	1,45	1,6	1	0,8	1	0,75	1,75	1	1,35
4 min	1,05	0,9	1,1	1,8	1,5	1,45	1,1	1,4	1,1	1,1	1,3	1,65
5 min	1,35	1,25	1,4	2,2	1,9	1,85	1,4	1,7	1,35	1,45	1,6	2
6 min	1,6	1,5	1,65	2,5	2,1	2,2	1,7	2,1	1,6	1,7	1,9	2,25
7 min	1,9	1,8	2	2,9	2,45	2,6	1,95	2,45	1,9	2	2,2	2,7
8 min	2,2	2,15	2,25	3,3	2,8	3	2,2	2,7	2,15	2,3	2,4	3
9 min	2,45	2,45	2,5	3,65	3,1	3,4	2,5	3,1	2,4	2,6	2,7	3,55
10 min	1,7	1,75	2,75	3,95	3,4	3,75	2,8	3,4	2,7	2,85	2,95	3,7
11 min	3	3	3	4,15	3,7	4,2	3,15	3,8	3,05	3,2	3,2	3,95
12 min	3,3	3,3	3,2	4,45	4	4,4	3,4	4,2	3,3	3,5	3,5	4,25
13 min	3,5	3,6	3,5	4,8	4,2	4,7	3,75	4,4	3,55	3,8	3,7	4,55
14 min	3,8	3,8	3,75	5,15	4,5	5	4,1	4,6	3,85	4,1	3,95	4,85
15 min	4	4,1	4,05	5,4	4,7	5,3	4,35	4,8	4,05	4,3	4,15	5,15
<b>Coeficiente de Permeabilidade (A)</b>	10,35	7,3	8,275	13	11,4	10,9	8,275	10,275	7,975	9,35	9,55	11,9
<b>Coeficiente de Permeabilidade Médio (Am)</b>	9,88											
<b>DP</b>	1,74											
<b>CV</b>	17,63											

COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE PELO MÉTODO DO CACHIMBO												
T1 CONV. 1												
Tempo/Identif.	ALTURAS											
	INFERIOR				MÉDIA				SUPERIOR			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1 min	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2 min	0,5	0,2	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	0,4	0,35	0,2	0,75	1,1
3 min	0,7	0,4	0,5	0,6	0,6	0,5	0,5	0,7	0,6	0,4	1,1	1,5
4 min	0,9	0,6	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,9	0,9	0,6	1,3	1,85
5 min	1,1	0,8	0,9	1	1	1	0,9	1,1	1,1	0,7	1,5	2,15
6 min	1,3	1	1,05	1,2	1,2	1,2	1,05	1,4	1,35	0,9	1,7	2,5
7 min	1,5	1,2	1,2	1,4	1,4	1,4	1,2	1,7	1,5	1	1,95	2,8
8 min	1,6	1,4	1,4	1,6	1,6	1,6	1,4	2	1,7	1,1	2,2	3,05
9 min	1,8	1,6	1,6	1,8	1,8	1,8	1,55	2,3	1,95	1,3	2,4	3,35
10 min	1,95	1,8	1,8	2	2	2	1,75	2,55	2,1	1,45	2,55	3,6
11 min	2	1,9	1,9	2,2	2,2	2,2	1,9	2,8	2,3	1,55	2,75	3,9
12 min	2,3	2,1	2,1	2,4	2,4	2,4	2	3	2,5	1,7	3	4,3
13 min	2,4	2,3	2,3	2,6	2,6	2,55	2,2	3,3	2,65	1,8	3,2	4,6
14 min	2,6	2,45	2,45	2,8	2,8	2,75	2,4	3,6	2,8	1,9	3,4	4,9
15 min	2,75	2,6	2,6	3	3	2,9	2,5	3,9	3	2,05	3,55	5,2
<b>Coeficiente de Permeabilidade (A)</b>	6,55	4,8	5,2	5,95	6	5,85	5,2	7	6,475	4,25	9,025	12,875
<b>Coeficiente de Permeabilidade Médio (Am)</b>	6,60											
<b>DP</b>	2,32											
<b>CV</b>	35,24											

COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE PELO MÉTODO DO CACHIMBO												
T2 CONV. 1												
Tempo/Identif.	ALTURAS											
	INFERIOR				MÉDIA				SUPERIOR			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1 min	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2 min	0,3	0,4	0,4	0,6	0,5	0,6	0,2	0,5	0,6	0,4	0,55	0,6
3 min	0,9	0,7	0,6	1,1	1	1,1	0,6	0,8	1,1	0,85	0,8	0,85
4 min	1,15	1	0,75	1,5	1,5	1,5	0,9	1,1	1,3	1,1	1,1	1,1
5 min	1,55	1,2	0,95	1,9	1,85	1,7	1,25	1,4	1,7	1,4	1,35	1,3
6 min	1,9	1,45	1,2	2,2	2,3	2,2	1,55	1,65	1,95	1,7	1,6	1,5
7 min	2,2	1,65	1,4	2,255	2,65	2,5	1,85	1,95	2,25	1,95	1,85	1,7
8 min	2,45	1,85	1,6	2,9	3	2,8	2,1	2,2	2,55	2,3	2,05	1,9
9 min	2,7	2,1	1,8	3,3	3,5	3,1	2,4	2,45	2,8	2,6	2,3	2,1
10 min	3	2,35	2	3,6	3,8	3,4	2,65	2,7	3	2,85	2,5	2,3
11 min	3,3	2,55	2,2	3,9	4,3	3,7	2,9	2,9	3,4	3,1	2,75	2,45
12 min	3,6	2,8	2,4	4,1	4,6	4	3,2	3,2	3,6	3,4	2,9	2,6
13 min	3,9	2,95	2,6	4,4	4,9	4,25	3,45	3,45	3,9	3,7	3,1	2,8
14 min	4,2	3,2	2,8	4,7	5,2	4,5	3,7	3,7	4,15	3,95	3,35	3
15 min	4,4	3,4	3	5	5,5	4,8	4	3,9	4,45	4,2	3,55	3,15
<b>Coeficiente de Permeabilidade (A)</b>	9,075	7,125	5,9	10,705	11,05	10,7	7,3	8,25	9,875	8,35	8	7,7
<b>Coeficiente de Permeabilidade Médio (Am)</b>	8,67											
<b>DP</b>	1,63											
<b>CV</b>	18,78											

COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE PELO MÉTODO DO CACHIMBO												
T3 CONV. 1												
Tempo/Identif.	ALTURAS											
	INFERIOR				MÉDIA				SUPEPRIOR			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1 min	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2 min	0,35	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,7	0,2	0,4	0,35	0,55
3 min	0,6	0,7	0,4	0,4	0,4	0,35	0,25	1,1	0,45	0,7	0,5	0,8
4 min	0,75	1	0,6	0,6	0,5	0,5	0,35	1,5	0,7	0,95	0,7	1,1
5 min	1,05	1,35	0,7	0,75	0,65	0,6	0,45	1,8	0,85	1,1	0,8	1,35
6 min	1,25	1,6	0,9	0,9	0,75	0,7	0,55	2,1	1	1,35	1	1,55
7 min	1,4	1,9	1,1	1	0,8	0,8	0,6	2,35	1,2	1,55	1,1	1,75
8 min	1,55	2,15	1,2	1,15	0,95	0,9	0,7	2,6	1,35	1,7	1,3	1,95
9 min	1,7	2,4	1,3	1,3	1,1	1	0,8	2,8	1,5	1,9	1,35	2,1
10 min	1,85	2,65	1,45	1,4	1,2	1,1	0,9	3	1,6	2	1,5	2,3
11 min	2,05	2,85	1,65	1,55	1,3	1,2	1	3,3	1,75	2,2	1,6	2,5
12 min	2,15	3,1	1,75	1,65	1,4	1,25	1,15	3,5	1,9	2,35	1,7	2,65
13 min	2,3	3,3	1,85	1,8	1,5	1,35	1,2	3,6	2	2,5	1,8	2,8
14 min	2,4	3,5	1,95	1,9	1,6	1,45	1,3	3,8	2,15	2,65	1,9	2,9
15 min	2,6	3,7	2,1	2	1,65	1,5	1,4	4	2,25	2,75	2	3,05
<b>Coefficiente de Permeabilidade (A)</b>	6	7,775	4,4	4,325	3,675	3,5	2,6	10,5	4,975	6,7	4,925	7,8
<b>Coefficiente de Permeabilidade Médio (Am)</b>	5,60											
<b>DP</b>	2,26											
<b>CV</b>	40,30											