

INFLUÊNCIA DA SUPERFÍCIE DOS BLOCOS CERÂMICOS NA
ADERÊNCIA DE ARGAMASSAS E PROPOSTA DE UMA NOVA
MORFOLOGIA DE ANCORAGEM

EUZÉBIO BERNABÉ ZANELATO

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY
RIBEIRO – UENF

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ

DEZEMBRO - 2019

**INFLUÊNCIA DA SUPERFÍCIE DOS BLOCOS CERÂMICOS NA
ADERÊNCIA DE ARGAMASSAS E PROPOSTA DE UMA NOVA
MORFOLOGIA DE ANCORAGEM**

EUZÉBIO BERNABÉ ZANELATO

Tese de doutorado apresentado ao Centro de
Ciência e Tecnologia da Universidade
Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro,
como parte das exigências para a obtenção
de título de Doutor em Engenharia Civil.

Orientador: Jonas Alexandre

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY
RIBEIRO – UENF**

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ

DEZEMBRO - 2019

INFLUÊNCIA DA SUPERFÍCIE DOS BLOCOS CERÂMICOS NA ADERÊNCIA DE ARGAMASSAS E PROPOSTA DE UMA NOVA MORFOLOGIA DE ANCORAGEM

EUZÉBIO BERNABÉ ZANELATO

Tese de doutorado apresentado ao Centro de
Ciência e Tecnologia da Universidade
Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro,
como parte das exigências para a obtenção
de título de Doutor em Engenharia Civil.

Aprovada em 13 de Dezembro de 2019.

Comissão examinadora:

Prof^a. Maria Lúcia Pereira Antunes (Doutor) - UNESP

Prof. Ricardo André Fiorotti Peixoto (Doutor) – UFOP

Prof. Gustavo de Castro Xavier (Doutor) - UENF

Prof. Jonas Alexandre (Doutor) – UENF

Orientador

Dedico esta tese à minha família,
A eles meu eterno amor e gratidão.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela oportunidade de ter realizado este trabalho e ter dado força suficiente para minha caminhada. Aos meus pais, pelo amor incondicional, esforço, dedicação e compreensão, em todos os momentos desta e de outras caminhadas. À minha noiva pela compreensão nos momentos de ausência para que eu pudesse me dedicar ao doutorado e todo o carinho dado ao longo desta caminhada. Ao meu irmão, que sempre me cobrou e mesmo inconscientemente incentivou a correr atrás dos meus objetivos. Aos amigos que foram minha segunda família nessa caminhada, pelas palavras amigas nas horas difíceis, pelo auxílio nos trabalhos e pelo simples fato de estarem sempre ao meu lado. Um agradecimento especial aos meus amigos, Markssuel e Afonso, que estiveram sempre presentes durante a minha pesquisa, sendo além de amigos, parceiros de pesquisa. Ao meu orientador, Jonas Alexandre, pelo empenho, paciência e credibilidade. À UENF, ao corpo docente e aos técnicos do LECIV, que além de me conduzir ao conhecimento, me ensinaram uma profissão ao longo de toda a minha caminhada por 11 anos da graduação ao doutorado. E à todas as pessoas do meu convívio, que acreditaram e contribuíram, mesmo que indiretamente, para a conclusão deste doutorado.

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABELAS	xii
RESUMO	xiii
ABSTRACT	xiv
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 OBJETIVO GERAL	3
1.2 INEDITISMO DO TRABALHO	4
1.3 JUSTIFICATIVA	4
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	6
2.1 MECANISMOS DE ADERÊNCIA	6
2.1.1 Adesão inicial	9
2.1.2 Transporte de água	13
2.2 INFLUÊNCIA DAS ARGAMASSAS.....	17
2.2.1 Reologia	17
2.2.1.1 Reologia das argamassas	19
2.2.1.2 Técnicas de caracterização reológica das argamassas	21
2.2.2 Influência das propriedades.....	26
2.2.2.1 Trabalhabilidade	26
2.2.2.2 Retenção de água.....	27
2.2.2.3 Teor de ar incorporado	28
2.2.2.4 Resistência mecânica	28
2.3 INFLUÊNCIA DOS SUBSTRATOS.....	29
2.3.1 Capacidade de sucção de água	29
2.3.2 Rugosidade.....	31
2.3.3 Ranhuras	32
2.4 ENERGIA DE IMPACTO	33
2.4.1 Estimativa e controle da energia de impacto	34
2.5 CHAPISCO	36
3 METODOLOGIA	40
3.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS	40
3.1.1 Cimento Portland	40
3.1.2 Cal hidratada	41

3.1.3 Agregado miúdo.....	41
3.1.4 Água	41
3.2 CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO	42
3.3 CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS NO ESTADO ENDURECIDO	42
3.4 CARACTERIZAÇÃO DOS SUBSTRATOS	43
3.5 DETERMINAÇÃO DA NOVA RANHURA.....	46
3.5.1 Considerações iniciais	46
3.5.2 Modelagem computacional	50
3.5.3 Parâmetros da modelagem.....	55
3.6 ENSAIOS DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO	56
3.6.1 Primeira etapa – Metodologias propostas	56
3.6.2 Segunda etapa – Projeto piloto	59
3.6.3 Terceira etapa – Programa experimental	60
3.7 VIABILIDADE ECONÔMICA	62
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	64
4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS DA ARGAMASSA	64
4.2 CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS	65
4.2.1 Ensaios no estado fresco.....	65
4.2.2 Ensaios no estado endurecido	67
4.3 CARACTERIZAÇÃO DOS SUBSTRATOS	69
4.4 DEFINIÇÃO DA RANHURA POR MODELAGEM MATEMÁTICA.....	73
4.4.1 Análise do ângulo α da ranhura.....	74
4.4.2 Análise da profundidade da ranhura (H)	76
4.4.3 Definição da nova ranhura.....	78
4.5 ADERÊNCIA À TRAÇÃO (ETAPA 1 – TESTE INICIAL)	79
4.6 ADERÊNCIA À TRAÇÃO (ETAPA 2 – PROGRAMA EXPERIMENTAL)	81
4.6.1. Avaliação das superfícies	82
4.6.2. Análise dos padrões de ruptura.....	85
4.6.3. Análise da Temperatura de queima dos blocos cerâmicos	92
4.6.4. Análise da efetividade da ranhura proposta.....	95
4.6.5. Viabilidade econômica etapa 2.....	96
4.7 ADERÊNCIA À TRAÇÃO (ETAPA 3 – ALTERAÇÃO DO TRAÇO)	100
4.7.1. Caracterização da argamassa.....	100
4.7.2. Aderência à tração	102

4.7.3. Viabilidade econômica etapa 3	106
5 CONCLUSÃO	108
5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	109
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	111
ANEXO A – Características geométricas dos blocos cerâmicos	126
ANEXO B – Análise estatística da Etapa 1	128
ANEXO C – Detalhamento da aderência à tração dos blocos cerâmicos da Etapa II.....	131
ANEXO D – Detalhamento da aderência à tração dos blocos cerâmicos da Etapa III.	133

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fatores que exercem influência na aderência de argamassas sobre bases porosas (CARASEK, 2010).	2
Figura 2 - Representação esquemática do mecanismo de aderência entre a argamassa e bloco cerâmico (CARASEK <i>et al.</i> , 2001).	8
Figura 3 - Fotomicrografia da interface bloco cerâmico umedecido/reboco pronto (vista do topo do bloco cerâmico após a retirada do reboco pronto). MEV-IES (imagem de elétrons secundários) (CARVALHO JR <i>et al.</i> , 2005).	9
Figura 4 – Ângulo de contato entre um sólido e um líquido (PAGNUSSAT, 2013 adaptado de Adhesion Guide).	11
Figura 5 – Medição dos ângulos de contato (adaptado de FLORES <i>et al.</i> , 2012).	12
Figura 6 – Transporte de água em uma amostra de material poroso, conforme condições a), b) e c) definidas já definidas (HALL, 1989).	15
Figura 7 – Gráfico da perda de água do revestimento AME6 aplicado sobre substratos (Sem chapisco, SC; Chapisco Industrializado, CI; Chapisco Convencional, CC) nas condições de exposição severa e de laboratório (PEREIRA <i>et al.</i> , 2013).	16
Figura 8 – Comportamento da curva x taxa de cisalhamento (BARNES <i>et al.</i> , 1989).	19
Figura 9 – Ilustração esquemática da microestrutura de uma argamassa no estado fresco (CARDOSO, 2009).	19
Figura 10 – Comportamento reológico dos materiais (FERRARIS, 1999).	21
Figura 11 – Representação esquemática da mesa de consistência. Dinicial = diâmetro interno do molde cônico; Dfinal = diâmetro médio da argamassa após o espalhamento (CARDOSO, 2009).	22
Figura 12 – Ilustração esquemática de duas argamassas distintas com comportamento de fluidos de Bingham (BANFILL, 2005).	23
Figura 13 – Representação esquemática das condições inicial e final do teste de squeeze-flow na configuração de área constante. D = Diâmetro do punção (placa superior) e da amostra; h0 = altura inicial da amostra; h = altura da amostra variável em função do deslocamento do punção superior (CARDOSO, 2009).	24
Figura 14 - Perfil típico de carga x deslocamento de um ensaio de Squeeze-flow realizado com deslocamento controlado (ANTUNES, 2005).	25
Figura 15 – Efeito do tipo de superfície do substrato cerâmico sobre a resistência de aderência à tração da argamassa de revestimento utilizada (PAGNUSSAT, 2013).	32
Figura 16 – Aspecto superficial dos substratos de concreto estampados com diferentes rugosidades. a) forma de arroz inclinada; b) forma de arroz alinhada; c) ondulada com bordas a 90°; d) ondulada com bordas arredondadas e mais afastadas; e) ranhuras irregulares; f) forma de moeda (STOLZ, 2011).	33
Figura 17 – Simulação computacional do aumento da área de contato devido ao aumento de pressão aplicada (a-e) e uma sobreposição dos gráficos de contorno (f), sendo A: área de contato real, A ₀ : área de contato nominal, E: módulo de Young e p ₀ : pressão externa (YASTREBOV <i>et al.</i> , 2015).	34

Figura 18 – Caixa de queda: a) representação gráfica do dispositivo; b) representação gráfica da vista inferior do gabarito de madeira com o sistema de guilhotina; c) vista inferior do gabarito de madeira com o sistema de guilhotina; d) vista geral do dispositivo e seus componentes (STOLZ, 2015).	35
Figura 19 – Chapisco aplicado sobre substrato cerâmico (ZANELATO, 2019).....	37
Figura 20 – Ensaio de arrancamento no bloco cerâmico.	45
Figura 21 – Ilustração dos blocos cerâmicos: a) Superfície lisa; b) Superfície com ranhuras.	46
Figura 22 – a) Ilustração do bloco cerâmico com a primeira ranhura proposta; b) Detalhe da primeira ranhura proposta.	47
Figura 23 – a) Ilustração do bloco cerâmico com a segunda ranhura proposta; b) Detalhe da segunda ranhura proposta.....	47
Figura 24 a) Ilustração do bloco cerâmico com a terceira ranhura proposta; b) Detalhe da terceira ranhura proposta.	48
Figura 25 – Dimensões determinadas da ranhura: D – Diâmetro, A – Abertura e H – Altura.....	48
Figura 26 – Parâmetros da geometria da ranhura.	49
Figura 27 – Modelo do tijolo e argamassa no <i>Abaqus</i>	50
Figura 28 – Detalhamento da ranhura no <i>Abaqus</i>	51
Figura 29 – Criação da interface de aderência entre os materiais.....	51
Figura 30 – Aplicação da carga e dos engastes.	52
Figura 31 – Definição da malha na argamassa.	53
Figura 32 – Definição da malha no bloco cerâmico	53
Figura 33 – Linha para análise da distribuição de tensão.	54
Figura 34 – Lançador vertical de argamassa. Ajustado para 1m de altura de lançamento.	57
Figura 35 – Bloco cerâmico confeccionado em extrusora. a) Antes da queima; b) Depois da queima.	58
Figura 36 – Curva granulométrica.	64
Figura 37 – Curvas de Squeeze-Flow.	65
Figura 38 – Resultados dos ensaios da argamassa no estado fresco.	66
Figura 39 – Resultado dos ensaios de resistência mecânica e densidade no estado endurecido...68	
Figura 40 – Resultado dos ensaios de absorção de água, índice de vazios e capilaridade.	68
Figura 41 – Resultados de absorvidade dos blocos cerâmicos.....	71
Figura 42 – Resistência mecânica dos blocos cerâmicos	73
Figura 43 – Modelo base da ranhura, em mm.	74
Figura 44 – Distribuição das tensões dos ângulos da ranhura.	75
Figura 45 – Distribuição das tensões das profundidades da ranhura.	77
Figura 46 – Modelo da ranhura definitiva, em mm.....	78
Figura 47 – Resultados dos ensaios de aderência à tração – Etapa 1.	79
Figura 48 – Preenchimento da ranhura pela argamassa: (a) Ranhura preenchida; (b) Ranhura com falha de preenchimento.	80
Figura 49 – Resultados dos ensaios de aderência à tração: Comparação entre superfícies.....	81
Figura 50 - Detalhamento do tipo de ruptura no ensaio de aderência à tração do bloco queimado à 750°C.....	85
Figura 51 – Ruptura do ensaio de aderência à tração: (a) Argamassa; (b) Interface Argamassa/Cerâmica.....	86

Figura 52 – Modelos do tipo de ruptura na argamassa com bloco cerâmico ranhurado: (a) Posição inicial; (b) Ruptura esperada; (c) Ruptura ocorrida.	87
Figura 53 – Bloco cerâmico na ruptura na argamassa utilizando a nova ranhura.	87
Figura 54 – Ruptura na argamassa na combinação com o bloco cerâmico utilizando a nova ranhura: (a) Ruptura parcial na cerâmica (b) Ruptura total na argamassa.....	88
Figura 55 – Modelos do tipo de ruptura na cerâmica com bloco cerâmico ranhurado: (a) Posição inicial; (b) Ruptura esperada; (c) Ruptura ocorrida.	89
Figura 56 – Ruptura no bloco cerâmico com a utilização da nova ranhura. (a) Ruptura na ligação entre a ranhura e o bloco cerâmico; (b) Ruptura na seção transversal do bloco cerâmico.	89
Figura 57 – Ruptura na seção transversal do bloco cerâmico no ensaio de aderência à tração.	90
Figura 58 – Ruptura parcial entre a argamassa e o bloco cerâmico chapiscado.....	91
Figura 59 – Comparação dos resultados dos ensaios de aderência à tração dos blocos cerâmicos queimados à 750 e 900°C.....	92
Figura 60 - Detalhamento do tipo de ruptura no ensaio de aderência à tração do bloco queimado à 900°C.....	92
Figura 61 – Resultado do ensaio de Squeeze Flow para as argamassas da etapa 3.....	100
Figura 62 - Resultados dos ensaios das argamassas da Etapa III.	101
Figura 63 – Modelo de geometria do bloco cerâmico confeccionado em cerâmica.	103
Figura 64 – Exemplo de tijolo com a nova ranhura.	103
Figura 65 – Resultado do ensaio de aderência à tração nos tijolos fabricados com a nova ranhura em cerâmica.....	104
Figura 66 – Ruptura na argamassa no ensaio de aderência à tração nos tijolos fabricados com a nova ranhura em cerâmica.	105

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Microanálises EDS, pontos 1 e 2 da Figura (CARVALHO JR <i>et al</i> , 2005).	9
Tabela 2 – Classificação das superfícies conforme o ângulo de contato (adaptado de RAMÉ-HART, 2013).	12
Tabela 3 – Fatores que influenciam a trabalhabilidade das argamassas (BAUER <i>et al</i> , 2004).	27
Tabela 4 - Ensaio para caracterização da argamassa no estado fresco.	42
Tabela 5 – Ensaio para caracterização da argamassa no estado endurecido.	43
Tabela 6 – Ensaio para caracterização dos substratos.	44
Tabela 7 – Propriedades atribuídas aos materiais.	56
Tabela 8 – Propriedades atribuída à interface.	56
Tabela 9 – Densidade real dos grãos.	64
Tabela 10 – Descrição dos traços das argamassas.	65
Tabela 11 – Absorção de água dos blocos coletados em cerâmica.	70
Tabela 12 – Absortividade dos blocos coletado em cerâmica e dos fabricados em laboratório com diferentes superfícies.	70
Tabela 13 – Área sob o gráfico da distribuição das tensões dos ângulos da ranhura.	75
Tabela 14 – Área sob o gráfico da distribuição das tensões das profundidades da ranhura.	77
Tabela 15 – Densidade real dos grãos.	96
Tabela 16 – Orçamento Argamassa 1:3 (Chapisco).	97
Tabela 17 – Orçamento aplicação do chapisco em parede interna sem vãos.	97
Tabela 18 – Orçamento aplicação do chapisco em fachada com vãos.	98
Tabela 19 – Orçamento Argamassa 1:1:6 (Massa única).	98
Tabela 20 – Orçamento Argamassa 1:2 (Massa única).	98
Tabela 21 – Orçamento execução do revestimento em massa única traço 1:1:6.	99
Tabela 22 – Orçamento execução do revestimento em massa única traço 1:2.	99
Tabela 23 – Traço das argamassas da Etapa III.	101
Tabela 24 – Orçamento da fabricação de 1m ³ de argamassa.	106
Tabela 25 – Orçamento da fabricação de 1m ² de revestimento massa única.	106
Tabela 26 – Redução do custo para execução de 1m ² de revestimento em massa única.	107

RESUMO

Problemas relacionados à aderência de revestimentos de argamassa em substratos porosos são frequentemente encontrados, principalmente por descolamento da argamassa por insuficiência de aderência. A execução do chapisco como tratamento da base é frequentemente utilizada de forma empírica para aumento da aderência entre as camadas, no entanto, elevam o custo da obra. Para corrigir problemas de aderência, diversos pesquisadores têm procurado analisar os fatores que influenciam na resistência de aderência à tração. Este trabalho insere-se na mesma linha de pesquisa, onde o objetivo principal foi identificar a influência que a nova ranhura proposta no trabalho promove na aderência do revestimento. Foi realizado no programa experimental a caracterização dos materiais utilizados: areia, cal e cimento, além dos blocos cerâmicos e argamassas confeccionados. A determinação da geometria da nova ranhura foi realizada por modelagem computacional pelo método dos elementos finitos onde diversos parâmetros foram analisados. Para a análise de desempenho experimental, foram testadas estatisticamente duas metodologias de preparo do ensaio: Lançamento vertical e confecção de corpos de prova em extrusora de laboratório. Após a verificação da viabilidade das metodologias, foram realizados ensaios de aderência à tração em blocos cerâmicos queimados em duas temperaturas, 750°C e 900°C, além de utilizar três condições de saturação do substrato. Foram utilizados inicialmente três traços de argamassa: 1:1:6, 1:3 e 1:2. Todas as variáveis acima foram combinadas para aplicação em bloco com superfície lisa, ranhurada ou chapiscada. Em etapa posterior também foram realizados ensaios de aderência na nova ranhura com pequenas modificações usando aditivo químico no traço 1:1:6. Os resultados obtidos indicam que a utilização de traços de argamassa para revestimento com maior retenção de água e principalmente resistência mecânica apresentam potencial de substituição do chapisco na execução de obras, onde o desempenho da aderência foi satisfatório e apresenta diminuição do custo de execução. As metodologias utilizadas durante a execução do programa experimental mostraram-se efetivas e diminuíram a dispersão dos resultados. O tipo de ruptura também foi alterado na nova ranhura com predominância na camada de argamassa.

Palavras chaves: Aderência; Ranhura; Argamassa; Bloco cerâmico.

ABSTRACT

Problems related to the adherence of mortar coatings on porous substrates are often encountered, mainly due to mortar detachment due to lack of adhesion. The execution of the roughcast as base treatment is often used empirically to increase the adhesion between the layers, however, increase the cost of the work. To correct adherence problems, several researchers have sought to analyze the factors that influence tensile adhesion strength. This work is part of the same research line, where the main objective was to identify the influence of the surface of the ceramic blocks on the adhesion of the mortar coatings, besides proposing a new slot that provides the mortar macro-anchorage in the substrate. It was performed in the experimental program the characterization of the materials used: sand, lime and cement, besides the ceramic blocks and mortars made. The geometry of the new slot was determined by computational modeling using the finite element method where several parameters were analyzed. For the experimental performance analysis, two test preparation methodologies were statistically tested: Vertical launch and specimen confection in laboratory extruder. After verifying the viability of the methodologies, tensile bond tests were performed on ceramic blocks burned at two temperatures, 750°C and 900°C, in addition to using three substrate saturation conditions. Initially three traces of mortar were used: 1:1:6, 1:3 and 1:2. All of the above variables have been combined for block application with smooth, grooved or roughcast surface. In the later stage, adhesion tests were also performed on the new slot with minor modifications using chemical additive in the 1:1:6 trait. The results indicate that the use of the 1:2 and 1:1:6 traces with chemical additives has potential to replace roughcast in the execution of works where the adhesion performance is satisfactory and the execution cost is reduced. The methodologies used during the execution of the experimental program were effective and reduced the dispersion of the results. The type of rupture was also changed in the new slot with predominance in the mortar layer.

Keywords: Adherence; Slot; Mortar; Ceramic block.

1 INTRODUÇÃO

Os revestimentos de argamassa estão entre os revestimentos de paredes mais utilizados, principalmente no Brasil, onde são usados tanto em revestimentos internos quanto em fachadas (BOTAS *et al.*, 2017). A utilização de uma camada de argamassa sobre a estrutura de concreto também é comum em muitos países, principalmente em edificações de maior porte e de grande exposição, já que protegem as estruturas e alvenarias (MALHEIRO *et al.*, 2011).

Mesmo com o uso difundido e sua extensa utilização ao longo da história, os revestimentos de argamassa ainda apresentam diversas manifestações patológicas, onde se destacam o fissuramento e os descolamentos por falta de aderência entre as camadas constituintes do sistema de revestimento, contribuindo para diminuição da vida útil das estruturas (NOGUEIRA *et al.*, 2018).

A aderência é um sistema altamente complexo e dependente de diversos fatores, dentre eles, as condições de cura à que o revestimento está exposto; a técnica de aplicação da argamassa de revestimento; as características e propriedades do material poroso que servirá como base e as propriedades da argamassa e de seus materiais constituintes (STOLZ *et al.*, 2016).

Os mecanismos de aderência são condicionados pela microancoragem e pela macroancoragem, que tem seu efeito ainda pouco estudado devido à grande variabilidade que o tipo de substrato ou argamassa impõe ao sistema. A microancoragem é criada pela absorção da pasta de cimento pelos poros do substrato, que ao hidratar promove uma ancoragem mecânica da argamassa no substrato (RECENA, 2008). A efetividade da microancoragem está diretamente relacionada com a capacidade de retenção da argamassa e a absorção de água do substrato (GOVIN *et al.*, 2016; BERTRAND *et al.*, 2004; JENNI *et al.*, 2005). Já a macroancoragem se dá pela penetração da argamassa nas protuberâncias do substrato. A efetividade da macroancoragem está diretamente relacionada com as propriedades reológicas da argamassa (CARDOSO *et al.*, 2014) e da rugosidade do substrato (STOLZ, 2015).

Considerando o elevado número de variáveis que influenciam na aderência à tração de argamassas em substratos porosos, a Figura 1 classifica as diferentes fontes de influência na aderência.

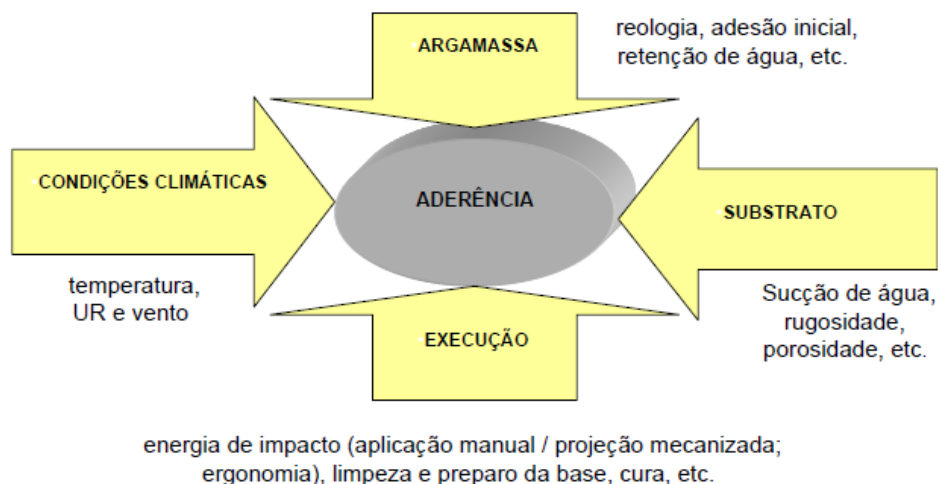


Figura 1 – Fatores que exercem influência na aderência de argamassas sobre bases porosas (CARASEK, 2010).

Considerando este complexo sistema de aderência, são necessárias pesquisas que aprofundem os conhecimentos relativos à cada uma das variáveis, assim será possível o melhor entendimento dos mecanismos de aderência. Ao analisar isoladamente determinadas variáveis, identifica-se na bibliografia grande dificuldade na homogeneidade das variáveis restantes. A dificuldade de isolamento das variáveis promove um aumento na dispersão dos resultados, na faixa dos 20% para a aderência. A diminuição da dispersão dos resultados é necessária para maior controle dos dados na pesquisa, assim, a utilização de metodologias alternativas, como o lançamento vertical de argamassa, tem sido essencial para diminuir a dispersão e possibilitar a análise da influência de determinadas variáveis (STOLZ *et al.*, 2016).

Dentre as variáveis ainda pouco exploradas pela literatura encontra-se a superfície dos blocos cerâmicos. Dentre os trabalhos que avaliaram a presença da ranhura em blocos cerâmicos destacam-se Pagnussat (2013) e Silveira (2014). Ambos os autores verificaram incremento na aderência com a presença da ranhura, no entanto, a justificativa dada pelos autores foi o aumento da área de

contato e não foram realizadas análises mais específicas das causas do aumento da aderência, já que não era o objetivo principal de seus respectivos trabalhos.

Assim, como as ranhuras, a execução do chapisco é frequentemente utilizada nas edificações brasileiras. Seu uso recorrente deve-se ao fato da maior aderência que o mesmo promove tanto na adesão inicial da argamassa ao substrato, quanto na resistência de aderência após o endurecimento (ZANELATO *et al.*, 2019). No entanto, a necessidade de execução de mais uma etapa durante a execução do revestimento aumenta os custos dos revestimentos de argamassa. Os mecanismos que promovem o aumento da aderência, quando o chapisco é aplicado, precisam ser melhor detalhados para avaliação da real necessidade de sua aplicação.

A partir dessa lacuna, o presente projeto buscou analisar a influência da superfície dos blocos cerâmicos na aderência à tração, além disso, foi analisada uma nova morfologia de ancoragem onde as ranhuras proporcionam uma macroancoragem da argamassa no substrato. A proposta desta ranhura é diminuir a importância da aderência por microancoragem, que possui diversas variáveis, e dar maior importância a resistência mecânica por macroancoragem.

A determinação da nova ranhura foi realizada utilizando o método dos elementos finitos. A utilização deste método é muito comum e eficiente em análises estruturais, mas sua aplicação em revestimentos ainda é rara. O *software Abaqus*, que usa o método dos elementos finitos, foi utilizado a fim de determinar qual geometria da ranhura é a mais eficiente para realização dos testes experimentais.

1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho foi avaliar a influência da nova ranhura do bloco cerâmico, proposta neste trabalho, promove na aderência de revestimentos de argamassa.

Como objetivo específico, realizar a verificação, pelo método dos elementos finitos, da distribuição das tensões durante o tracionamento da argamassa no

ensaio de aderência. Propor, também pelo método, a geometria da nova ranhura em blocos cerâmicos.

Realizar a caracterização dos materiais utilizados na confecção da argamassa, dos blocos cerâmicos e das argamassas, tanto no estado fresco quanto no endurecido.

Avaliar como o ensaio de aderência à tração é influenciado pela utilização de diferentes traços de revestimento, pela saturação do bloco cerâmico e temperatura de queima do bloco cerâmico.

Verificação dos custos na substituição do chapisco na execução do revestimento em ambientes internos e externos.

1.2 INEDITISMO DO TRABALHO

A principal contribuição inédita proposta pelo trabalho é a utilização de uma nova geometria de ranhura. A nova geometria de ranhura no bloco cerâmico proposta no trabalho visa aumentar a importância da macroancoragem tornando-a a principal fonte de resistência de aderência entre argamassa e bloco cerâmico. A macroancoragem se dá pelo preenchimento da argamassa no interior da ranhura ainda no estado fresco criando uma ancoragem mecânica quando endurecida.

1.3 JUSTIFICATIVA

A importância de aprofundar os conhecimentos sobre a aderência dos revestimentos de argamassa em substratos cerâmicos justifica-se pelo fato da utilização, ainda acentuada, destes materiais nas edificações brasileiras.

A pouca difusão dos conhecimentos gerados por trabalhos científicos e a dificuldade de aplicação de algumas práticas em obras geram manifestações patológicas, em especial o descolamento do revestimento. Todas essas manifestações patológicas podem ser evitadas com o devido preparo da base, no entanto, existe uma série de complicações e custos que prejudicam a sua correta execução.

O preparo da base vem passando por diversos aprimoramentos, como a correta formulação do chapisco a ser aplicado, ou mesmo a forma de aplicação, com o uso de equipamentos mecânicos, são fatores que favorecem e facilitam sua aplicação. No entanto, mesmo com todos esses avanços, ainda existem fatores a serem superados como a aplicação em elevadas alturas, que exigem o uso de andaimes, aumentando consideravelmente o custo de execução da construção. Neste contexto, uma alternativa para aumentar a aderência do substrato com a argamassa ou até mesmo substituir o uso de chapisco, é o aprimoramento da área superficial do bloco cerâmico, mais especificamente, as ranhuras.

Vale ressaltar que a economia da substituição da execução do chapisco pela utilização da nova ranhura vai além do custo unitário. Podem ser destacados como vantagens na substituição:

- Economia de tempo no cronograma da obra visto que a execução do chapisco demanda de um período de cura além do tempo de execução.
- Diminuição do desperdício e economia na limpeza visto que a argamassa de chapisco é altamente fluida e de difícil controle de dispersão durante o lançamento.
- Diminuição dos riscos inerentes aos serviços de fachadas com o uso de andaimes, onde há a necessidade de mão de obra qualificada para execução de tais serviços.

O tema é de total interesse do proponente e da região Norte Fluminense, reconhecida pela forte produção de blocos cerâmicos. Estima-se a presença de 120 indústrias cerâmicas na região, gerando a produção de aproximadamente 60 milhões de peças por mês (VIEIRA *et al.*, 2016). A implantação de uma nova ranhura na fabricação dos blocos cerâmicos, que aumente a aderência sem o aumento do custo de produção, será um grande avanço tecnológico para a região.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 MECANISMOS DE ADERÊNCIA

Em 1933, Voss demonstrou a importância da retenção de água da argamassa e da absorção de água do substrato na extensão de aderência, isto é, na quantidade de defeitos apresentada na interface argamassa/substrato. O estudo foi realizado investigando o fluxo de água de argamassas com diferentes composições aplicados sobre substratos com diferentes capacidades de sucção. Estudos similares foram realizados por Palmer e Parsons (1934), utilizando seis tipos de substratos com diferentes capacidades de absorção de água e rugosidade, além de quinze matrizes cimentícias com diferentes propriedades. Estes autores foram os responsáveis pela introdução do conceito de extensão de aderência na área de argamassas, onde foi definida como: “fração ou porcentagem de área do substrato recoberta pela matriz cimentícia”. Conceito que ainda é utilizado nos estudos de aderência, quanto maior a extensão de aderência menor será a quantidade de defeitos na interface argamassa/substrato.

A análise da aderência dos revestimentos de argamassa foi impulsionada devido à reconstrução da Europa pós Segunda Guerra Mundial e o surgimento das técnicas de análise da microestrutura formada, através dos ensaios de difratometria de raios X (DRX) e microscopia eletrônica de varredura (MEV).

Farran (1956) descreveu a interface entre a argamassa e o substrato com o auxílio do DRX e verificou a influência da natureza mineralógica na aderência. Segundo o autor, a aderência é resultado de três tipos de ligações: (a) forças de atração; (b) ancoragem mecânica; e, (c) ligações químicas; podendo ocorrer de forma simultânea ou isolada dependendo dos constituintes das fases envolvidas.

Estudos realizados por Maso (1961) identificaram a importância da aderência no nível de resistência dos sistemas cimentícios multifásicos ao descrever o processo de formação da interface agregado-pasta. Segundo o autor, a ruptura dos ensaios de resistência à tração comumente ocorre na interface

porque, próximo ao substrato, a argamassa possui menor resistência e descontinuidades que intensificam os níveis de tensão.

Segundo Grandet (1971), ao estudar a aderência de argamassa em substratos cerâmicos, verificou que a interface entre os dois materiais era constituída basicamente por cristais de etringita. Segundo o autor, a quantidade de hidróxido de cálcio sofre a influência do teor de água na superfície do substrato. A portlandita pode ser encontrada em substratos umedecidos ou com superfície vítreas, já para substratos com superfície seca e absorventes a mesma não é encontrada.

A interface porosa identificada entre a argamassa e substratos porosos é explicada segundo Monteiro *et al.* (1985) devido ao acúmulo de água na interface que impede o contato molecular entre a superfície e as partículas. O acúmulo de água é explicado pela formação de um filme de água na superfície de substratos de baixa absorção de água no momento em que entram em contato com a argamassa.

Com base na bibliografia pesquisada, é possível indicar duas linhas de pensamentos divergentes em relação à constituição da interface do substrato com a argamassa. A primeira linha, defendida por Voss (1933), Chase (1984) e Lawrence & Cao (1987), propõe que a aderência é dada pela formação de uma camada rica em cálcio na interface Substrato/Argamassa, com a precipitação de cristais de hidróxido de cálcio e eventualmente carbonato de cálcio, acompanhada da deposição de cristais de trissulfoaluminato de cálcio hidratado (etringita) e silicatos de cálcio hidratado (C-S-H), considerando apenas argamassa de cimento ou mistas.

A segunda linha, defendida pelos pesquisadores do INSA (Institut National de Sciences Appliquées), como Detriché, Farran, Grandet e Maso, propõem que a constituição da interface Substrato/Argamassa é composta principalmente por cristais de etringita, mesmo em tempos de cura superiores à 28 dias.

Carasek (1996), utilizou um sistema real onde foi aplicado argamassa sobre blocos cerâmicos e confirmou a teoria dos pesquisadores franceses ao realizar um trabalho experimental. O ensaio utilizando o microscópio eletrônico de Varredura

apontou que o intertravamento dos cristais de etringita nos poros do substrato foi o principal responsável pela aderência. A Figura 2 apresenta, esquematicamente, o referido mecanismo de aderência.

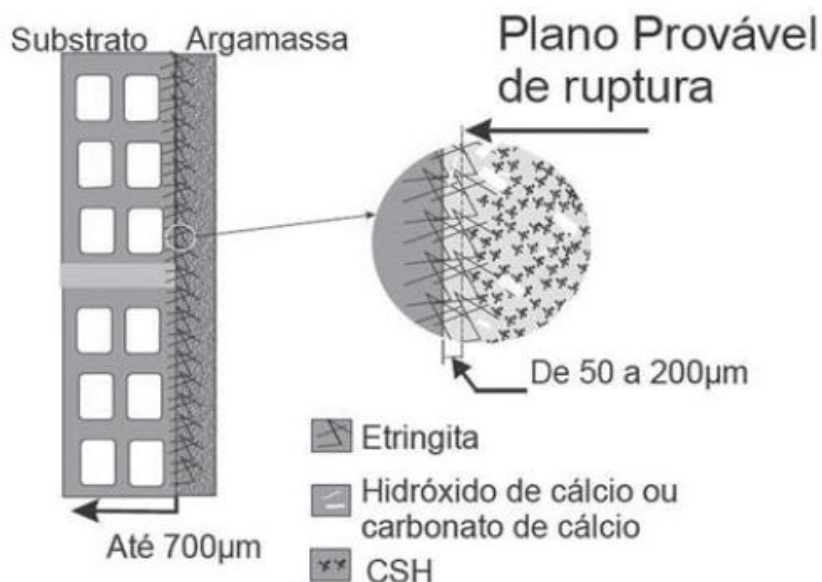


Figura 2 - Representação esquemática do mecanismo de aderência entre a argamassa e bloco cerâmico (CARASEK *et al.*, 2001).

Também utilizando MEV-EDS, Carvalho Jr *et al.* (2005), verificou a presença de etringita, C-S-H e portlandita na superfície do bloco cerâmico após a retirada da camada de argamassa de revestimento. A fotomicrografia foram obtidas em corpos de prova com idades entre 210 e 270 dias e pode ser observada na figura 3. A tabela 1 indica a análise por EDS nos pontos 1 e 2 da fotomicrografia.

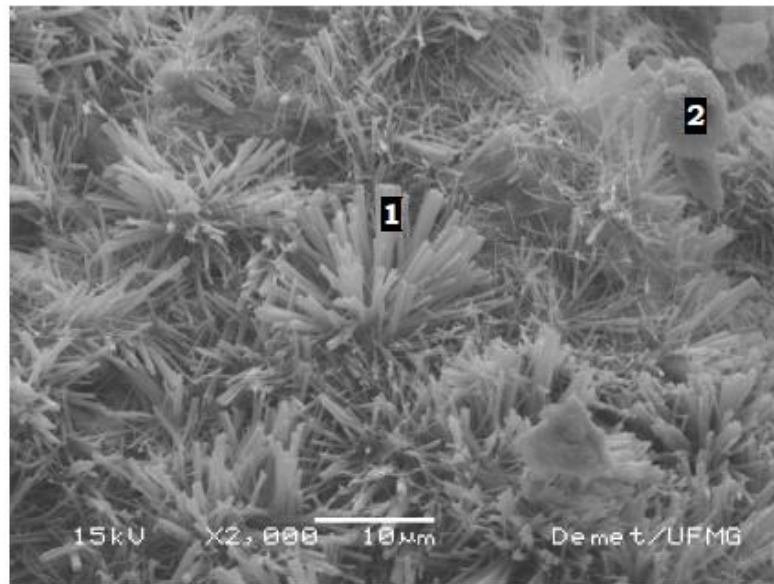


Figura 3 - Fotomicrografia da interface bloco cerâmico umedecido/reboco pronto (vista do topo do bloco cerâmico após a retirada do reboco pronto). MEV-IES (imagem de elétrons secundários) (CARVALHO JR *et al.*, 2005).

Tabela 1 – Microanálises EDS, pontos 1 e 2 da Figura (CARVALHO JR *et al.*, 2005).

Miniárea ou ponto	Al ₂ O ₃ (%)	SiO ₂ (%)	SO ₃ (%)	K ₂ O (%)	CaO (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	Σ (%)	Interpretação (fases prováveis)
1	11,2	30,0	15,6	2,1	39,2	1,9	100,0	etringita + CSH
2	14,8	25,3	17,7	1,8	39,2	1,2	100,0	portlandita+CSH

Segundo Pagnussat (2013), estudos sobre os fenômenos que ocorrem na zona de transição vêm sendo realizados com o intuito de melhorar a aderência de sistemas cimentícios multifásicos. No entanto, ainda existem diversas dúvidas sobre os processos de formação da interface e sua influência na aderência.

2.1.1 Adesão inicial

A adesão inicial das argamassas de revestimento com a superfície dos substratos é influenciada diretamente pela reologia da argamassa, já que o

lançamento é executado ainda no estado fresco (ROSELLO, 1976 *apud* CANDIA, 1998).

A reologia da argamassa influencia diretamente na tensão superficial presente na superfície do substrato no instante em que entram em contato, tensão esta que resultará nas forças de adesão que devem ser “[...] fortes e estáveis o suficiente para assegurar que essa interface formada não seja o elo fraco da união dos materiais.” (PAES, 2004). A influência da reologia na tensão superficial é explicada pela teoria das ligações interfaciais entre um sólido (substrato) e um líquido (a pasta de argamassa).

Segundo Paes (2004), para que a adesão inicial tenha bom desempenho é necessário que o líquido cubra ao máximo a superfície do sólido, minimizando os defeitos na interface. Ainda segundo o autor a “molhagem” da superfície do sólido só irá ocorrer se o líquido aplicado possuir baixa viscosidade, além disso, é necessário que o processo resulte em um decréscimo da energia livre no sistema. Esta propriedade dos líquidos, denominada “molhabilidade”, é influenciada pela redução do ângulo de contato, quanto menor o ângulo de contato, menor a tensão superficial e maior a molhabilidade. Existem diversos fatores que influenciam a redução do ângulo de contato, entre eles o uso de aditivos incorporadores de ar e retentores de água (STOLZ, 2015) ou o aumento da plasticidade obtido pela adição de cal (GONÇALVES, 2004). Além disso, segundo Tittarelli *et al.* (2015), alterações na composição da argamassa como o aumento do teor de cimento podem favorecer a adesão, já que provoca uma redução na tensão superficial. Aguilar (2007) ressalta que a tensão superficial “não é uma interação física que atua no sistema. É apenas um tipo de equilíbrio entre forças que já existem no sistema, que define o tamanho e a forma da superfície”.

Lozano-Lunar *et al.* (2019), reforça a importância de relacionar o ângulo de contato com o comportamento da energia de superfície e das tensões superficiais dos materiais envolvidos. Segundo Romero (2010), o ângulo de contato é “o ângulo formado entre um líquido e um sólido na interface sólido/líquido/vapor”. O autor considera que alterações nas propriedades da superfície do sólido podem gerar uma alteração no ângulo de contato. A figura 4 ilustra o contato de um líquido com um sólido, gerando um contato superficial.

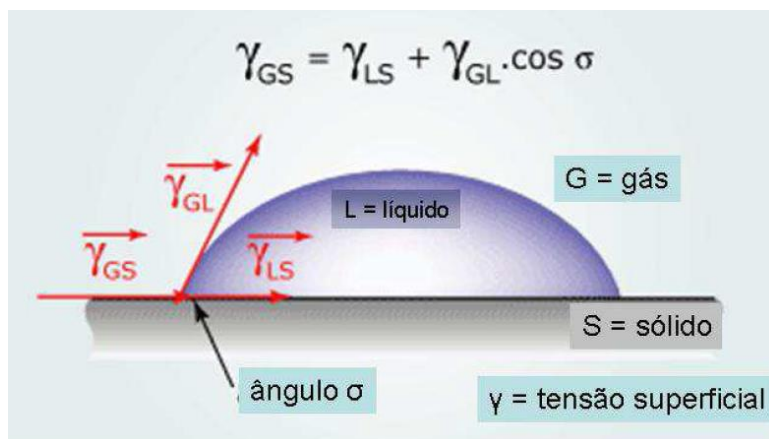


Figura 4 – Ângulo de contato entre um sólido e um líquido (PAGNUSSAT, 2013 adaptado de Adhesion Guide).

Segundo Pagnussat (2013), se o líquido mover-se livremente até o equilíbrio de forças, o grau de molhamento parcial pode ser determinado considerando o equilíbrio das forças entre as três tensões superficiais, expressas através da equação presente na figura 4. No entanto, o modelo é simplificado considerando as variáveis no contato de argamassas com substratos.

A molhabilidade dos substratos varia em função da rugosidade, a qual altera o ângulo de contato, além de sua composição química (LOZANO-LUNAR *et al.*, 2019). A tabela 2 classifica as superfícies dos substratos de acordo com o ângulo de contato obtido, quanto menor o ângulo de contato, melhor a molhabilidade e melhor a extensão de aderência.

Tabela 2 – Classificação das superfícies conforme o ângulo de contato (adaptado de RAMÉ-HART, 2013).

Propriedade da Superfície	Molhagem da Superfície	Ângulo de Contato
superhidrofílico	Total	$\sim 0^\circ$
hidrofílico	Grande	$< 60^\circ$
hidrofílico	Moderada	$< 90^\circ$
hidrófoba	Baixa	$> 120^\circ$
superhidrofóbica	Muito Baixa	$> 150^\circ$
superhidrofóbica	Nenhuma	180°

Segundo Ramé-Hart (2013), o termo “Trabalho de adesão” define o índice de molhagem de um líquido sobre um sólido. Ainda segundo autor, as teorias de forças de Van der Waals e adsorção podem ser suficientes para garantir um bom desempenho de adesão sólido/líquido. No entanto, o autor não menciona em seu trabalho o comportamento dos líquidos aplicados sobre sólidos porosos.

O ângulo de contato pode ser medido através de equipamentos específicos. O equipamento deve realizar o lançamento da gota sobre a superfície a ser analisada enquanto uma câmera digital de alta precisão deve fazer o registro fotográfico. Stolz *et al.* (2015) analisou as fotografias com o auxílio do Autocad por exemplo. A Figura 5 ilustra o comportamento de tintas auto-limpantes e vernizes (FLORES *et al*, 2012).



Figura 5 – Medição dos ângulos de contato (adaptado de FLORES *et al*, 2012).

O guia da Specialchem (2011)¹ ressalta que além da tensão superficial e a viscosidade, outros aspectos como a microestrutura (forma e tamanho dos poros) da superfície do substrato também irão influenciar a molhagem da superfície do sólido. As irregularidades e os poros presentes na superfície do substrato podem provocar a presença de defeitos na interface entre os materiais, não sendo assim completamente preenchido pelo material adesivo. Portanto, é evidente que a superfície efetiva de contato entre os materiais é menor que a superfície real do substrato.

2.1.2 Transporte de água

Os mecanismos de aderência da argamassa sobre substratos porosos podem ser identificadas por quatro etapas distintas: primeiramente, durante a adesão inicial do substrato com a argamassa dando início à sucção capilar; a segunda etapa é identificada pelo transporte dos materiais finos para a interface consequência do fluxo capilar; em sequência, a umidade do substrato e da argamassa entram em equilíbrio; por fim, ocorre a hidratação do cimento e formação de uma fase sólida coesiva entre a argamassa e o substrato (FAIVAS *et al.*, 2019).

Como pode ser observado no parágrafo anterior, três das quatro etapas estão diretamente ligadas com o transporte de água da pasta ainda no estado fresco para o substrato. Além disso, Antunes (2005) reforça que o desenvolvimento da aderência está relacionado com o transporte de água contendo aglomerantes da argamassa para o substrato

Diversos autores (CANDIA 1998; SCARTEZINI E CARASEK 2003), ressaltam que a aderência entre a argamassa de revestimento e o substrato é resultado de um fenômeno essencialmente mecânico. Este mecanismo pode ser definido pela “[...] transferência de água que ocorre entre a argamassa e o substrato.” (SCARTEZINI E CARASEK, 2003), o que viabiliza a entrada dos grãos de cimento nos poros da alvenaria. Ao hidratar estes grãos precipitam hidróxidos e silicatos que irão promover a microancoragem do revestimento. A pasta que é

absorvida pelo substrato contém os grãos de cimento que são encontrados em dissolução ou em estado coloidal (FAIVAS *et al*, 2019).

Outro aspecto importante na microancoragem da argamassa com o substrato é entender como ocorre o transporte de água da argamassa para o substrato, que devem ser analisados como sistemas de poros. Segundo Carasek (1996), “o sistema de poros do substrato é modelado através de um conjunto de tubos cilíndricos paralelos independentes, abertos, perpendiculares à superfície da argamassa, de raios constantes ao longo do tempo e inicialmente vazios”. Conforme ressalta Moura (2007), os poros da argamassa também devem ser modelados como tubos cilíndricos independentes, porém os mesmos possuem poros de diâmetros variáveis por serem originários dos vazios formados pelos grãos de cimento e agregado, que inicialmente encontravam-se saturados.

Devido a diversificada distribuição do diâmetro dos poros, Scartezini e Carasek (2003) classificou a estrutura dos poros da seguinte forma:

- a) Microporo – Diâmetro $< 0,1 \mu\text{m}$;
- b) Poro capilar – $0,1 \mu\text{m} < \text{Diâmetro} < 20 \mu\text{m}$;
- c) Macroporo – Diâmetro $> 20 \mu\text{m}$;
- d) Cavidades fechadas – Poros não acessíveis pelo exterior.

A teoria dos poros ativos é utilizada para explicar o transporte de água, pois relaciona a capacidade de absorção dos substratos, a capilaridade e a capacidade de retenção de água das argamassas. Segundo Scartezini e Carasek (2003), os poros ativos são aqueles que “[...] possuem força capilar suficiente para exercer a ação de sucção da água”. Gallegos (1995) define, de forma similar à Scartezini e Carasek, que os poros ativos possuem raio variando entre $0,1 \mu\text{m}$ e $10 \mu\text{m}$. Os poros com valores de raio inferiores, apesar de exercerem grande força de sucção, possuem baixa representatividade no volume total de água absorvida reduzindo assim sua influência na aderência (MOURA, 2007).

A tensão superficial da água, fenômeno físico ocorrido pelo desequilíbrio de pressão, somada à força de sucção dos substratos, relacionada com o diâmetro dos poros do substrato, resulta na entrada de água nos poros do substrato

enquanto a pressão externa é superior à interna (CENTRE SCIENTIFIQUE DE LA CONSTRUCTION, 1982).

Paes (2004) citando Hall (1989) ressalta que o transporte de massa, em materiais de construção, ocorre com maior frequência nas três condições seguintes:

- a) Fluxo de massa horizontal, com o transporte de água independente da ação da gravidade;
- b) Fluxo de massa vertical, com o transporte de água total resultante da adição das forças gravitacional e capilar;
- c) Fluxo de massa vertical, com transporte de água total resultante da ação das forças gravitacional e capilar, no entanto, com os efeitos absorção capilar e da gravidade em sentido opostos.

A figura 6 ilustra as três condições citadas.

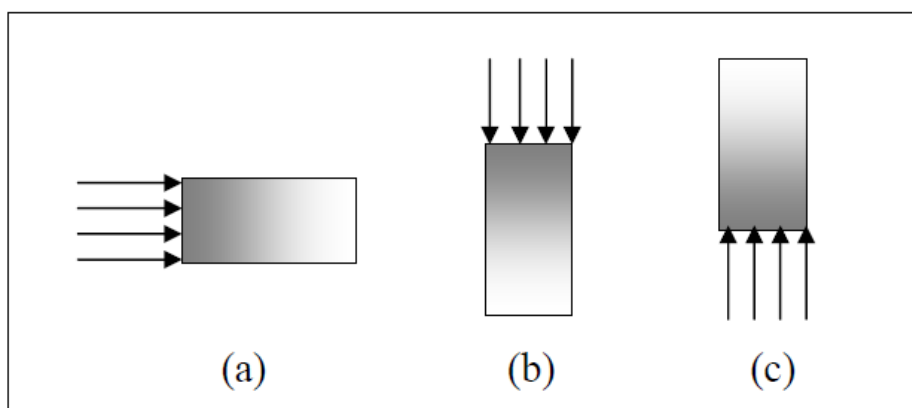


Figura 6 – Transporte de água em uma amostra de material poroso, conforme condições a), b) e c) definidas já definidas (HALL, 1989).

Hall (1989) ainda ressalta que nas condições usuais de aplicação, a maior parte dos materiais de construção sofrem pouca influência da força gravitacional, portanto, as condições a), b) e c) são equivalentes quanto à absorção de água.

Pereira *et al.* (2013) avaliou a perda de água da argamassa por absorção do substrato e por evaporação. Os autores utilizaram três diferentes preparos da base (Chapisco industrializado, chapisco convencional e sem chapisco) e duas condições de exposição (condições severas com temperaturas superficiais de até

67°C e condições normais de laboratório). Foram encontrados resultados similares para o uso de chapisco industrializado e o sem chapisco, já para o chapisco convencional a perda de água foi ligeiramente maior. Já as condições de exposição causaram grande influência na perda de água, que podem ser relacionados com a evaporação. A figura 7 apresenta as curvas com os percentuais médios da perda de água total.

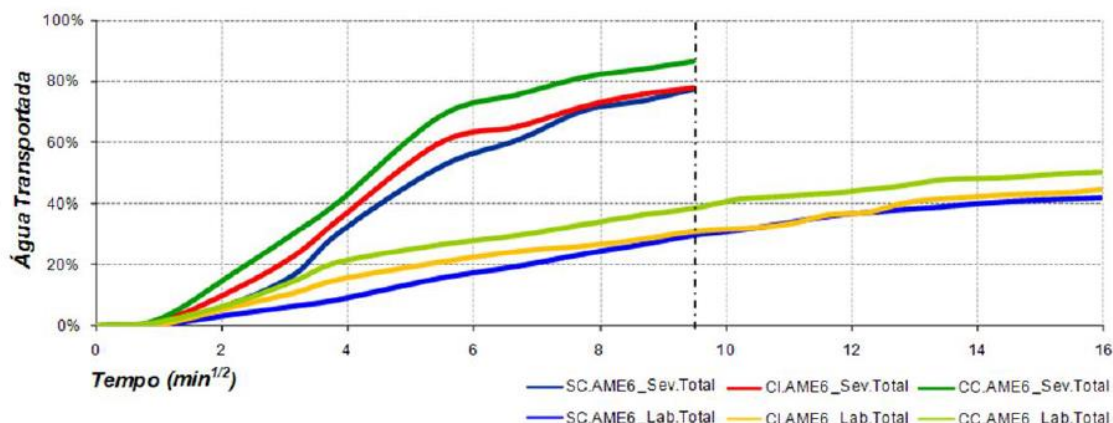


Figura 7 – Gráfico da perda de água do revestimento AME6 aplicado sobre substratos (Sem chapisco, SC; Chapisco Industrializado, CI; Chapisco Convencional, CC) nas condições de exposição severa e de laboratório (PEREIRA *et al.*, 2013).

Assim sendo, todo o transporte de água da pasta para o substrato está condicionado à uma complexa dinâmica que envolve fatores relacionados ao substrato (quantidade, forma e diâmetro dos poros capilares e condições de superfície), à argamassa (seus aspectos reológicos e seus materiais constituintes) e às condições de cura. Identificar a influência de cada um desses fatores isoladamente ou em conjunto tem sido o objetivo de muitos pesquisadores, tema que ainda parece abranger um longo espectro de trabalhos científicos e experimentais (PAGNUSSAT, 2013).

2.2 INFLUÊNCIA DAS ARGAMASSAS

O desempenho dos revestimentos de argamassa sofre influência de diversos fatores, dentre eles: as propriedades dos substratos onde o revestimento será aplicado (STOLZ *et al.*, 2016), pelas propriedades reológicas das argamassas utilizadas (ANTUNES, 2005), pelos materiais constituintes da argamassa (CARDOSO, 2009), pelo procedimento de mistura (FRANÇA *et al.*, 2019) e pelas condições de cura (MOURA, 2007). Pereira *et al.* (2013) destaca ainda que “conhecer os materiais, saber avaliar as propriedades dos substratos, argamassas e revestimentos, e principalmente ter capacidade de bem avaliar a interação estabelecida entre a argamassa e o substrato são preceitos básicos para se construir revestimentos eficientes e duráveis.”

2.2.1 Reologia

Reologia (rheos = fluir, logos = estudo) é o ramo da ciência que estuda a deformação e fluxo da matéria, que relaciona a tensão de cisalhamento com a deformação em determinado período de tempo (GLATTHOR e SCHWEIZER, 1994). Assim, pode-se definir que o comportamento reológico de um determinado material é representado pelas relações de fluxo ou deformação com as forças a que são submetidos.

A reologia é resultado de um sistema de forças suficientes para provocar uma deformação ou um escoamento em determinado material, ou reciprocamente, da deformação ou escoamento provocadas pela introdução de um sistema de forças (REINER, 1969).

O comportamento reológico dos materiais pode ser descrito por modelos ideais, entre eles o de fluidos newtonianos. São denominados como fluidos newtonianos os materiais que possuem relação linear entre a taxa de cisalhamento e a tensão aplicada. Segundo Cardoso *et al.* (2015) esse tipo de fluido é conhecido como viscoso ideal. Um material com este tipo de comportamento não pode sustentar deformações prolongadas, pois são aliviadas pelo escoamento.

As argamassas possuem uma alta concentração de partículas em sua composição, assim, passam a reagir mais intensamente, alterando a reologia do sistema onde o modelo ideal de Newton é substituído por modelos com comportamento não-lineares como:

- Dilatante – O aumento da taxa de cisalhamento (ou tensão) provoca o aumento da viscosidade.
- Pseudoplástico – O aumento da taxa de cisalhamento (ou tensão) provoca a diminuição da viscosidade.
- Viscoplastico (Bingham) – Existência de um valor limite de tensão de cisalhamento. Se excedido este valor, o fluido apresentará fluxo viscoso.

O modelo idealizado por Bingham para fluidos viscoplásticos é descrito pela equação 1:

$$\tau = \tau_o + \eta_p \cdot \gamma \quad (1)$$

Onde:

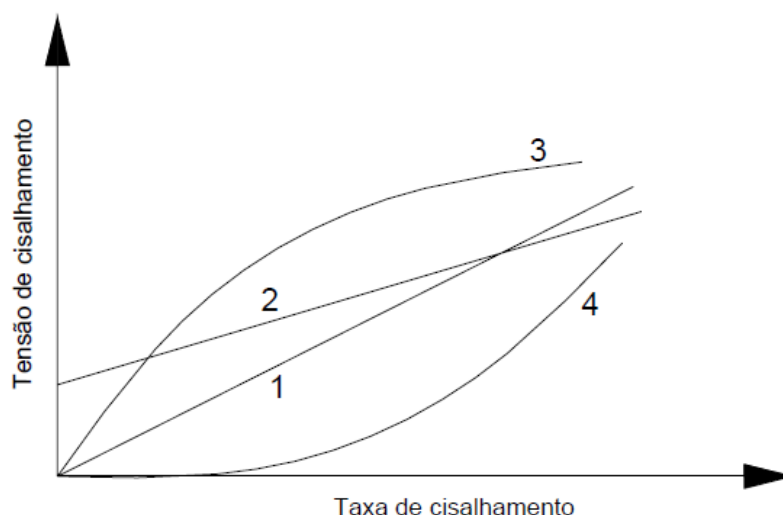
τ – Tensão de cisalhamento (Pa);

τ_o – Tensão de escoamento (Pa);

η_p – Viscosidade plástica do sistema (Pa.s);

γ – Taxa de cisalhamento (s⁻¹).

A figura 8 descreve as curvas de fluxo dos modelos citados.



1 – Fluido newtoniano, 2 – Fluido de Bingham, 3 – Fluido pseudoplástico e 4 – Fluido Dilatante
 Figura 8 – Comportamento da curva x taxa de cisalhamento (BARNES *et al.*, 1989).

2.2.1.1 Reologia das argamassas

As argamassas podem ser descritas, de modo simplificado, como suspensões multifásicas, por possuírem em sua constituição materiais como cimento, cal, areia, pozolanas, filler, fibras e bolhas de ar. Segundo Cardoso (2009) pode-se destacar na constituição das argamassas a fração “grossa” inerte (areia), com partículas entre 100 μ m e 2mm, além de uma pasta reativa de água e “finos”, geralmente cimento e cal, conforme ilustrado na figura 9.

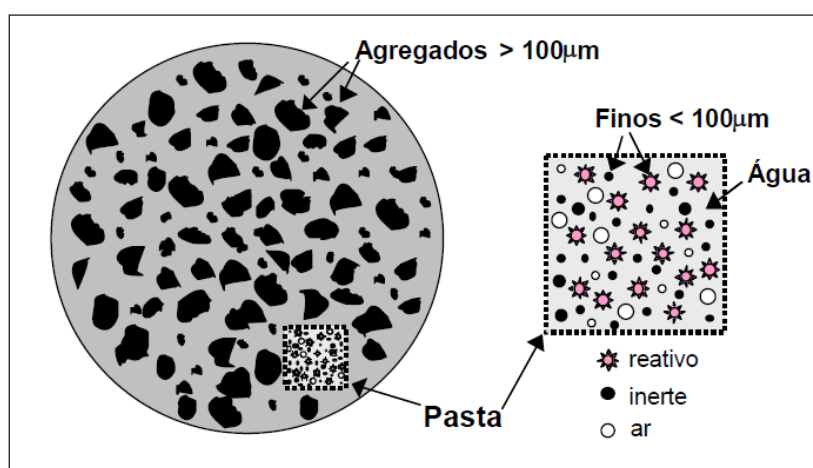


Figura 9 – Ilustração esquemática da microestrutura de uma argamassa no estado fresco (CARDOSO, 2009).

As argamassas no estado fresco são suspensões reativas, cuja viscosidade é modificada ao longo do tempo, principalmente devido à ação do cimento (HU e LARRARD, 1995). Segundo Antunes (2005) devido a todos estes constituintes citados, a extensão granulométrica das partículas é elevada, o que possibilita a atuação de fenômenos governados por forças distintas:

- a) Forças de superfície – devido às partículas pequenas (sub-micrométricas e/ou micrométricas) com área superficial específica elevada (PILEGGI, 2001).
- b) Forças mássicas – devido às partículas maiores (milimétricas) com área superficial específica pequena (PILEGGI, 2001).

Em condições de cisalhamento no estado fresco, as forças mássicas atuam predominantemente nas partículas maiores que $100\mu\text{m}$, devido ao atrito e ao impacto, já as forças de superfície atuam predominantemente nas partículas menores que $100\mu\text{m}$, devido à reação do cimento com a água, pela hidratação, a secagem, por evaporação e pelo endurecimento, também influenciarão no comportamento reológico das argamassas, onde passarão do estado fresco para o estado endurecido. Este período é caracterizado por alterações no comportamento reológico das argamassas, que se modificam em função de diversos fenômenos envolvidos, como aglomeração, dissolução, alterações no Ph, precipitação de fases hidratadas ligantes e ação de aditivos químicos. Pode-se definir então que a argamassa é um material cujas propriedades são determinadas pela interação entre a matriz fluida reativa, com os grãos grossos imersos (CARDOSO, 2009).

Cardoso (2009) ainda ressalta que as argamassas devem apresentar um comportamento pseudoplástico, onde o espalhamento, nivelamento e acabamento são facilitados. No entanto, devem apresentar elevada viscosidade e tensão de escoamento adequadas para manter-se estável após as etapas citadas. Contudo, não deve-se generalizar o comportamento ideal das argamassas, pois podem variar de acordo com a finalidade e o método de aplicação que podem requerer características particulares.

2.2.1.2 Técnicas de caracterização reológica das argamassas

Segundo Cardoso *et al.* (2014), existem diversas técnicas para avaliação da trabalhabilidade das argamassas, no entanto, muitas não são satisfatórias do ponto de vista reológico. Algumas destas técnicas correlacionam apenas um parâmetro fundamental, ou podem sofrer influência de diversos parâmetros num mesmo momento, inviabilizando assim, definir a contribuição de cada um isoladamente. Ao assumir, por exemplo, que um material tem o comportamento definido pelo modelo de Bingham (que utiliza a tensão de escoamento e a viscosidade como parâmetros fundamentais), pode-se verificar pela figura 10 que a obtenção de apenas um parâmetro não é suficiente para descrever o comportamento reológico deste material.

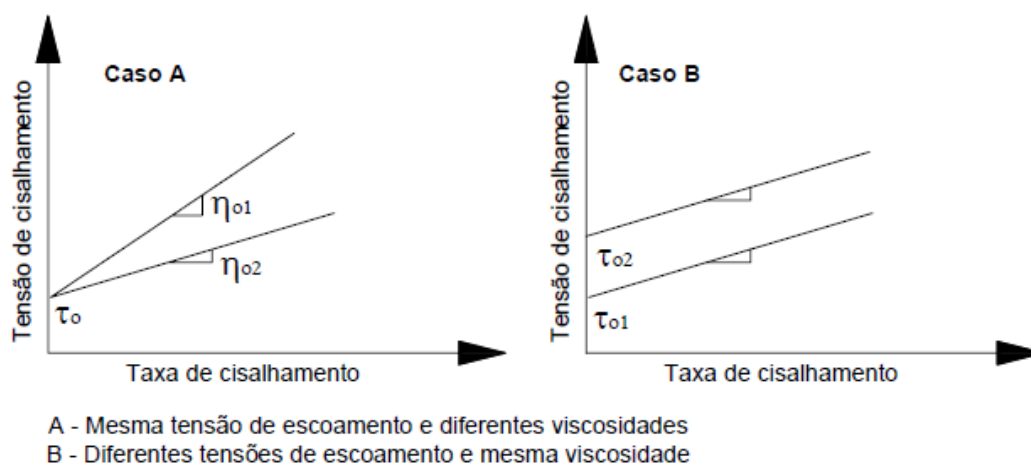


Figura 10 – Comportamento reológico dos materiais (FERRARIS, 1999).

No caso A, ambos os materiais possuem a mesma tensão de escoamento, no entanto, o comportamento é completamente diferenciado devido as viscosidades serem diferentes. Já no caso B, ambos os materiais possuem a mesma viscosidade, no entanto a diferença na tensão de escoamento torna os materiais distintos entre si.

Em contraste com a complexidade do comportamento reológico das argamassas, as técnicas usualmente utilizadas para caracterizar a reologia são simples, como o Squeeze Flow e a mesa de consistência. Existem ainda outras técnicas de avaliação como o método de Dropping Ball, penetrômetros, flow cone test, Vane test, plastômetro de Voss e Gtec Test (HOPPE *et al.*, 2007).

Mesa de Consistência

A mesa de consistência (*Flow-table*) é um ensaio dinâmico onde são aplicados golpes, através de quedas com altura fixa, que provocam o escoamento da argamassa (HACKLEY e FERRARIS, 2001). O ensaio é similar ao ensaio de abatimento (*Slump test*), onde após a remoção do molde, a argamassa escoar até que atinja o equilíbrio entre a tensão de cisalhamento e a tensão de escoamento, resultado da atuação do peso próprio (SCHOWALTER e CHRISTENSEN, 1998; FERRARIS, 1999). Sendo assim, o espalhamento inicial está relacionado com a tensão de escoamento da argamassa.

Após a retirada do molde, aplicam-se golpes que fornecem energia ao sistema provocando o escoamento da argamassa por menos de 1 segundo. A cada golpe, uma fração da energia é absorvida para superar a tensão de escoamento (deformação elástica), o restante é absorvido enquanto a argamassa escoar (viscosidade plástica), que é uma medida indireta da capacidade de dissipar energia (OLIVEIRA *et al.*, 2000). Com a diminuição da energia disponível no sistema, a tensão de cisalhamento volta a se igualar à tensão de escoamento, fazendo com que a argamassa entre em repouso (ANTUNES, 2005). A Figura 11 apresenta o espalhamento da argamassa após a retirada do molde e aplicação dos golpes.

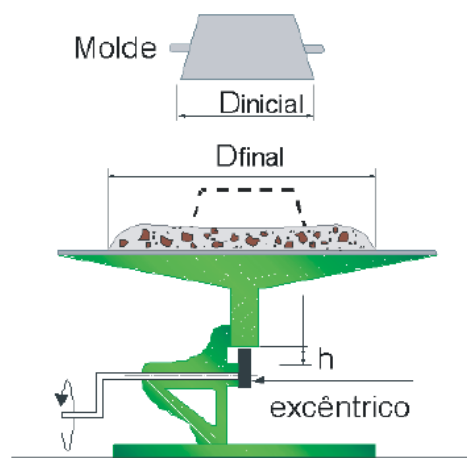


Figura 11 – Representação esquemática da mesa de consistência. Dinicial = diâmetro interno do molde cônico; Dfinal = diâmetro médio da argamassa após o espalhamento (CARDOSO, 2009).

O espalhamento obtido no ensaio é função da viscosidade plástica (η_p) e da tensão de escoamento (τ_0). O modelo de Bingham, também aceito para explicar o comportamento reológico das argamassas, relaciona essas duas grandezas, além da taxa de cisalhamento ($\dot{\gamma}$), com a tensão de cisalhamento (τ) da equação 1.

Cardoso (2009), ao considerar duas argamassas, A e B, como fluidos de Bingham, conforme ilustrado na Figura 12, observou que A apresentou tensão de escoamento maior e viscosidade plástica (inclinação da reta tensão x taxa de cisalhamento) menor do que a argamassa B. Após iniciar o fluxo, em taxas de cisalhamento menores do que determinado valor (dado pela variável x na Figura 12), a argamassa A é mais consistente do que B, isto é, necessita de maior tensão de cisalhamento. No entanto, para taxas superiores ao mesmo valor (dado pela variável x na Figura 12) ocorre uma inversão no comportamento, sendo que a argamassa A flui mais facilmente do que a argamassa B.

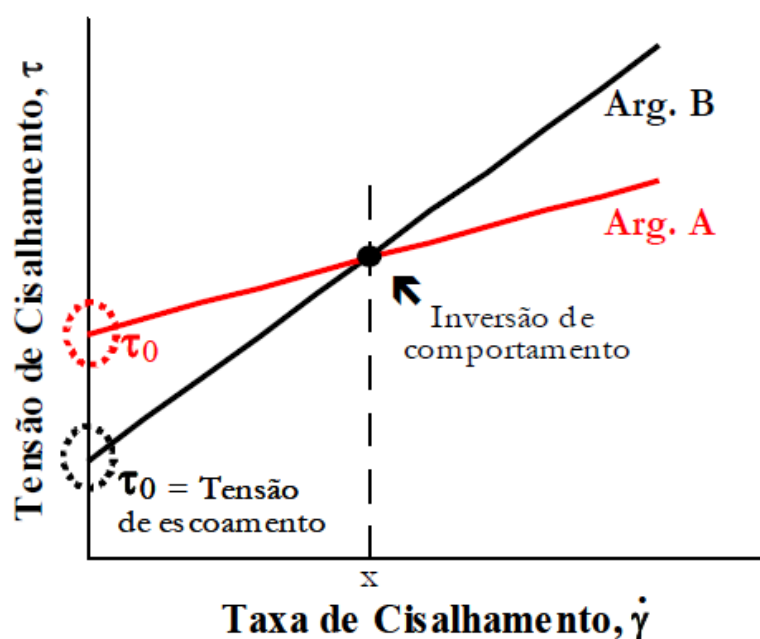


Figura 12 – Ilustração esquemática de duas argamassas distintas com comportamento de fluidos de Bingham (BANFILL, 2005).

O método apresenta a vantagem de ser dinâmico, além de considerar não só a tensão de escoamento, mas também a viscosidade do sistema. No entanto, os resultados obtidos não são suficientes para avaliar a contribuição de cada parâmetro isoladamente, além disso, os resultados obtidos são apresentados

quantitativamente na forma de índice de consistência e não em termos de unidades reológicas fundamentais (KOEHLER e FOWLER, 2003). Outro problema encontrado no método é a não reprodução das condições de aplicação práticas do material, onde são realizados lançamentos de alto impacto seguido de espalhamento sob intenso cisalhamento).

Squeeze-flow

Esta técnica é amplamente utilizada na caracterização de diversos tipos de pastas incluindo alimentos, cosméticos, compósitos poliméricos e materiais cerâmicos (BANFILL, 2006; ENGMANN *et al.*, 2005; ÖSKAN *et al.*, 1999). Sua utilização em materiais de construção é relativamente recente, sendo os trabalhos de Min *et al.*, (1994) sobre consolidação de pastas de cimento, de Toutou *et al.* (2005) sobre argamassas para extrusão, e de Cardoso *et al.* (2005) sobre caracterização reológica de argamassas cimentícias, os pioneiros sobre o tema.

Apesar de existirem outras geometrias experimentais, a forma ilustrada na figura 13 indica a geometria usualmente utilizada.

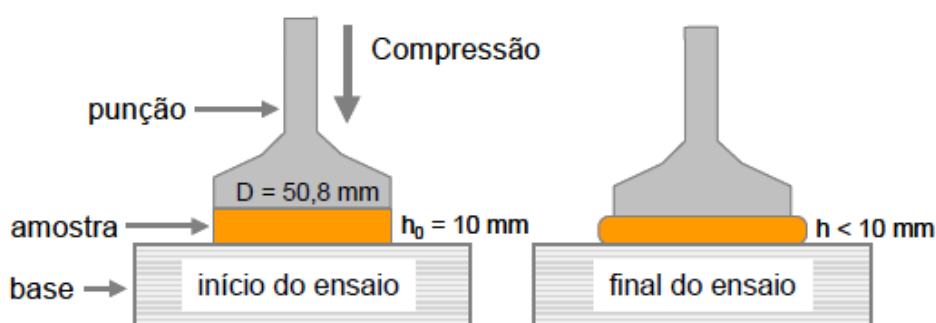


Figura 13 – Representação esquemática das condições inicial e final do teste de squeeze-flow na configuração de área constante. D = Diâmetro do punção (placa superior) e da amostra; h_0 = altura inicial da amostra; h = altura da amostra variável em função do deslocamento do punção superior (CARDOSO, 2009).

A argamassa é moldada sobre uma base de dimensão superior. O ensaio é realizado com a argamassa ainda no estado fresco e deve apresentar 10mm de espessura e 50,8mm de diâmetro. A placa superior (punção), com diâmetro igual à argamassa moldada, comprime a argamassa diminuindo sua espessura e aumentando seu diâmetro. A área de atuação do punção permanece constante e o material escoará para fora da área de atuação das placas (CAMPANELLA; PELEG, 1987; ENGMANN *et al.*, 2005; MEETEN, 2000; MIN *et al.*, 1994; ÖZKAN *et al.*, 1999; STEFFE, 1996).

Para a execução do método é necessário que o material mantenha sua forma após o desmolde, como é o caso das argamassas.

Diferentes velocidades de deslocamento do punção provocam diferentes comportamentos do material. Ao aplicar velocidades maiores, a amostra apresenta baixa resistência à deformação, enquanto que para velocidades menores o material apresenta alta resistência à deformação. Este fenômeno é resultado da segregação das fases líquidas e sólidas ocorridas nas velocidades mais baixas (CARDOSO *et al.*, 2015). Os autores ainda recomendam o uso da maior velocidade possível, desde que não comprometam a precisão do posicionamento do punção.

A figura 14 apresenta um resultado típico obtido no ensaio de Squeeze-flow, onde o deslocamento foi controlado e apresentado na forma de carga x deslocamento. Pode-se verificar pela figura a existência de três regiões bem definidas.

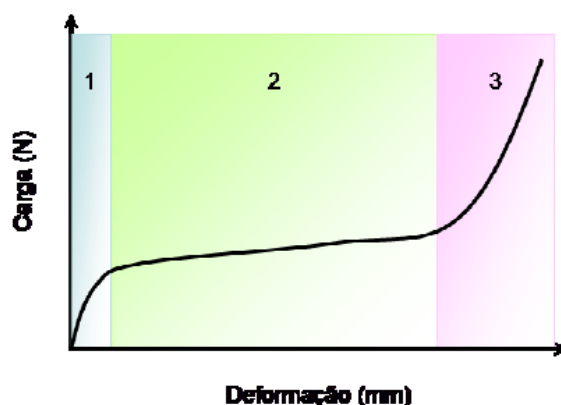


Figura 14 - Perfil típico de carga x deslocamento de um ensaio de Squeeze-flow realizado com deslocamento controlado (ANTUNES, 2005).

No estágio 1, o material sofre pequenas deformações e se comporta como um sólido, apresentando deformação elástica linear. No estágio 2, a força aplicada

é suficiente para que o material passe de deformação elástica para deformação radial elongacional e de cisalhamento. Já no estágio 3, ocorre um aumento exponencial da força necessária para um pequeno deslocamento do material (CARDOSO *et al.*, 2005).

A técnica do Squeeze-Flow tem se mostrado eficiente em comparação a outros métodos como os reômetros rotacionais. Em trabalho publicado por Cardoso *et al.* (2014), ao comparar ambos os métodos com quatorze diferentes argamassas e diferentes taxas de deslocamento, verificou que apesar de existir correlação entre os resultados obtidos por ambos os métodos, as argamassas de maior rigidez não foram adequadamente avaliadas devido ao deslizamento do material.

A técnica já possui norma específica de procedimento, NBR 15839 (2010), além disso, vem sendo a única técnica utilizada por pesquisadores para avaliação do comportamento reológico das argamassas (GIORDANI *et al.*, 2019).

2.2.2 Influência das propriedades

As argamassas de revestimento devem apresentar aderência adequada ao substrato, no entanto, diversas propriedades da argamassa podem influenciar na aderência. Além disso, outras propriedades como resistência mecânica e absorção de água são importantes para durabilidade do revestimento.

2.2.2.1 Trabalhabilidade

Segundo Alonso *et al.* (2017), a trabalhabilidade é definida como a propriedade que fornece às argamassas “[...] sua habilidade em fluir ou espalhar-se em toda a área da face do componente de alvenaria, por suas saliências, protuberâncias e fissuras”. Sendo assim, é a trabalhabilidade a principal responsável pela produtividade e a qualidade na aplicação, bem como a capacidade de adesão inicial ao substrato.

A tabela 3 apresenta uma série de fatores que podem influenciar a trabalhabilidade das argamassas.

Tabela 3 – Fatores que influenciam a trabalhabilidade das argamassas (BAUER *et al.*, 2004).

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

Para ser utilizada como revestimento, a argamassa deve apresentar trabalhabilidade e espalhamento adequados, ou seja, não pode estar muito seca ou demasiadamente fluida. Além disso, deve apresentar coesão, sem segregação e com exsudação controlada, características que facilitam sua adesão e facilidade de aplicação. No entanto, estas análises são qualitativas (ALONSO *et al.*, 2017).

2.2.2.2 Retenção de água

Retenção de água pode ser definida como a capacidade das argamassas de reter água quando aplicadas em substratos porosos (CANDIA, 1998). A origem da perda de água pode ser por evaporação, hidratação precoce do cimento, absorção de alguma superfície que esteja em contato ou principalmente por sucção do substrato.

Azevedo *et al.* (2018) ressalta a relação entre sucção do substrato e retenção de água das argamassas. Para que a argamassa apresente adequada extensão de aderência sobre a superfície do substrato de alta absorção, a argamassa deve apresentar valores elevados de retenção de água, assim a água de amassamento necessária para hidratação do cimento não será absorvida pelo substrato, tornando a interface entre os materiais frágil. Já para aplicação sobre substratos de baixa absorção, a argamassa deve apresentar baixa retenção de

água, assim, o transporte de água da argamassa para o substrato não será comprometido, fundamental para aderência.

Os fatores que influenciam na retenção de água da argamassa são: área específica dos materiais utilizados, relação água agregado/aglomerante, condições de cura (temperatura e umidade) e relação cimento/cal (DÉTRICHÉ e MASO, 1986; DANTAS *et al.*, 2019).

2.2.2.3 Teor de ar incorporado

O teor de ar incorporado refere-se aos vazios presentes na argamassa, tendo como origens a evaporação de água e incorporação de bolhas de ar.

O aumento do teor de ar incorporado provoca a diminuição das resistências mecânicas das argamassas, além de diminuir a extensão de aderência, fato que limita sua utilização para determinados níveis, no entanto, pode apresentar melhoras nas propriedades do estado fresco da mistura (JI *et al.*, 2017).

Em pesquisa realizada por Hendrickx *et al.* (2010), ao avaliarem as propriedades das argamassas no estado fresco, verificaram que existe uma correlação direta entre os teores de ar incorporado e o índice de consistência, de todas as argamassas analisadas.

2.2.2.4 Resistência mecânica

Mesmo não sendo uma propriedade fundamental das argamassas, a resistência mecânica pode ser relacionada com outras propriedades como a elasticidade, capacidade de suportar esforços de tração, cisalhamento e compressão, além da capacidade de permeabilidade e absorção (HEMALATHA *et al.*, 2018). Sendo estas últimas, permeabilidade e absorção, propriedades relacionadas com a porosidade no estado endurecido da argamassa.

A estrutura de poros, por sua vez, está relacionada com a porosidade inicial e consolidada no decorrer do processo de hidratação do cimento. Assim, quanto maior a porosidade, maior o teor de ar incorporado e menor a resistência (BARROS *et al.*, 2016).

Barros *et al.*, (2016) ainda ressalta a relação da resistência à compressão de argamassas com a resistência de aderência. A autora identificou que a resistência de aderência cresce à medida que a resistência mecânica também cresce. Este fenômeno pode ser justificado pelo fato de argamassas com maior teor de cimento, ou seja, maior resistência à compressão, apresentam mais produtos para ancoragem da argamassa no substrato poroso. No entanto, não foram realizados estudos a longo prazo para verificar a durabilidade destes revestimentos.

2.3 INFLUÊNCIA DOS SUBSTRATOS

Existem diversos fatores relativos aos substratos que podem influenciar na resistência de aderência à tração das argamassas, dentre eles podem ser citados: Capacidade de sucção, porosidade, tipo de tratamento superficial, rugosidade e geometria da superfície.

2.3.1 Capacidade de sucção de água

Segundo os autores Han e Kishitani (1984), Goodwin e West (1988) e McGieley (1990), em geral, nos substratos com baixa capacidade de sucção de água, ocorre pouco transporte dos produtos hidratados para os poros do substrato, diminuindo a aderência. No entanto, nos substratos com alta capacidade de sucção de água, ocorre elevado transporte dos produtos hidratados, mas a quantidade de água necessária para a hidratação do cimento pode ser comprometida, além da ocorrência de microfissuras na argamassa na interface argamassa/substrato. Estas microfissuras são provenientes da saída acelerada de água da pasta para o substrato. Dessa forma, devem ser utilizadas faixas adequadas de capacidade de sucção de água dos substratos, além de verificar sua interação com a argamassa a ser utilizada, principalmente à sua capacidade de retenção de água.

Azevedo *et al.* (2018) ressalta que isoladamente, a capacidade de sucção dos substratos não é um bom indicativo de aderência dos revestimentos de argamassa. Outras variáveis como diferentes tratamentos da base podem influenciar os resultados obtidos no ensaio de aderência.

A taxa inicial de absorção de água, ou IRA (Initial Rate Absortion), do substrato é uma técnica frequentemente utilizada por pesquisadores para avaliação da capacidade de sucção de água nos momentos iniciais. O ensaio consiste basicamente em determinar a massa de água absorvida pelo substrato por sucção capilar, onde a face que será executada o revestimento é submersa em uma profundidade padronizada de 3mm, durante um minuto.

A suposta relação entre IRA e a resistência de aderência é a simulação do que ocorre na aplicação dos revestimentos de argamassa, onde a água da argamassa é transportada por sucção capilar para os poros do substrato, no entanto, diversos pesquisadores, entre eles Groot (1993), e Scartezini e Carasek (2003), encontraram variações na absorção de água da argamassa em diferentes blocos, apesar de possuírem valores similares de IRA. A justificativa para este fato é a limitação de apenas um minuto no tempo de execução do ensaio, uma vez que as forças capilares atuam por um período maior.

Portanto, não existe um consenso entre os pesquisadores quanto à utilização do IRA para avaliação da capacidade de sucção de água dos substratos, uma vez que a sucção de “água livre” no ensaio difere da sucção de água “retida” contida nas argamassas.

Para verificação da capacidade de sucção de água dos substratos pode ser utilizado o ensaio de absortividade, onde o cálculo é realizado pela equação 2, proveniente de simplificações da equação modificada de Darcy para fluxo de água não saturado.

$$i = S \cdot t^{1/2} \quad (2)$$

Onde:

i = Volume acumulado de água absorvido por unidade de área da face de entrada do fluxo (mm³/mm²);

S = Absortividade (mm.min^{-1/2});

t = Tempo (min).

O ensaio de absortividade vem sendo utilizado por pesquisadores, Paes (2004) e Pagnussat (2013), onde foram obtidos perfis de absorção de água por

sucção capilar ao longo do tempo. Ambos autores citados correlacionaram maior valores de absorvidade com maior resistência de aderência à tração.

2.3.2 Rugosidade

Anderegg (1942) verificou que a extensão de aderência da argamassa sobre os substratos pode ser prejudicada pelo aumento da rugosidade, o autor ressalta que as argamassas devem apresentar características reológicas adequadas, além de uma correta execução para uma boa aderência.

No entanto, autores como, Han e Kishitani (1984) e Ribar e Dubovoy (1988), defendem que o aumento da rugosidade da base aumenta a aderência da argamassa. Além disso, um dos fatores que fazem do chapisco um tratamento frequentemente utilizado é o aumento da rugosidade, além da regularização da absorção.

Ribar e Dubovoy (1988) utilizaram em seu trabalho blocos cerâmicos com valores similares de IRA, absorção e resistência à compressão, onde apenas a rugosidade era significativamente distinta. Os autores concluíram que superfícies mais rugosas apresentam melhores resultados de resistência à aderência.

Han e Kishitani (1984) avaliaram o efeito de blocos cerâmicos com diferentes rugosidades, onde os blocos com maiores rugosidades apresentavam menores valores de IRA. Os autores também identificaram que os blocos cerâmicos com maior rugosidade apresentaram melhor aderência. No entanto, Stolz (2015) ao utilizar blocos cerâmicos, onde a rugosidade era maior para os blocos de maior IRA, verificou que os blocos cerâmicos de maior rugosidade apresentaram menor resistência à aderência. A justificativa para este caso foi a maior influência da taxa de sucção em comparação à rugosidade.

Pagnussat (2013) ao avaliar blocos cerâmicos queimados em diferentes temperaturas, onde as rugosidades permaneceram semelhantes e as taxas de sucção se alteraram, o autor verificou diferença significativa de aderência nos blocos analisados.

2.3.3 Ranhuras

A utilização de blocos cerâmicos com superfície lisa e superfície ranhurada (estriada) é verificada em poucas pesquisas. Autores como Pagnussat (2013) e Silveira (2014), utilizaram em seus trabalhos blocos cerâmicos com diferentes superfícies.

Ao avaliar a influência das diferentes temperaturas de queimas dos blocos cerâmicos, Pagnussat (2013) utilizou duas diferentes superfícies, uma lisa e outra estriada. O autor identificou a significativa influência do tipo de superfície utilizada na aderência à tração, conforme pode ser verificado na figura 15.

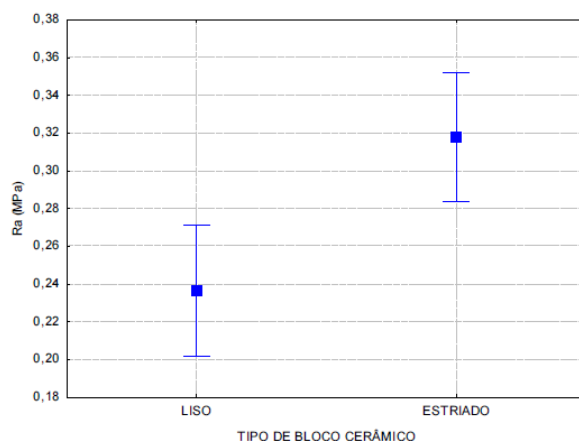


Figura 15 – Efeito do tipo de superfície do substrato cerâmico sobre a resistência de aderência à tração da argamassa de revestimento utilizada (PAGNUSSAT, 2013).

Silveira (2014) avaliou diferentes substratos (concreto, cerâmico liso e ranhurado), além de diversas argamassas e tipos de preparo da base. O autor concluiu que os substratos com superfície ranhurada apresentaram melhores resultados em relação aos obtidos pela superfície lisa.

Ainda na tentativa de melhorar a aderência das argamassas variando a geometria da superfície, Stolz (2011), em seu estudo piloto, utilizou diversas rugosidades em substratos de concreto, conforme pode ser visualizadas na figura 16. A autora concluiu que as rugosidade “b” e “f” apresentaram os melhores resultados, enquanto as superfícies “a” e “e” apresentaram resultados inferiores e,

por fim, as superfícies “c” e “d”, apesar de obterem resultados intermediários, apresentaram-se bastante frágeis durante a desforma e o transporte.

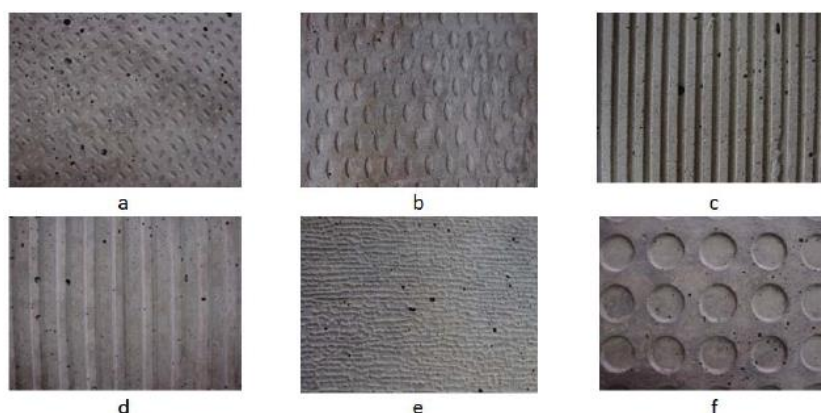


Figura 16 – Aspecto superficial dos substratos de concreto estampados com diferentes rugosidades. a) forma de arroz inclinada; b) forma de arroz alinhada; c) ondulada com bordas a 90°; d) ondulada com bordas arredondadas e mais afastadas; e) ranhuras irregulares; f) forma de moeda (STOLZ, 2011).

No entanto, Stolz (2015), ressalta que o fato de criar a rugosidade não garante o aumento da aderência, apenas pelo aumento da área de contato potencial entre a argamassa e o substrato. É necessário que a reologia da argamassa seja compatível com a rugosidade utilizada, assim a argamassa penetrará nas irregularidades do substrato diminuindo as falhas na interface.

2.4 ENERGIA DE IMPACTO

A aplicação das argamassas na execução dos revestimentos pode ser realizada mecanicamente, através de máquinas de projeção, ou manualmente. A energia de impacto é a energia cinética com que a porção de argamassa lançada atinge a base.

A energia de impacto é um fator determinante para que a argamassa obtenha um espalhamento adequado, além de uma boa adesão e diminuição de defeitos na interface argamassa/substrato. Sendo assim, existe um consenso entre pesquisadores do papel fundamental da energia de impacto na resistência de aderência à tração (JOHN, 2003; PAES, 2004; LOTURCO, 2004).

Em estudo realizado por Yasterbov *et al.*, (2015) verificou a influência do aumento da pressão aplicada na área de contato entre as superfícies. Através de simulação computacional, os autores verificaram o aumento da área de contato com o aumento da pressão aplicada, conforme pode ser visualizado na figura 17.

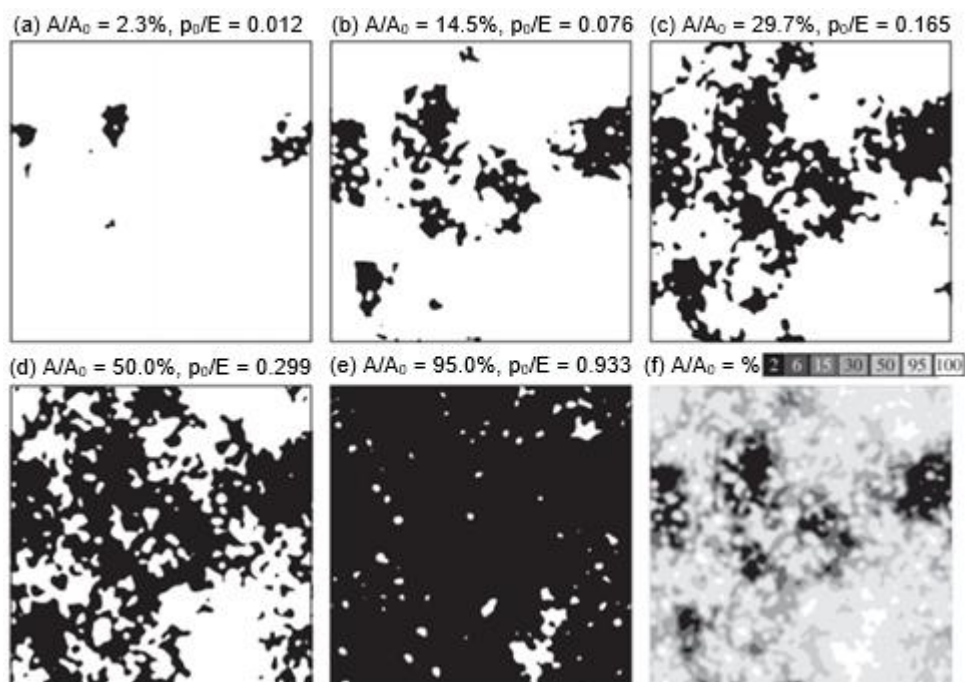


Figura 17 – Simulação computacional do aumento da área de contato devido ao aumento de pressão aplicada (a-e) e uma sobreposição dos gráficos de contorno (f), sendo A: área de contato real, A_0 : área de contato nominal, E: módulo de Young e p_0 : pressão externa (YASTREBOV *et al.*, 2015).

No entanto, apesar da importância que a energia de impacto exerce sobre a aderência, o lançamento da argamassa pelo oficial de pedreiro é uma variável de difícil controle nos canteiros de obra, já que é recorrente a aplicação manual de argamassa.

2.4.1 Estimativa e controle da energia de impacto

No meio técnico, com o objetivo de diminuir a variação da energia de impacto na aplicação das argamassas, diversos autores (CARASEK 1996; ‘; PAES, 2004; ANTUNES, 2005; STOLZ, 2011; PAGNUSSAT, 2013; STOLZ, 2015)

utilizaram lançadores de argamassa em forma de caixa de queda, conforme ilustrado na figura 18.

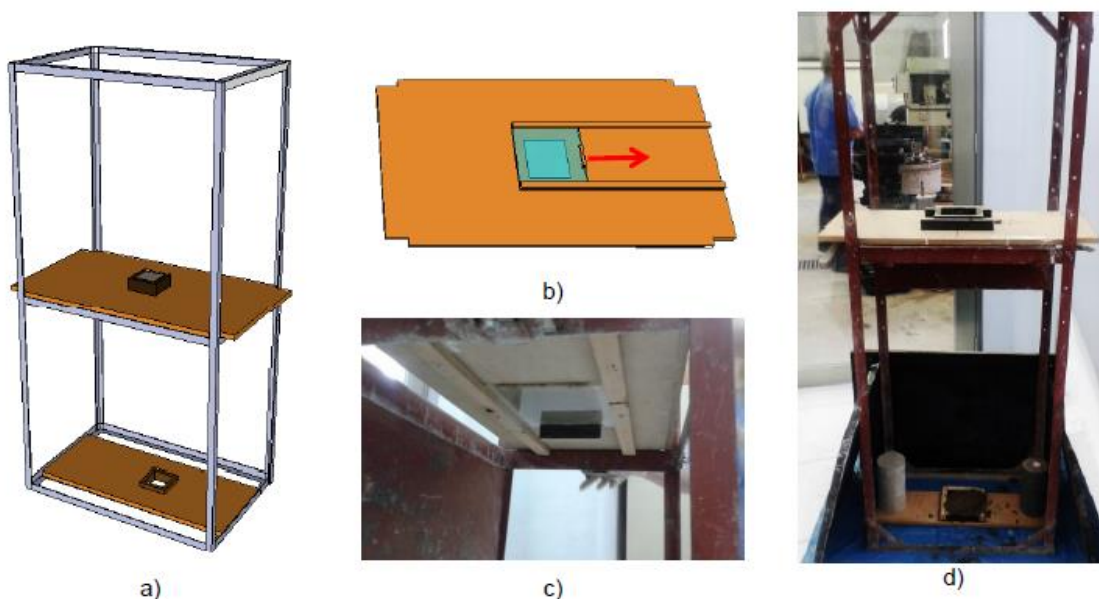


Figura 18 – Caixa de queda: a) representação gráfica do dispositivo; b) representação gráfica da vista inferior do gabarito de madeira com o sistema de guilhotina; c) vista inferior do gabarito de madeira com o sistema de guilhotina; d) vista geral do dispositivo e seus componentes (STOLZ, 2015).

O conceito de controle de energia de impacto por altura de queda livre foi empregado inicialmente por Carasek (1996). A autora utilizou uma altura de queda igual a 15cm, onde a argamassa era despejada por uma abertura de uma gaveta.

Paes (2004), estimou indiretamente a altura de lançamento da caixa de queda por comparações na densidade. Ao utilizar diferentes alturas de queda, o autor verificou que a altura de 50cm correspondeu a densidade mais próxima da encontrada pela aplicação horizontal da argamassa. Vale ressaltar que o autor encontrou menores densidades com o aumento da altura de queda.

No boletim técnico BT/PCC/455, Antunes e John (2007) divulgam trabalho de Bonin, que buscou estimar de forma direta as grandezas físicas envolvidas na aplicação da argamassa. O autor estimou a velocidade de lançamento da argamassa através da altura de lançamento e a distância percorrida. O autor encontrou velocidades variando entre 4m/s e 8m/s. A elevada faixa de valores encontrado é proveniente de dois fatores principais: variação das técnicas empregadas pelos pedreiros, além da simplificação do lançamento desprezando a

resistência do ar. Com o valor médio adotado de 5,5m/s o autor calculou uma altura de queda da argamassa de 1,5m.

No boletim técnico BT/PCC/455, Antunes e John (2007) utilizam filmadoras digitais e colher de pedreiro instrumentada com eletrodos para estimar a energia de impacto. Com o auxílio da filmadora para a verificação da distância percorrida entre a colher e a parede, além do tempo, verificado pelos eletrodos presentes na colher e na parede, a velocidade foi calculada. Após o cálculo da velocidade média obtida de $6,0 \pm 0,5\text{m/s}$, foi definida altura de lançamento em $1,4 \pm 0,1\text{m}$.

Ao utilizar duas diferentes alturas, 1m e 2m, Antunes (2005) verificou que a altura de queda influencia os resultados de todas as combinações propostas. Nas combinações onde o teor de água permaneceu constante o aumento da altura proporcionou uma melhora na resistência de aderência. O mesmo aconteceu para as combinações com aditivos incorporadores de ar, além disso, nas combinações sem aditivos com 13% de água, o aumento da resistência foi de 69%, enquanto as combinações sem aditivos com 15% de água, o aumento foi de 34%. No entanto, nas combinações com aditivo dispersante, o aumento da altura provocou uma diminuição da resistência de aderência à tração.

Conforme também verificado por Yastrebov *et al.* (2015), Stolz (2015) verificou um aumento da área de contato com o aumento da altura de queda da argamassa. Em sua tese, a autora utilizou as alturas de 30cm e 100cm e obteve as seguintes áreas de contato respectivamente: $80,3 \pm 1,8\%$ e $85,1 \pm 1,8\%$ aproximadamente.

2.5 CHAPISCO

O chapisco tem utilização recorrente nas construções brasileiras (KANNING *et al.*, 2013, CONDEIXA *et al.*, 2014) como revestimentos de argamassa, mas também são encontrados em trabalhos em países como França (ABADIE *et al.*, 2001), China (JI, 2017) e Irlanda (WALKER e PAVÍA, 2018).

O chapisco consiste no lançamento de uma argamassa sobre um substrato. O traço mais indicado na literatura é o 1:3 (cimento:areia em volume), devido a otimização das propriedades reológicas da composição, pois com excesso de água

existente na massa, a argamassa tenderá a possuir baixa viscosidade, facilitando seu processo de aplicação.

O lançamento da argamassa deve ser feito de forma que a superfície onde foi aplicada o chapisco apresente elevada rugosidade e espessura de 3 a 5mm. Mesmo com a elevada quantidade de água, o chapisco apresenta secagem acelerada e deficiência de hidratação do cimento. A secagem ocorre por dois fatores principais, perda de água para o substrato por absorção e perda de água para o ambiente que é potencializada pela baixa espessura e grande área superficial do chapisco. A Figura 19 ilustra a execução do chapisco sobre um bloco cerâmico.



Figura 19 – Chapisco aplicado sobre substrato cerâmico (ZANELATO, 2019).

Chapisco é um tipo de preparo da base com o intuito de melhorar as condições de aderência. O chapisco pode ser utilizado tanto em substratos cerâmicos, muito utilizados em países de tradição de uso e alvenarias de vedação, como o Brasil (SCARTEZINI e CARASEK, 2003), como de concreto, utilizado em todo o mundo em estruturas externas (BECKER *et al.*, 2017).

A tendência de aumento da aderência provocado pela execução do chapisco deve-se ao aumento da área superficial e um complexo sistema que sofre forte

influência de outros fatores externos, como as condições climáticas, grau de exposição, agentes agressivos e outros. Para que a argamassa exerça adequada extensão de aderência sobre as irregularidades da base, é necessário que argamassa apresente propriedades reológicas compatíveis com a alta fluidez imposta a este subsistema (STOLZ *et al.*, 2016).

Argamassas que apresentam baixa molhabilidade terão dificuldade de preencher as irregularidades existentes nos substratos, promovendo o aparecimento de vazios entre os materiais que potencializam tanto o aparecimento de microfissuras e quanto favorecem o aparecimento de manifestações patológicas. Além disso, a presença de vazios diminui exponencialmente a resistência de aderência entre os materiais.

A regularização da absorção de água tem função especial principalmente devido às diferentes combinações possíveis entre: maior ou menor absorção de água do substrato com maior ou menor retenção de água da argamassa. A retenção de água

Numa situação de alta absorção do substrato e menor retenção da argamassa de revestimento, a saída de água em excesso da argamassa promove deficiência de hidratação na superfície de contato entre os materiais (AZEVEDO *et al.*, 2018). Nesta situação, o chapisco teria a função de ser o principal responsável por fornecer a água para a absorção do substrato. A perda de água da argamassa de revestimento seria reduzida de forma a permitir sua correta hidratação (ZANELATO *et al.*, 2019).

Numa situação de baixa absorção do substrato e maior retenção da argamassa de revestimento, a reduzida saída de água da argamassa para o substrato não permite adequada microancoragem da argamassa nos poros do substrato (AZEVEDO *et al.*, 2018). Nesta situação, o chapisco atua de forma a facilitar o fornecimento de água para o substrato, já que o chapisco apresenta baixíssima retenção de água, permitindo assim adequada microancoragem. Já a argamassa de revestimento garante a adequada aderência com o chapisco através da macroancoragem nas irregularidades do chapisco (ZANELATO *et al.*, 2019).

Nas combinações restantes, ocorre um equilíbrio das propriedades da argamassa e do substrato, de forma que a absorção não prejudique a aderência de forma significativa.

Em trabalho realizado, onde o chapisco é analisado como principal variável, Zanelato *et al.* (2019) destacou que:

- O chapisco influencia de forma significativa o mecanismo de aderência à tração. Com a aplicação do chapisco houve uma melhoria significativa da regularização de absorção de água do tijolo com a argamassa. Esta melhora fica evidenciada quando analisado o tipo de ruptura predominantemente na argamassa, tornando a interface entre os materiais mais forte que a resistência mecânica da argamassa.
- Além de apresentar significativo aumento da resistência de aderência à tração, os resultados apresentaram dispersão significativamente menor com a presença do chapisco.

De forma a substituir o traço 1:2 e quantificar o impacto econômico no uso de aditivos químicos no traço 1:1:6, também foi realizada a verificação da análise econômica na etapa III utilizando os mesmos parâmetros citados.

3 METODOLOGIA

Inicialmente a metodologia apresenta os ensaios realizados de caracterização dos materiais utilizados na argamassa, Cap. 3.1. Em seguida, o Cap. 3.2 e 3.3 apresentam os ensaios realizados para caracterização da argamassa de revestimento utilizada nos ensaios de aderência. O Cap. 3.4 apresenta os ensaios de caracterização dos blocos cerâmicos utilizados no ensaio de aderência. O Cap. 3.5 apresenta a modelagem matemática para obtenção da geometria da ranhura proposta como inovação do trabalho. O Cap. 3.6 é dividido em três etapas: Etapa 1 - Apresenta as metodologias específicas de execução do ensaio de aderência; Etapa 2 - Apresenta o primeiro programa experimental dos ensaios de aderência focado na avaliação das variáveis; Etapa 3 – Apresenta o segundo programa experimental dos ensaios de aderência focado no desempenho do bloco cerâmico com a nova ranhura. O Cap. 3.7 apresenta a análise de custos de execução do revestimento.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

3.1.1 Cimento Portland

O cimento utilizado na produção das argamassas foi o CII E32 da marca Mauá. Este tipo de cimento apresenta uso corrente na região Norte Fluminense e foi adquirido no comércio varejista local em sacos de 50 Kg. Foi tomado o cuidado de utilização do mesmo lote ao longo do trabalho e realizado o correto armazenamento dentro do laboratório em condições adequadas. Foram realizados os ensaios de granulometria e densidade real dos grãos, pelo método de Le Chatelier, para caracterização do cimento.

3.1.2 Cal hidratada

A cal hidratada utilizada no trabalho foi a do tipo III, denominada de CHIII da marca SuperCal. A marca também apresenta uso corrente em obras na região Norte Fluminense sendo adquirida no comércio varejista em sacos de 20 Kg. O tipo CHIII apresenta melhor relação custo benefício e apresenta desempenho satisfatório na produção de argamassas para revestimento. O mesmo lote de cal hidratada foi utilizado ao longo de todo o trabalho para evitar variações em sua composição química. Os produtos adquiridos foram armazenados em laboratório em condições adequadas. Foram realizados os ensaios de granulometria e densidade real dos grãos, pelo método de Le Chatelier, para caracterização da cal hidratada.

3.1.3 Agregado miúdo

Foi utilizado agregado miúdo proveniente de rios do município de Campos dos Goytacazes. A areia local apresenta composição quartzosa e para utilização na produção de argamassas foi lavada, homogeneizada e seca. Para caracterização da areia foram realizados os ensaios de densidade real dos grãos, pelo método do picnômetro, além de ensaio de granulometria.

3.1.4 Água

A água utilizada na confecção das argamassas foi fornecida pela rede pública de abastecimento da cidade de Campos dos Goytacazes.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO

Foram realizados ensaios de caracterização reológica pelos ensaios de índice de consistência e squeeze-Flow, conforme visto na revisão bibliográfica. Além disso, o ensaio de teor de ar incorporado também foi realizado, já que o mesmo influencia a reologia das argamassas. O ensaio de retenção de água foi realizado devido à sua influência no transporte de água da argamassa para o substrato. A tabela 4 indica os ensaios realizados para caracterização das argamassas no estado fresco.

Tabela 4 - Ensaio para caracterização da argamassa no estado fresco.

Ensaio	Norma
Índice de Consistência	13276 (ABNT, 2016)
Squeeze-Flow	15839 (ABNT, 2010)
Teor de ar incorporado e densidade de massa no estado fresco	13278 (ABNT, 2005)
Retenção de água	13277 (ABNT, 2005)

3.3 CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS NO ESTADO ENDURECIDO

Após os ensaios com a argamassa no estado fresco, foram realizados os ensaios no estado endurecido que utilizam corpos de prova de argamassa. Os corpos de prova foram confeccionados seguindo a NBR 13279 (ABNT, 2005). Após o tempo de cura de 28 dias, os ensaios no estado endurecidos listados na Tabela 5 foram iniciados.

Tabela 5 – Ensaios para caracterização da argamassa no estado endurecido.

Ensaios	Norma
Resistência à tração na flexão	13279 (ABNT, 2005)
Resistência à compressão axial	13279 (ABNT, 2005)
Absorção de água e Índices de vazios da argamassa	9778 (ABNT, 2009)
Densidade de massa aparente no estado endurecido	13280 (ABNT, 2005)
Coeficiente de capilaridade	15259 (ABNT, 2005)

Os ensaios de resistência à tração na flexão e de compressão foram realizados por serem ensaios que avaliam a resistência mecânica da argamassa, considerando que esta é uma propriedade fundamental no ensaio de aderência.

A absorção de água, índice de vazios, densidade e coeficiente de capilaridade são ensaios que visam identificar a porosidade da argamassa no estado endurecido, portanto, influenciam tanto no comportamento mecânico quanto na suscetibilidade de ataques de agentes agressivos que prejudiquem seu desempenho a longo prazo.

3.4 CARACTERIZAÇÃO DOS SUBSTRATOS

Foram utilizados blocos cerâmicos de duas diferentes origens no programa experimental. Foram coletados blocos cerâmicos com dimensões comerciais queimados à 750°C em cerâmicas da região e utilizados na etapa I dos testes de aderência. Também foram confeccionados blocos cerâmicos em extrusora de laboratório com dimensões limitadas ao ensaio de arrancamento, com 5cm de lado. Foi utilizada a mesma mistura de argila para fabricação dos blocos cerâmicos confeccionados em extrusora.

Os blocos cerâmicos já produzidos nas cerâmicas e os fabricados em extrusora foram caracterizados pelos ensaios listados na Tabela 6. A caracterização é necessária para verificação de sua microestrutura. Para uma adequada comparação das ranhuras, os blocos cerâmicos devem ter as mesmas

propriedades, assim foi possível isolar outras variáveis como a influência da presença da ranhura.

Tabela 6 – Ensaios para caracterização dos substratos.

Ensaios	Norma
Determinação das características geométricas	15270-2 (ABNT, 2005)
Absorção de água do substrato	15270-2 (ABNT, 2005)
Absorção de água inicial ¹	15270-2 (ABNT, 2005)
Resistência mecânica ²	15270-2 (ABNT, 2005)

¹ Adaptado para a norma americana.

² Realizado o ensaio padrão e uma adaptação proposta pelo presente autor.

A verificação das características geométricas é um ensaio padrão para verificação de possíveis irregularidades na geometria dos blocos produzidos, visto que a variação das dimensões influencia diretamente em outras propriedades, além de ser normatizada para aprovação de lotes pela norma. Foram avaliados 13 blocos cerâmicos para cada amostragem, os resultados são apresentados no Anexo I.

O ensaio de absorção de água verifica o potencial de absorção de um bloco imerso em um tanque de água. A NBR 15270-1 (2017) também impõe limites nos valores obtidos no ensaio de absorção para aprovação de lotes, 8% mínimo e 25% máximo.

O ensaio de absorção de água inicial fornece parâmetros importantes relacionados à capacidade de absorção capilar nos primeiros momentos após o contato com a água. Foi realizada uma adaptação do ensaio da norma brasileira para a norma americana, ASTM C67 (2018), onde o tempo de 60 segundos foi substituído por verificações com 5 (W5), 10 (W10), 15(W15) e 150(W150) minutos. O ensaio americano, denominado de absortividade, apresenta melhor representação do tempo de duração do transporte de água da argamassa para o bloco cerâmico, muito intenso nos primeiros minutos e diminui gradualmente nas primeiras horas. A absortividade é calculada conforme equação (3).

$$Absortividade \left(\text{mm} \cdot \text{min}^{1/2} \right) = \frac{i}{\sqrt{t}} \quad (3)$$

Onde, i é o volume acumulado de água absorvido por unidade de área da superfície de absorção (mm^3/mm^2); t é o tempo decorrido (min).

A resistência mecânica também apresenta limites impostos pela norma brasileira, onde o bloco cerâmico deve apresentar no mínimo 1,5 MPa de resistência à compressão. No entanto, devido às características geométricas dos blocos feitos em extrusora e o objetivo principal do trabalho ser a verificação da aderência à tração, o presente autor realizou ensaio de tração de forma similar ao ensaio de arrancamento com argamassa.

Para a obtenção da resistência à tração por arrancamento, foi realizada a colagem da pastilha metálica, utilizada no ensaio de aderência à tração de argamassas, de forma direta no substrato. Assim, ao aplicar tração na pastilha, a ruptura deve sempre ocorrer no substrato de forma a obter parâmetros importantes quanto à sua resistência mecânica.

A Figura 20 apresenta a metodologia de ensaio utilizada no ensaio de arrancamento.

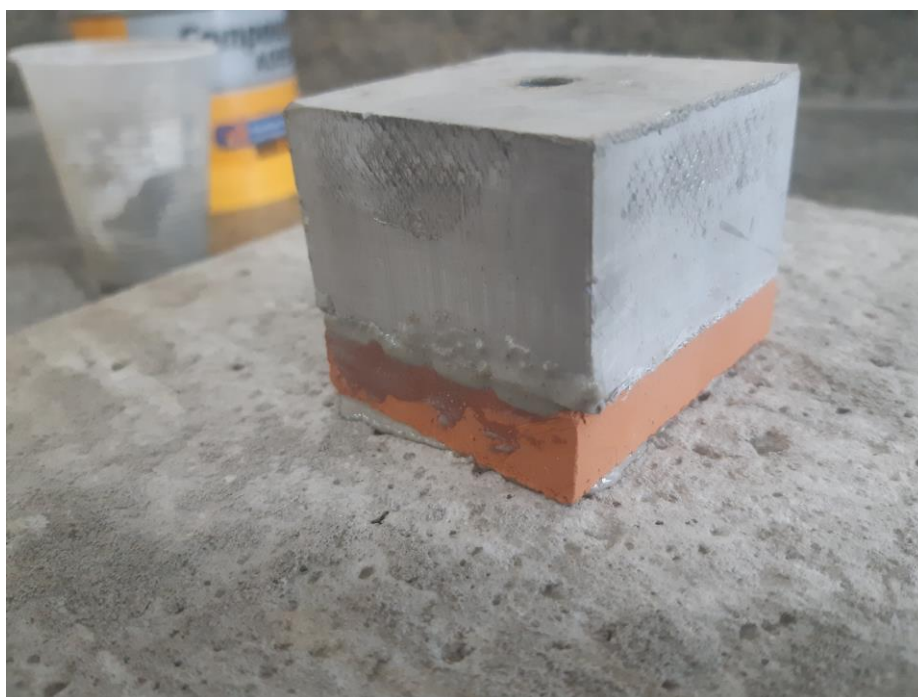


Figura 20 – Ensaio de arrancamento no bloco cerâmico.

3.5 DETERMINAÇÃO DA NOVA RANHURA

Para determinação da nova ranhura foram considerados dois fatores, os resultados da modelagem computacional e limitações físicas práticas. Após a realização das análises por ambos os fatores, a geometria que apresentar melhores condições de ancoragem da argamassa com o substrato foi escolhida.

3.5.1 Considerações iniciais

Para que a ranhura proposta proporcione macroancoragem, conforme objetivo do trabalho, algumas considerações foram feitas e descritas abaixo para que um modelo básico de ranhura pudesse ser modelado matematicamente.

Primeiramente foi analisada a geometria de superfície dos blocos atualmente utilizados, conforme ilustrado na figura 21.

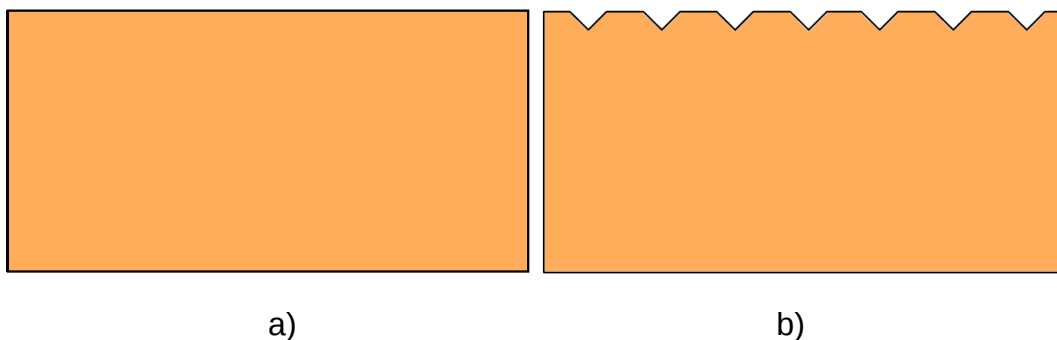


Figura 21 – Ilustração dos blocos cerâmicos: a) Superfície lisa; b) Superfície com ranhuras.

Verifica-se que a presença da ranhura proporciona um aumento da área potencial de contato da argamassa com o substrato cerâmico, no entanto, não há ancoragem da argamassa na ranhura.

Em vista disso, a princípio foi proposta uma ranhura de geometria simples, conforme figura 22, capaz de promover a ancoragem da argamassa na ranhura, no

entanto, as quinas presentes nesta geometria são locais de acúmulo de tensão e, conseqüentemente, locais de provável ruptura na fabricação dos blocos cerâmicos, além disso, a argamassa teria dificuldade em penetrar e assim promover uma correta extensão de aderência nas quinas da parte inferior da ranhura.

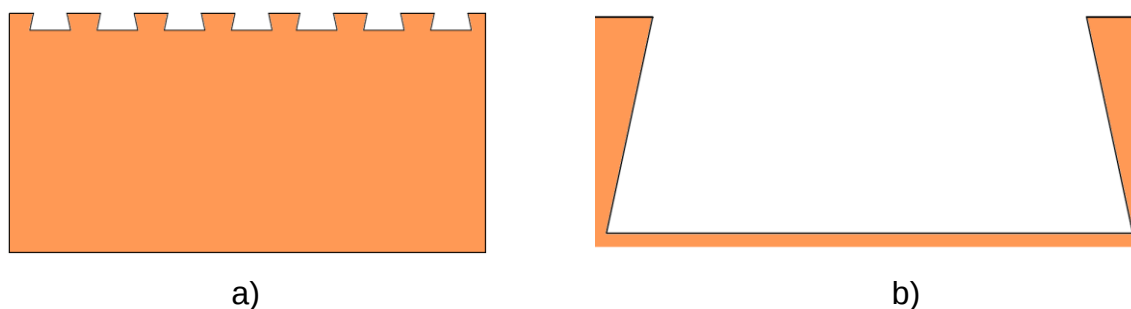


Figura 22 – a) Ilustração do bloco cerâmico com a primeira ranhura proposta; b) Detalhe da primeira ranhura proposta.

Para corrigir os prováveis problemas citados, optou-se pela suavização dos ângulos destes locais, conforme figura 23. Além da argamassa conseguir atingir com maior facilidade toda a superfície potencial de contato do substrato, as tensões são melhores distribuídas diminuindo assim a probabilidade de ruptura.

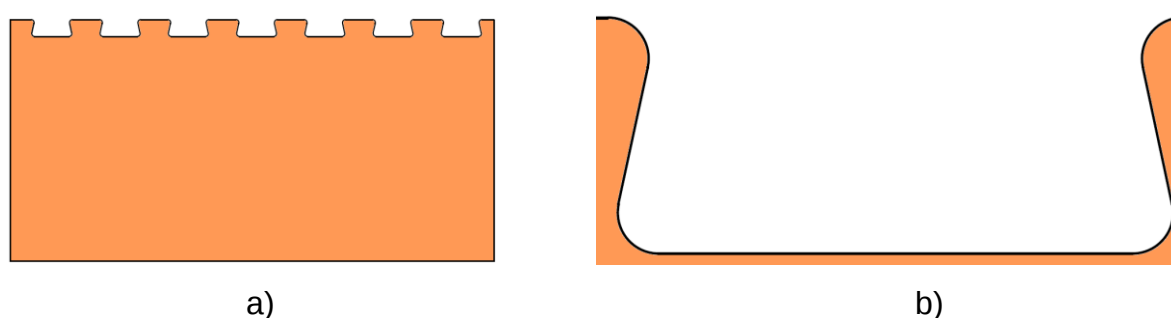


Figura 23 – a) Ilustração do bloco cerâmico com a segunda ranhura proposta; b) Detalhe da segunda ranhura proposta.

Foi proposta ainda uma modificação na ranhura para facilitar ainda mais o espalhamento da argamassa dentro da ranhura, o que beneficia a extensão de

aderência. Esta modificação, conforme ilustrado na figura 24, promoverá o desvio dos volumes iniciais de argamassa lançados para as laterais da ranhura, sendo assim, a argamassa conseguirá preencher com maior facilidade todo espaço fornecido pela ranhura, fato importante para o aumento da resistência à tração da argamassa ancorada na ranhura.

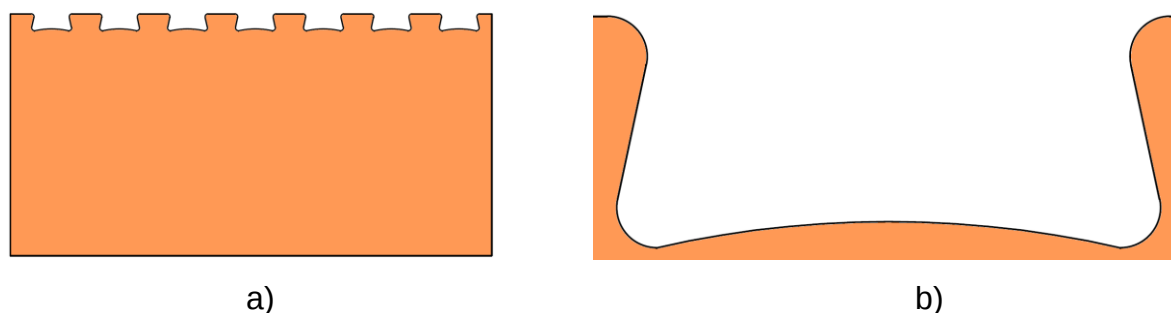


Figura 24 a) Ilustração do bloco cerâmico com a terceira ranhura proposta; b) Detalhe da terceira ranhura proposta.

Definido o modelo de geometria básico da ranhura, conforme considerações acima, a modelagem matemática ficou responsável por definir as dimensões deste modelo de geometria, além de outras variáveis do bloco cerâmico. As variáveis básicas trabalhadas na ranhura são ilustradas na Figura 25.

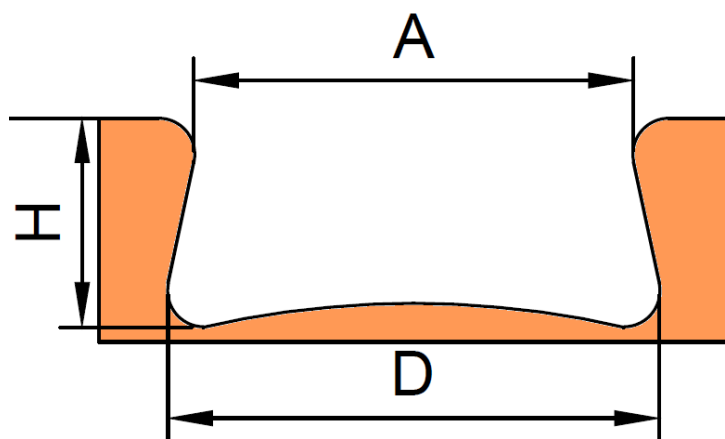


Figura 25 – Dimensões determinadas da ranhura: D – Diâmetro, A – Abertura e H – Altura.

O diâmetro da ranhura (D) foi limitado de modo que a argamassa consiga preencher adequadamente todo o volume disponível na ranhura, no entanto, o

diâmetro deve ser suficiente para que a ranhura promova a ancoragem da argamassa no substrato. A abertura da ranhura (A) deve ser suficiente para que a argamassa consiga penetrar adequadamente na ranhura, mas deve ser limitada para que a ranhura possa promover a ancoragem da argamassa no substrato. Já a altura da ranhura (H) deve ser limitada de modo que a extrusão dos blocos cerâmicos não seja prejudicada, no entanto, deve ser suficiente para que as dimensões anteriormente citadas possam exercer suas funções.

Foi imposto inicialmente à geometria da superfície do bloco cerâmico um espaçamento acentuado entre as ranhuras. Esse maior espaçamento, conforme ilustrado na Figura 26, é justificado pela diferença entre a resistência mecânica entre os materiais, onde a cerâmica possui resistência ao arrancamento superior à da argamassa. A medida do espaçamento foi definida após a obtenção da resistência mecânica por arrancamento da cerâmica. A Figura 26 ilustra a delimitação geométrica de um ensaio de arrancamento num bloco de 5 cm de largura.

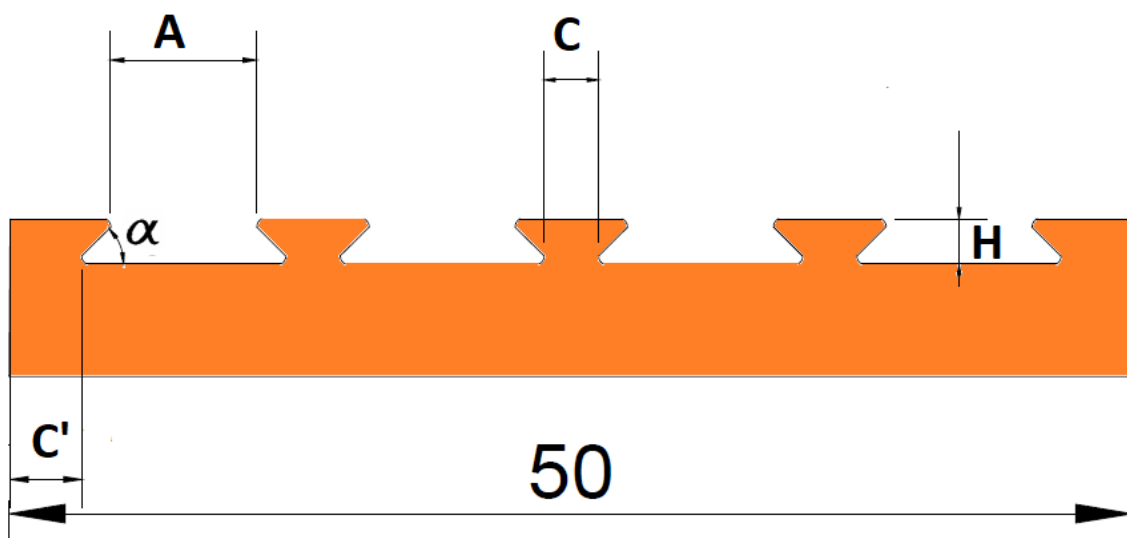


Figura 26 – Parâmetros da geometria da ranhura.

As tensões foram avaliadas com diferentes profundidades (H) para a ranhura de 1,5; 2; 2,5 e 3mm. Também foram avaliados os ângulos de inclinação (α) da ranhura onde foram utilizados valores de 15,30,45,60 e 75°.

Com a definição da abertura A pela resistência mecânica dos materiais, da profundidade (H) e o ângulo (α) pelo método dos elementos finitos, os parâmetros c e c' são obtidos matematicamente para finalizar a geometria da superfície do bloco cerâmico.

3.5.2 Modelagem computacional

Para realização da modelagem computacional foi escolhido o *software Abaqus*.

A Figura 27 ilustra os desenhos padrões utilizados. O bloco cerâmico indicado na Figura possui dimensões reais: 19x19x9 cm. Foi considerada que a argamassa preenche toda a superfície livre do bloco cerâmico.

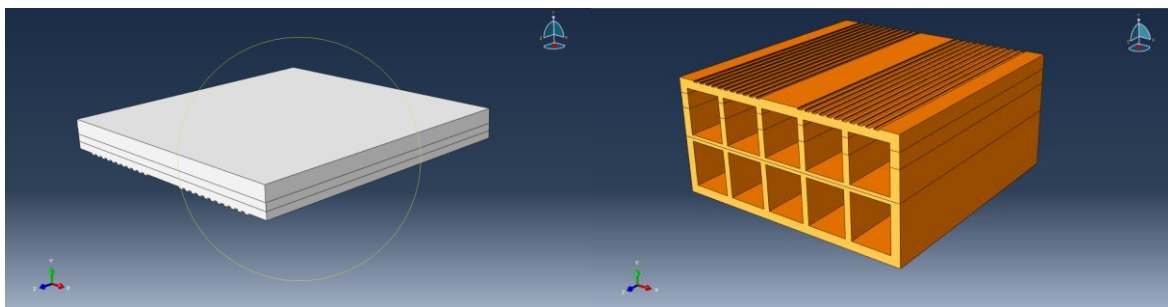


Figura 27 – Modelo do tijolo e argamassa no *Abaqus*.

A Figura 28 apresenta em detalhe a ranhura. A geometria da ranhura foi confeccionada no *software Autocad* e o desenho importado para o *software Abaqus*.

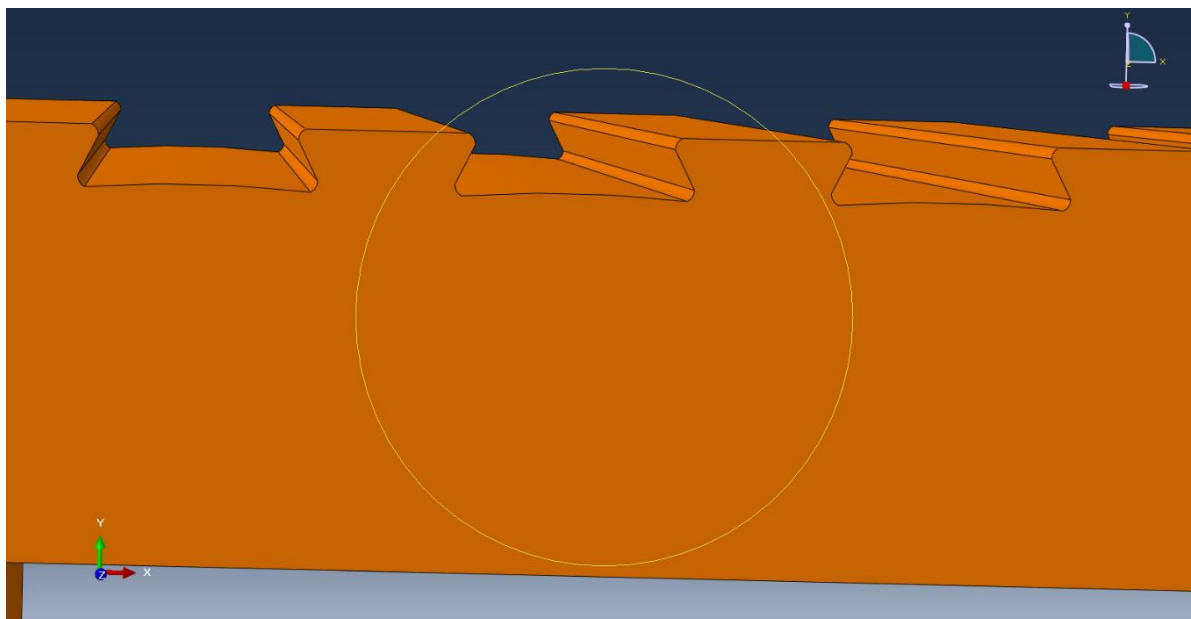


Figura 28 – Detalhamento da ranhura no *Abaqus*.

A Figura 29 apresenta a união e a criação de uma nova interface de aderência entre os materiais.

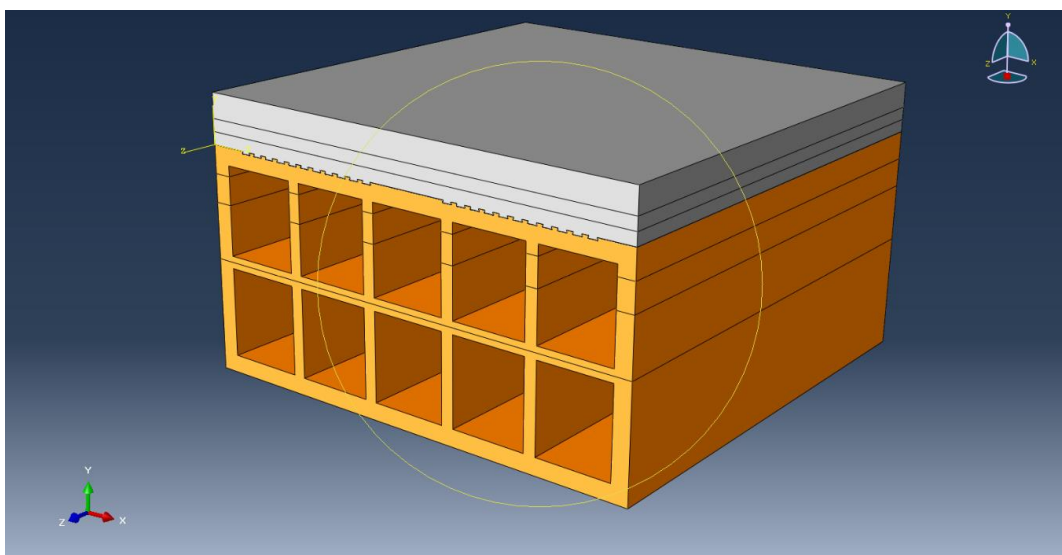


Figura 29 – Criação da interface de aderência entre os materiais.

A Figura 30 apresenta a aplicação da carga e as condições de contorno. Foi considerada uma carga distribuída de $0,5 \text{ N/mm}^2$ ao longo de toda a superfície da argamassa, simulando uma aplicação de carga de arrancamento (tração). Foi considerado o engastamento do tijolo ao longo de todas as quatro faces laterais, locais onde é feita a aplicação da argamassa de assentamento numa parede de alvenaria.

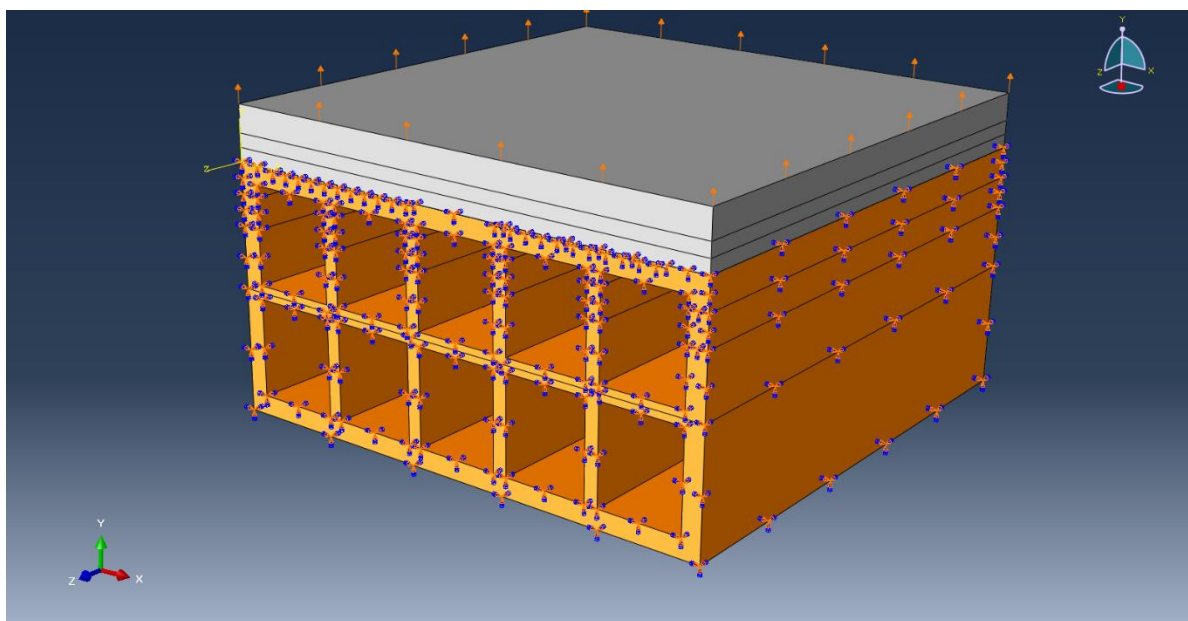


Figura 30 – Aplicação da carga e dos engastes.

A Figura 31 e 32 apresentam a distribuição da malha (*mesh*) para análise por elementos finitos. A distribuição da malha não foi uniforme ao longo de todos os materiais. Como a ranhura apresenta dimensões consideravelmente inferiores à do bloco cerâmico inteiro e da espessura da argamassa, foi distribuído um maior número de pontos na região perto da superfície de interação entre os dois materiais. Os locais mais afastados da superfície apresentam baixa concentração de tensão e por isso não precisam de uma malha mais refinada.

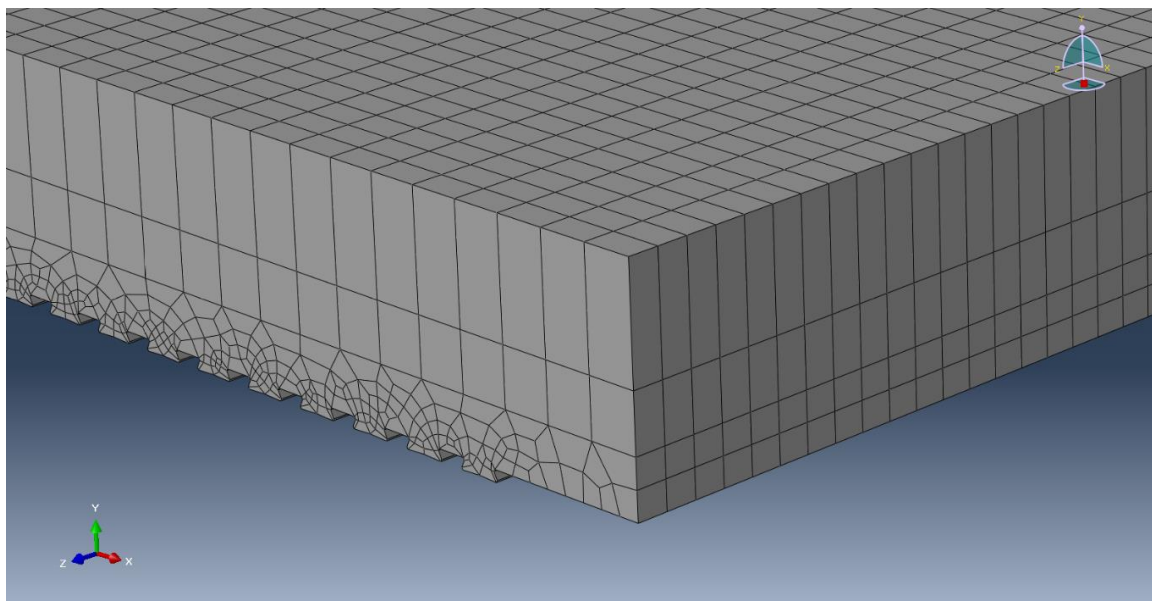


Figura 31 – Definição da malha na argamassa.

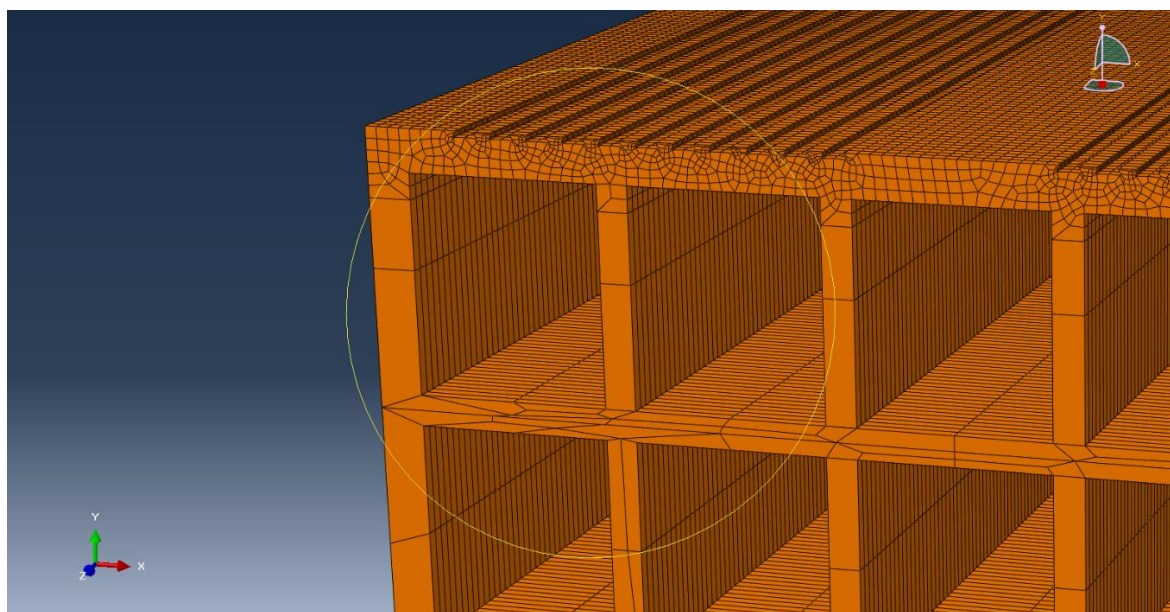


Figura 32 – Definição da malha no bloco cerâmico

Para verificação da eficiência da malha, foram testadas malhas ainda mais refinadas e os resultados foram similares ao obtido pela malha em questão, no entanto, as malhas mais refinadas apresentaram duração de processamento de dias, enquanto a malha em questão foi processada em cerca de duas horas.

Para análise das tensões geradas pela aplicação da carga, foi definida a verificação na interface entre os materiais. Considerando a concentração de tensão

nos pontos próximos aos engastes considerados na modelagem e para evitar a alta variação que estes locais promovem nas tensões, a análise dos resultados foi feita a partir da criação de uma linha transversal dividindo o bloco ao meio em relação ao seu comprimento, conforme Figura 33.

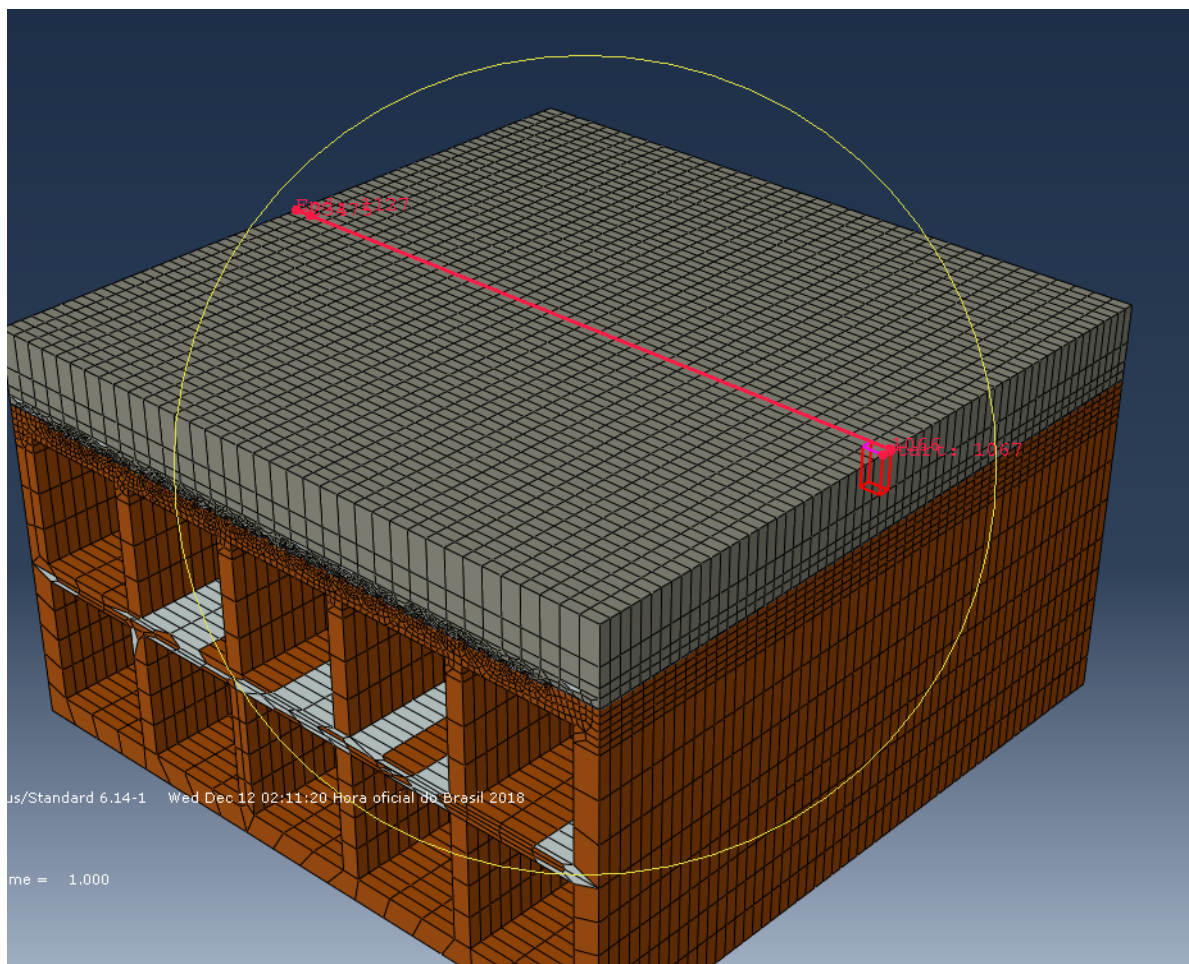


Figura 33 – Linha para análise da distribuição de tensão.

A criação de uma linha de análise dos resultados permite a criação de um gráfico com a distribuição das tensões ao longo do eixo da linha. Portanto, a análise dos resultados foi feita com base na comparação dos resultados dos gráficos, uma vez que a análise por comparação de imagens nem sempre fornece uma grande precisão e a análise dos pontos de maior tensão podem apresentar imprecisões.

Para detalhar melhor os gráficos obtidos e verificar variações mesmo que mínimas, foi calculada área do gráfico de cada um dos parâmetros analisados. A obtenção de um único valor numérico possibilita a comparação de curvas muito próximas. O cálculo da área do gráfico foi feito por integração numérica pela regra de Newton-Cotes utilizando a regra trapezoidal conforme equação (4).

$$\int_a^b f(x)dx = (b - a) \frac{f(a) + f(b)}{2} \quad (4)$$

3.5.3 Parâmetros da modelagem

Os parâmetros utilizados na modelagem matemática foram obtidos pelas referências bibliográficas, visto que deseja-se obter uma análise geral da distribuição das tensões na aderência entre o tijolo e a argamassa, não sendo obtido um modelo de previsão de ruptura com valores precisos.

A análise foi pautada na comparação entre os valores de tensão obtidos na análise pelo método dos elementos finitos, sendo o valor numérico não definitivo, visto que não foram utilizados parâmetros dos materiais específicos ao desta pesquisa.

Para a determinação do modelo geométrico pelo método matemático, foi utilizada a comparação das tensões obtidas entre os variados modelos testados, assim foi possível verificar as tendências de aumento e diminuição de tensão durante o carregamento no ensaio de aderência.

A Tabela 7 apresenta os parâmetros utilizados nas propriedades da argamassa, para o revestimento, e da cerâmica, para o substrato. Os valores foram utilizados com base na tese de Flores-Colen (2009) e possui valores similares ao artigo de Costa e Carasek (2009) e Satoh *et al.* (2016).

Tabela 7 – Propriedades atribuídas aos materiais.

Materiais	Módulo de elasticidade	Coeficiente de poisson
	(MPa)	
Argamassa	9.942	0,2
Cerâmica	2.000	0,2

A tabela 8 apresenta os parâmetros da interface da argamassa com o bloco cerâmico. Considerando que existe adesividade entre os materiais e que este comportamento influencia nos mecanismos de aderência, foram utilizados os seguintes parâmetros no *Software Abaqus*. Os valores foram utilizados com base no trabalho de Santos *et al.* (2016) e Oliveira (2014).

Tabela 8 – Propriedades atribuída à interface.

Tangential Behavior		Cohesive Behavior - N/m			Damage Initiation - MPa			Damage evolution
ϕ	(MPa)	K_{nn}	K_{ss}	K_{tt}	t_n°	t_s°	t_t°	E_f (Nm)
0,5	10,5	5000	$2,1 \cdot 10^6$	$2,1 \cdot 10^6$	0,91	0,23	0,23	50

3.6 ENSAIOS DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO

Os ensaios de resistência aderência à tração foram realizados conforme NBR 13528 (ABNT, 2010) e realizados em três etapas.

3.6.1 Primeira etapa – Metodologias propostas

A primeira etapa visa testar as metodologias propostas neste projeto com as reais aplicações da argamassa em parede. São duas as metodologias que foram verificadas estatisticamente a real correspondência com a prática de obra.

A primeira metodologia testada foi o lançamento vertical da argamassa. O lançamento vertical já possui sua utilização difundida na bibliografia, conforme

capítulo 2.4. Foi escolhida a altura de 1m conforme trabalho de Stolz *et al.* (2016) para aplicação de uma energia constante de 10 J.

A Figura 34 apresenta o equipamento utilizado para lançamento vertical da argamassa com altura ajustável.



Figura 34 – Lançador vertical de argamassa. Ajustado para 1m de altura de lançamento.

Outra metodologia testada é a utilização de corpos de prova cerâmicos, fabricados em extrusora, com as dimensões que seriam delimitadas no bloco inteiro no ensaio de arrancamento. Vale ressaltar que apesar das dimensões reduzidas do corpo de prova, as ranhuras continuam com as dimensões reais.

A Figura 35 apresenta o bloco cerâmico fabricado em extrusora de laboratório.

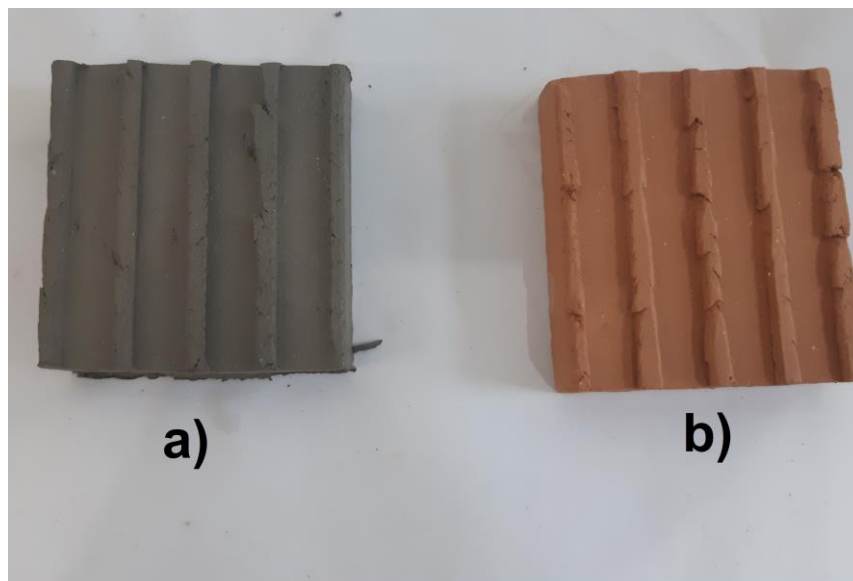


Figura 35 – Bloco cerâmico confeccionado em extrusora. a) Antes da queima; b) Depois da queima.

Para análise das metodologias propostas pela primeira etapa foram realizados ensaios de aderência à tração em blocos cerâmicos em dimensões reais assim como em dimensões reduzidas, além de variar o lançamento horizontal e o vertical. Os ensaios foram realizados com argamassa 1:1:6 em blocos cerâmicos queimado à 750°C com superfície lisa, ranhura comum e ranhura proposta pela modelagem computacional.

Os ensaios de aderência dos blocos cerâmicos confeccionados em cerâmica por lançamento horizontal foram realizados em paredes de alvenaria, de forma similar ao realizado na construção civil. Já os ensaios nos blocos cerâmicos confeccionados em extrusora por lançamento horizontal precisaram ser adaptados, visto que não é viável a construção de uma parede com estes blocos. Para a realização do ensaio foram colados numa placa de concretos os blocos cerâmicos de forma a cobrir toda a placa. Com o posicionamento e fixação da placa na vertical, foi possível fazer o lançamento horizontal e mantido em repouso na posição vertical para avaliação deste tipo de lançamento.

Em resumo, foram testados quatro substratos por dois tipos de lançamento totalizando oito combinações. Os substratos utilizados foram: 1 – Bloco cerâmico com superfície lisa; 2 – Bloco cerâmico com ranhuras comuns; 3 – Corpo de prova

confeccionado em extrusora com superfície lisa; 4 – Corpo de prova confeccionado em extrusora com a nova ranhura. Foram analisados 12 corpos de prova para cada combinação.

3.6.2 Segunda etapa – Projeto piloto

O programa experimental da segunda etapa verifica a influência na aderência das seguintes variáveis de forma combinada: Temperatura de queima, saturação do bloco cerâmico, superfície do bloco cerâmico e traço da argamassa.

A análise da temperatura de queima dos blocos cerâmicos é fundamental visto que existem alterações na estrutura dos poros, que influenciam no transporte de água e a resistência mecânica, que podem limitar a resistência de aderência à tração. Foram utilizadas duas temperaturas de queima, 750°C e 900°C.

A variação da saturação do bloco cerâmico visa verificar o comportamento das outras variáveis combinadas à substratos com diferentes capacidades absorptivas. A saturação do bloco cerâmico, afeta tanto a microancoragem quanto a resistência mecânica da argamassa de revestimento. Foram utilizadas três condições de saturação, duas extremas e uma intermediária, assim foi possível identificar os limites de influência que a sucção capilar do bloco cerâmico promove na aderência. Os graus de saturação definidos foram: “Seco” – Substrato com umidade ambiente; “Molhado” – Substrato mergulhado em tanque com água imediatamente antes de ser aplicada a argamassa de revestimento; “Saturado” – Substrato utilizado após a retirada do tanque com água onde permaneceu por 24 horas.

Os traços de argamassas avaliados no trabalho são de fundamental importância visto a previsível necessidade de aumento da resistência mecânica da argamassa. O traço 1:1:6, utilizado regularmente pela bibliografia, apresenta diferentes tipos de ruptura, dentre elas a ruptura na argamassa. Considerando que a proposta do atual projeto se fundamenta na macroancoragem da argamassa nas ranhuras do bloco cerâmico, o aumento da resistência mecânica da argamassa se torna fundamental para que a aderência entre os materiais alcance valores

significativos. Foram utilizados três traços 1:1:6, 1:3 e 1:2. Tanto o traço 1:1:6 quanto o traço 1:3 são traços padrões frequentemente utilizados na bibliografia para produção de argamassas de revestimento. O traço 1:1:6 é principalmente utilizado em trabalhos realizados por autores brasileiros (Stolz *et al.* 2015; Azevedo *et al.* 2018; Mendes *et al.* 2019). Enquanto o traço 1:3 é frequentemente utilizado em trabalhos realizados por autores internacionais (Corinaldesi *et al.* 2011; Sathiparan, *et al.* 2018; Ramesh *et al.* 2019). O traço 1:2 foi proposto após a obtenção de resultados iniciais, onde desejava-se a obtenção de uma argamassa com elevada resistência mecânica, maior plasticidade e alta retenção de água.

A superfície do bloco cerâmico é a principal variável analisada, onde foram testados blocos com superfície lisa, lisa chapiscada e a nova ranhura proposta no trabalho. A análise destas variáveis combinadas com as variáveis anteriores possibilitou o melhor entendimento dos mecanismos de aderência para justificar comportamentos obtidos no ensaio de aderência à tração.

Em resumo foram testadas 54 combinações (2 Temperaturas de queima, 3 Níveis de saturação do bloco cerâmico, 3 Traços de argamassa, 3 Superfícies de substrato). Para cada combinação foram realizados dez ensaios de arrancamento. Para cada ensaio foi realizada análise visual da distribuição do tipo de ruptura com precisão de 10%. A distribuição da ruptura para cada combinação foi obtida por média.

Para todas as combinações foram mantidas as condições de cura em laboratório, visto que os ensaios foram realizados por lançamento vertical nos blocos cerâmicos fabricados em extrusora com dimensões compatíveis para acondicionamento em laboratório.

3.6.3 Terceira etapa – Programa experimental

Após a obtenção e análise dos resultados obtidos na segunda etapa, foi realizada uma terceira etapa com tijolos fabricado em cerâmica com a nova ranhura.

A proposta da terceira etapa é avaliar a viabilidade de utilização do traço 1:1:6 com a nova ranhura de forma a obter desempenho similar ao traço 1:2, ou seja, alta resistência de aderência com o mínimo de interferência do transporte de água.

A proposta de substituição do traço 1:2 se deve, principalmente a sua retração, que como visto na bibliografia (DEMIRBOĞA, 2003), apresenta retração elevada devido à alta proporção de cimento. Considerando as condições controladas de laboratório, o traço 1:2 apresentou fissuramento mínimo. No entanto, caso seja considerada sua aplicação numa fachada, por exemplo, as condições são mais severas e o comportamento da argamassa 1:2 estaria mais suscetível a perda de aderência.

O traço 1:1:6 já possui ampla utilização como revestimento, possui alta retenção de água, boa trabalhabilidade e adesão quando lançado na parede. No entanto, o traço não está isento de apresentar problemas de aderência, conforme relatos de manifestações patológicas e nos ensaios realizados na segunda etapa.

Para melhorar o desempenho na aderência, foram utilizados aditivos químicos redutores de água (plastificantes) no traço 1:1:6. O uso de plastificantes promove aumento da resistência mecânica, além disso, a retenção de água também aumenta ligeiramente. Estas melhorias no traço 1:1:6 tendem a aproximar as propriedades do traço 1:1:6 do traço 1:2. Portanto, o traço 1:1:6 deve apresentar desempenho similar ao obtido do traço 1:2 sem a suscetibilidade de retração em condições ambientes mais severas.

Para a avaliação do desempenho do traço 1:1:6 foram formulados quatro traços com diferentes níveis de aditivo químico (0%; 0,3%; 0,6% e 0,9%). Também foi avaliado o traço 1:2 como referência de desempenho desejado.

As argamassas com aditivo químico foram caracterizadas nos três principais ensaios que afetam diretamente os mecanismos de aderência. Foi realizado o ensaio de Squeeze-Flow com o objetivo de verificar a trabalhabilidade dos traços com o uso de aditivos. O ensaio de Retenção de água foi realizado para verificar variações na retenção com o uso de aditivos químicos. O ensaio de Resistência

mecânica, principal propriedade afetada pelo uso do aditivo, foi avaliado pelos ensaios de compressão e tração na flexão.

Considerando que o objetivo da utilização do aditivo químico é o aumento da resistência mecânica, houve necessidade de redução na quantidade de água na confecção dos traços. Considerando que ensaios reológicos comuns, como consistência para argamassas e o slump para concreto, são afetados e descaracterizados pela utilização de plastificantes, foram feitas repetições com diferentes volumes de água até a obtenção de curvas no Squeeze-Flow similares à referência sem aditivo. O ensaio de Squeeze Flow mede diretamente a força necessária para deformar a argamassa, e reflete melhor a trabalhabilidade.

Após a caracterização dos traços, foram realizados os ensaios de aderência à tração com as argamassas em aplicações verticais nos blocos fabricado em cerâmica com a nova ranhura. Da mesma forma que a segunda etapa, foi incluída a variável de saturação do bloco cerâmico, assim, foi possível avaliar como as condições de absorção do substrato influenciam na aderência.

Vale ressaltar que alguns parâmetros da geometria do bloco cerâmico foram alterados no processo de fabricação da boquilha. O espaçamento entre as ranhuras diminuiu e a profundidade da ranhura aumentou. A diminuição do espaçamento promove maior concentração de tensão nas argamassas e diminuição das concentrações na cerâmica. O aumento da profundidade visa o aumento da resistência à cisalhamento da argamassa que preenche a ranhura.

3.7 VIABILIDADE ECONÔMICA

Conforme justificado nos capítulos iniciais, além de aumentar a resistência a aderência, a proposta da nova ranhura visa dispensar a necessidade do chapisco na execução do revestimento.

Considerando os resultados obtidos nos ensaios de aderência à tração, onde o chapisco apresenta-se com alta resistência em qualquer combinação, a

proposta da nova ranhura apresentou resistência elevada apenas sob determinadas combinações.

Dentre as combinações que a proposta da nova ranhura se apresenta com resistência elevada e regularidade, a utilização da argamassa com traço 1:2 pode ser destacada. A utilização de um traço com alta resistência e alta retenção de água permite que a argamassa hidrate corretamente no interior da ranhura, onde a alta resistência mecânica da argamassa promove a macroancoragem que permite uma forte resistência entre os materiais.

No entanto, é evidente que o aumento do volume de aglomerante resulta no aumento do custo de confecção da argamassa. A viabilidade econômica de utilização de um traço com maior valor agregado é possível considerando a substituição na execução do chapisco.

Assim, a análise econômica visa comparar o aumento do custo na produção da argamassa de emboço com a diminuição do custo na eliminação da execução do chapisco. A composição da análise utilizou os quantitativos da Tabela Sinapi, visto que a obtenção deste dado por empreiteiras locais apresentou alta variação e certa imprecisão em consultas realizadas. Os valores de custo unitário foram coletados em pesquisa ao comércio local no município de Campos dos Goytacazes.

Foram utilizadas na comparação duas possibilidades de aplicação do chapisco, a primeira considerando a execução em paredes internas, locais estes que possuem o menor custo de mão de obra para execução. A segunda considera a aplicação do chapisco em fachadas com presença de vãos, local de difícil acesso que aumenta o custo da mão de obra. Existem diversas possibilidades de aplicação do chapisco que se enquadram em valores intermediários aos citados acima. Para todos os casos foi considerada a aplicação com colher de pedreiro e preparo manual da argamassa.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS DA ARGAMASSA

A Figura 36 e a Tabela 9 apresentam respectivamente as curvas granulométricas dos materiais utilizados na confecção da argamassa e os resultados de densidade real dos grãos.

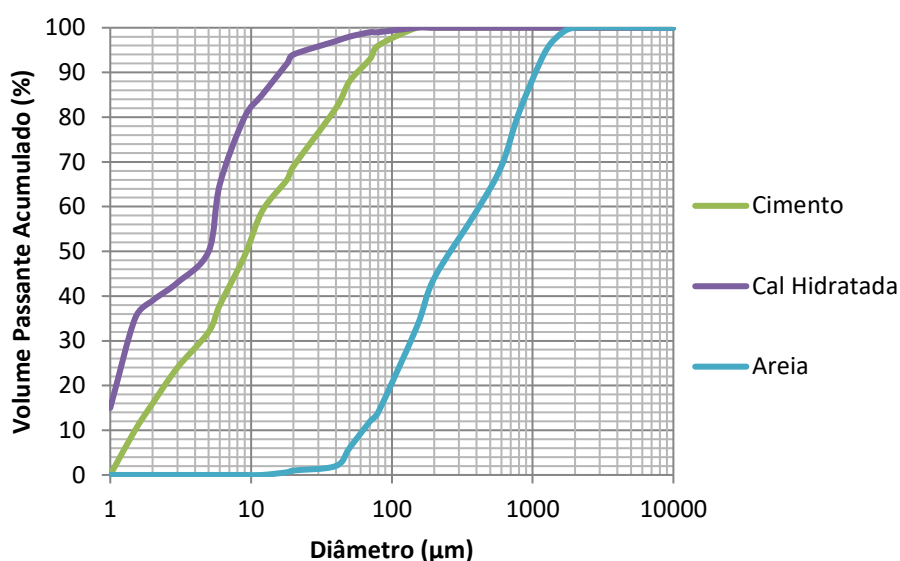


Figura 36 – Curva granulométrica.

Tabela 9 – Densidade real dos grãos.

Material	Massa específica (g/cm ³)	Massa unitária (g/cm ³)
Cimento	2,98	1,55
Cal Hidratada	2,37	0,69
Areia	2,60	1,43

A curva granulométrica indica que a cal hidratada (CH III) possui uma proporção maior de finos que o cimento (CP II-E). Portanto, aumentar a quantidade de cal hidratada na argamassa tende a aumentar sua trabalhabilidade e sua capacidade de retenção de água.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS

4.2.1 Ensaio no estado fresco

A Tabela 10 apresenta as dosagens dos materiais para a produção de 2,5 kg de argamassa. A quantidade de água adicionada foi a suficiente para a obtenção do espalhamento de $260 \pm 5\text{mm}$.

Tabela 10 – Descrição dos traços das argamassas.

Traço	Cimento (g)	Cal (g)	Areia (g)	Água (g)	Relação a/agl ⁽¹⁾
1:1:6	358,1	159,4	1982,3	505,8	0,98
1:3	663,5	-	1836,4	454,3	0,68
1:2	878,7	-	1621,3	561,4	0,64

⁽¹⁾ Relação água/aglomerante

A Figura 37 apresenta os resultados do ensaio de Squeeze Flow.

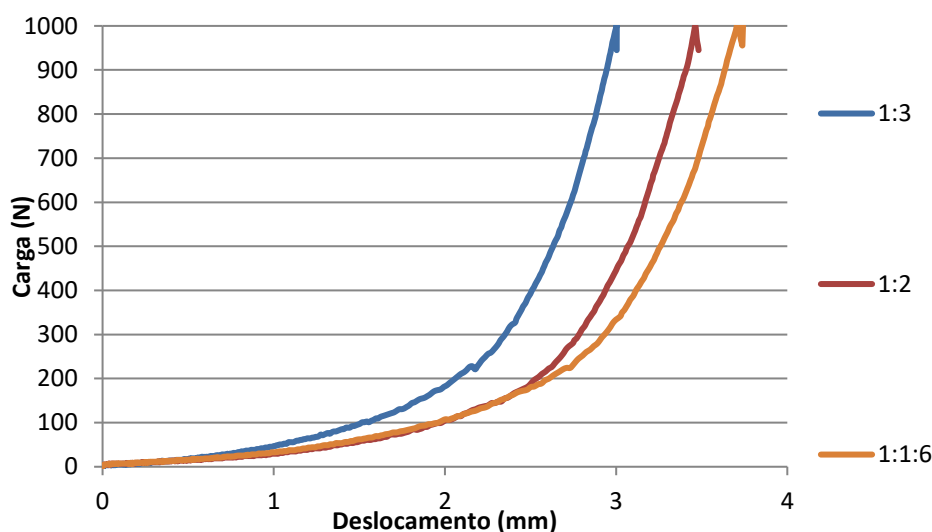


Figura 37 – Curvas de Squeeze-Flow.

Comparando as curvas do ensaio de Squeeze Flow do traço 1:3 com o 1:1:6, verifica-se que a presença da cal, em substituição ao cimento, aumenta o deslocamento vertical da argamassa durante o carregamento para uma mesma carga aplicada. O mesmo comportamento também pode ser identificado

comparando o traço 1:2 com o 1:3, onde o acréscimo do volume de cimento também aumenta consideravelmente o deslocamento para uma mesma carga aplicada. Os resultados, estão de acordo com a bibliografia conforme Azevedo *et al.* (2017), que verificou diminuição da carga necessária para um mesmo deslocamento vertical do ensaio conforme a proporção de finos da argamassa aumenta.

Já na comparação dos traços 1:2 com o 1:1:6, o comportamento inicial é bem similar, no entanto, após a aplicação de 200N, o traço 1:1:6 apresenta menor viscosidade que o traço 1:2. Grãos de dimensões maiores promovem maior atrito entre os grãos, devido à dificuldade de movimentação na pasta (RAGO e CINCOTTO, 1999). Portanto, a presença da cal, material mais fino presente da argamassa, contribui para a diminuição do atrito durante a aplicação da carga, assim como também observado por Grandes *et al.* (2018). Verifica-se assim que o traço com menor viscosidade é o 1:1:6 seguido do traço 1:2 e por último o 1:3.

A Figura 38 apresenta os resultados dos resultados dos ensaios de retenção de água, teor de ar incorporado e densidade real dos grãos.

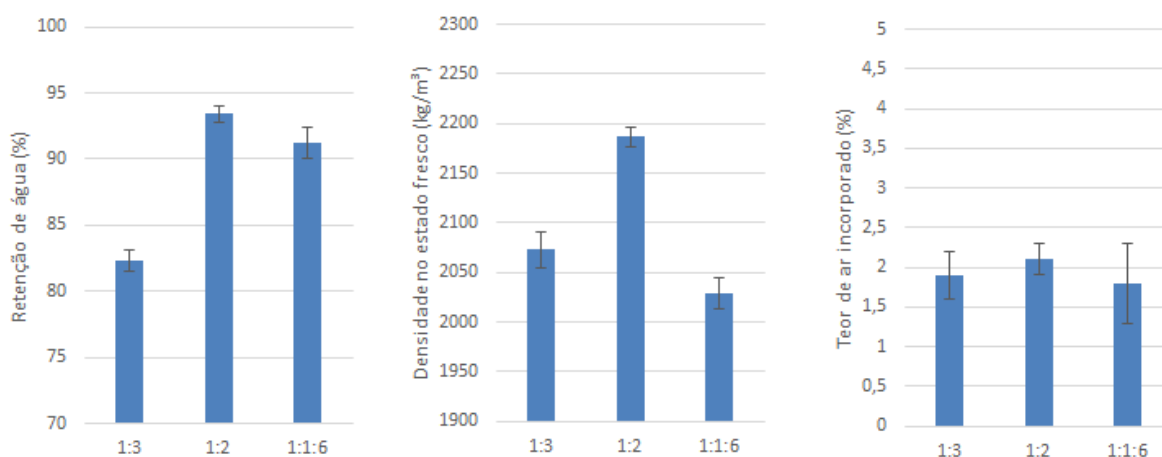


Figura 38 – Resultados dos ensaios da argamassa no estado fresco.

A maior presença de finos do traço 1:1:6 e do traço 1:2 comparados ao traço 1:3 aumentam a retenção de água das argamassas. A maior presença de grãos finos com área superficial superior potencializa a retenção de água das argamassas (GOVIN *et al.*, 2016). Neno *et al.* (2013) obteve um significativo aumento de retenção de água ao utilizar 20% de finos de agregado reciclado, onde

foi obtido um aumento de 39% na retenção de água. Devido à relação aglomerante/agregado do traço 1:2 ser maior que o no traço 1:1:6, o traço 1:2 apresenta capacidade superior de retenção de água.

A presença da cal hidratada diminui a densidade no estado fresco da argamassa, tornando o traço 1:1:6 mais leve. Já o cimento, devido às reações de hidratação do cimento, apresenta densidade superior que a areia, portanto, o traço 1:2 é o mais pesado.

O teor de ar incorporado pouco variou conforme altera-se os traços da argamassa. Esta propriedade sofre forte influência da etapa de mistura sendo pouco influenciada pela composição (Romano *et al.*, 2015). Vale ressaltar que variações menores que 1% no teor de ar incorporado entre repetições do ensaio são normais, devido à precisão do aparelho. O desvio padrão apresenta elevada representatividade comparado ao valor obtido, já que foram obtidos valores baixos para o ensaio de ar incorporado, dificultando a comparação entre os traços. No entanto, mesmo considerando os valores máximos com desvio padrão, quantitativamente o teor de ar incorporado ainda é baixo para todos os traços.

4.2.2 Ensaio no estado endurecido

As figuras 39 e 40 apresentam os resultados dos ensaios realizados no estado endurecido das argamassas confeccionadas.

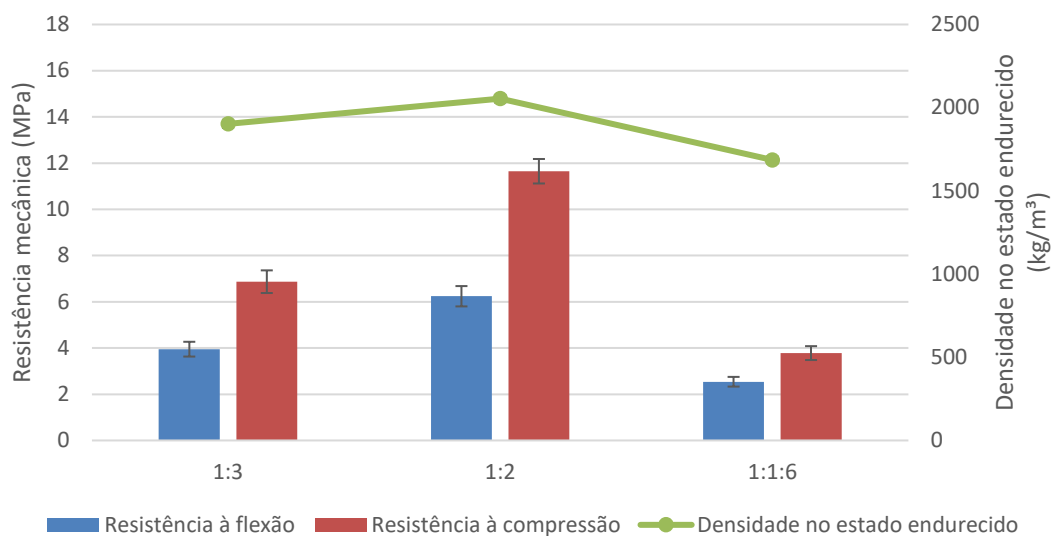


Figura 39 – Resultado dos ensaios de resistência mecânica e densidade no estado endurecido.

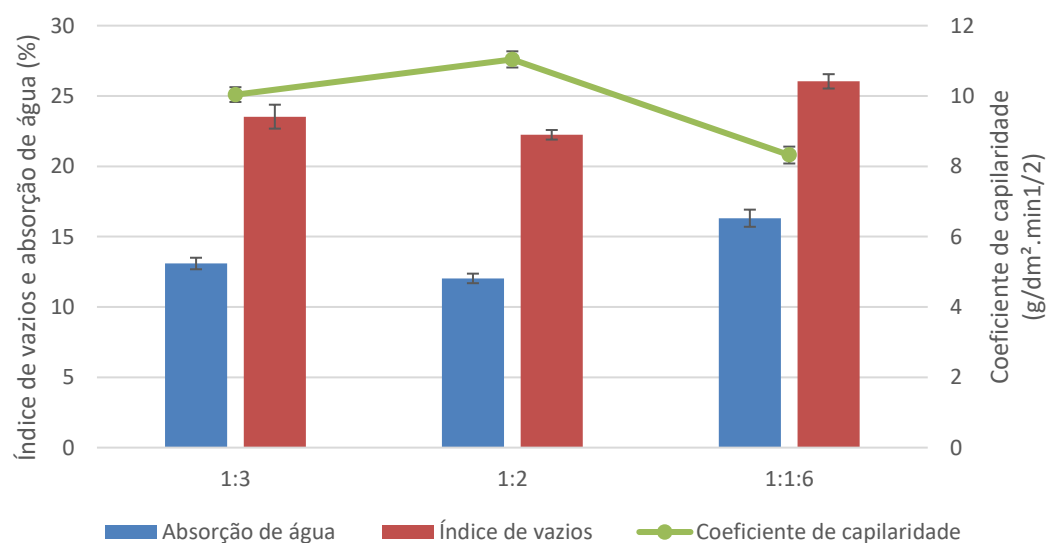


Figura 40 – Resultado dos ensaios de absorção de água, índice de vazios e capilaridade.

Os resultados de resistência mecânica dependem essencialmente da quantidade de cimento adicionada à mistura (RAMESH *et al.*, 2019). A proporção de cimento do traço 1:2 é superior à do 1:3 que, por sua vez, é maior que do traço 1:1:6, assim, a resistência segue a mesma ordem de superioridade.

O aumento da resistência é promovido, principalmente, pela maior densificação da estrutura da argamassa pelos compostos hidratados do cimento (RAMESH *et al.*, 2019), conforme resultados de densidade no estado endurecido.

Além do aumento da resistência, a maior densidade também está diretamente relacionada com o índice de vazios e a absorção de água por imersão da argamassa. A densidade da argamassa é influenciada pela densidade dos materiais envolvidos e pela microestrutura formada pela hidratação da matriz. No caso dos traços utilizados nesta pesquisa, verifica-se que existe um aumento da densidade tanto por parte dos materiais, quanto pela diminuição do índice de vazios.

De forma inversa à absorção de água por imersão, a absorção de água por capilaridade pode ser beneficiada com a diminuição do índice de vazios. Isto ocorre pelo fato da força de sucção capilar só absorver volumes consideráveis de água nos poros ativos (poros com diâmetro entre 0,1 μ m e 10 μ m (SCARTEZINI E CARASEK, 2013). Considerando a escala de valores muito abaixo dos verificados normalmente para os poros de uma argamassa convencional, a densificação e a diminuição dos vazios tendem a aumentar a concentração de poros ativos na argamassa (AZEVEDO *et al.*, 2017). Portanto, a diminuição do índice de vazios da argamassa tende a aumentar seu coeficiente de capilaridade.

4.3 CARACTERIZAÇÃO DOS SUBSTRATOS

Os resultados da verificação das características geométricas dos blocos cerâmicos fabricados na cerâmica são apresentados no Anexo A. Foi realizada a caracterização do tijolo com superfície lisa e do tijolo com a superfície ranhurada, ambos utilizados na etapa I dos ensaios de aderência à tração.

Verifica-se com os resultados obtidos que os blocos cerâmicos coletados na cerâmica atendem aos critérios exigidos pela norma no ensaio de características geométricas.

Os resultados obtidos no ensaio de absorção de água por imersão estão indicados na Tabela 11.

Tabela 11 – Absorção de água dos blocos coletados em cerâmica.

Bloco cerâmico Liso				Bloco cerâmico com Ranhura comum			
Amostra	Massa seca	Massa saturada	Absorção (%)	Amostra	Massa seca	Massa saturada	Absorção (%)
	(g)	(g)			(g)	(g)	
1	1886,32	2285,81	21,18%	1	1911,25	2321,21	21,45%
2	1884,81	2275,35	20,72%	2	1923,42	2335,1	21,40%
3	1899,25	2299,78	21,09%	3	1937,21	2341,28	20,86%
4	1912,36	2324,17	21,53%	4	1925,24	2338,75	21,48%
5	1932,57	2351,78	21,69%	5	1935,91	2349,62	21,37%
6	1894,44	2300,34	21,43%	6	1934,21	2352,49	21,63%
Média			21,27%	Média			21,36%

Considerando que o resultado da absorção por imersão deve apresentar valores entre 8 e 25%, os resultados obtidos para os blocos atendem a norma.

A Tabela 12 apresenta os resultados dos ensaios de absorção inicial de água pelo método da absorvidade proposto pela ASTM.

Tabela 12 – Absortividade dos blocos coletado em cerâmica e dos fabricados em laboratório com diferentes superfícies.

Substrato		Absortividade (mm.min ^{1/2})					
		750°C			900°C		
		W5	W15	W10-150	W5	W15	W10-150
Fabricado na cerâmica	Superfície Lisa	0,609	0,422	0,173	-		
	Superfície com ranhura	0,631	0,437	0,177			
Fabricado no laboratório	Superfície Lisa Seca	0,921	0,648	0,196	1,121	0,752	0,211
	Superfície Lisa Molhada	0,603	0,419	0,169	0,793	0,522	0,189
	Superfície Lisa Saturada	0,321	0,223	0,131	0,488	0,287	0,151
	Superfície Ranhurada Seca	1,023	0,692	0,231	1,182	0,783	0,216
	Superfície Ranhurada Molhada	0,649	0,451	0,193	0,821	0,547	0,191
	Superfície Ranhurada Saturada	0,342	0,226	0,143	0,523	0,263	0,164
	Superfície Chapiscada Seca	0,493	0,302	0,171	0,498	0,304	0,169
	Superfície Chapiscada Molhada	0,446	0,289	0,169	0,453	0,298	0,17
	Superfície Chapiscada Saturada	0,412	0,277	0,161	0,416	0,285	0,165

O ensaio de absorvidade permitiu avaliar, de forma mais representativa aos mecanismos de transporte de água do ensaio de aderência à tração, a absorção de água dos substratos em diferentes combinações. Foram avaliados os blocos coletados na cerâmica, além dos confeccionados em laboratório na extrusora. Foram avaliadas todas as combinações de superfície utilizadas no ensaio de aderência à tração (Lisa, Ranhurada e Chapiscada) combinadas aos três diferentes graus de saturação do bloco (Seco, Molhado e Saturado) nas duas temperaturas de queima (750°C e 900°C).

A Figura 41 ilustra os dados do ensaio de absorvidade apenas do bloco confeccionado em extrusora de laboratório para comparação. A análise gráfica permite identificar as variáveis que mais influenciam na absorvidade.

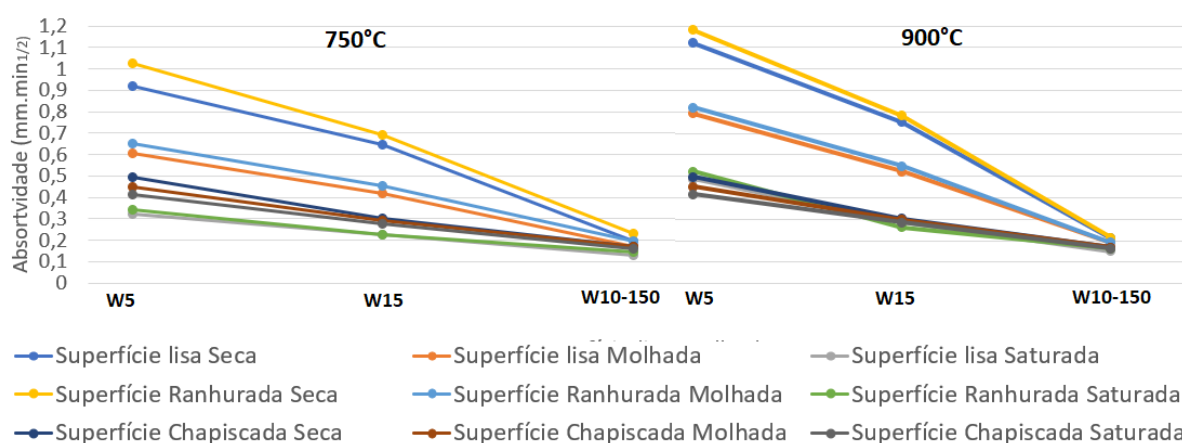


Figura 41 – Resultados de absorvidade dos blocos cerâmicos.

A comparação entre os tipos de superfície apresenta duas variações de comportamento. Entre a superfície lisa e a ranhurada é verificada um aumento mínimo da absorção do bloco ranhurado, assim, como também pode ser observado no bloco cerâmico fabricado em cerâmica. Este comportamento é justificado pela maior área superficial do bloco ranhurado que contribui com a absorção. Vale ressaltar que no cálculo da absorvidade não foi considerada o aumento da área proporcionado pela ranhura. Já a superfície chapiscada apresenta comportamento diferenciado das duas anteriores. O chapisco, que atua na regularização da absorção de água, diminui drasticamente a absorção de água do substrato. Vale

ressaltar que a presença do chapisco também diminui o impacto das outras variáveis.

A variação da saturação do substrato é a variável de maior influência na absortividade, onde a capacidade de absorção cresce à medida que o grau de saturação do bloco cerâmico diminui. Tanto a alteração do grau de saturação de seco para molhado quanto molhado para saturado influenciam de forma muito significativa a absortividade. Sathiparan *et al.* (2018) também verificou significativo aumento da sucção capilar com a secagem do bloco cerâmico. A influência da saturação do bloco cerâmico só é diminuída na presença do chapisco.

A alteração de temperatura também influencia na absortividade, de forma mais significativa que a comparação entre liso e ranhurado. O aumento da temperatura de queima tende a diminuir a porosidade, no entanto, como a capilaridade depende de uma faixa específica de diâmetro de poros com valores muito baixos, o aumento da temperatura tende a aumentar a absortividade, assim como também obtido por Azevedo *et al.* (2018). O autor verificou que a absorção inicial dos blocos passou de 13,7 para 18,8 g/193,55cm²/min ao aumentar a temperatura de 750°C para 950°C. O aumento é atribuído às transformações microestruturais dos compostos da argila que diminui a porosidade do bloco cerâmico.

A Figura 42 apresenta os dados obtidos nos ensaios de compressão, nos blocos cerâmicos coletados na cerâmica, e tração por arrancamento, nos blocos confeccionados em extrusora

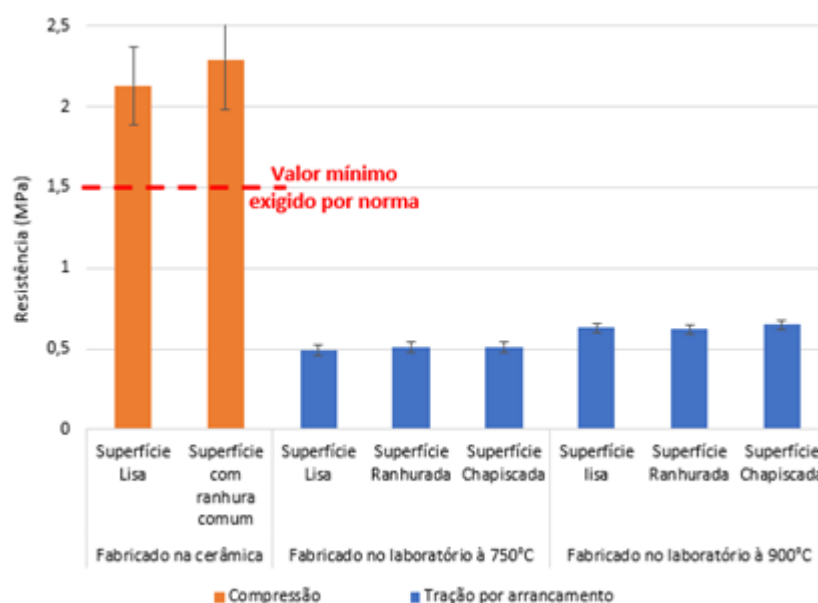


Figura 42 – Resistência mecânica dos blocos cerâmicos

Já na verificação da resistência por arrancamento nos blocos cerâmicos fabricados em laboratório, verifica-se a grande similaridade nos resultados obtidos na comparação entre as superfícies, como já era esperado. A presença da ranhura ou do chapisco pouco influenciam a resistência mecânica do substrato.

No entanto, na comparação entre as temperaturas, verifica-se um significativo aumento de resistência conforme aumenta-se a temperatura de queima. O aumento da temperatura de queima promove mudanças na estrutura interna e maior densificação do bloco cerâmico, devido à formação da metacaulinita e hematita, aumentando assim sua resistência mecânica (AZEVEDO *et al.*, 2018). Este aumento da resistência mecânica também é refletido na resistência à tração pelo arrancamento.

4.4 DEFINIÇÃO DA RANHURA POR MODELAGEM MATEMÁTICA

Conforme visto nas considerações iniciais, as avaliações dos parâmetros da geometria devem partir de um modelo baseado nas resistências mecânicas dos materiais. Considerando a resistência da cerâmica, com valores 0,49 e 0,65MPa, e

a da argamassa, que pelos mecanismos de aderência tradicionais deve apresentar 0,3MPa, foi definida a geometria ilustrada na Figura 43.

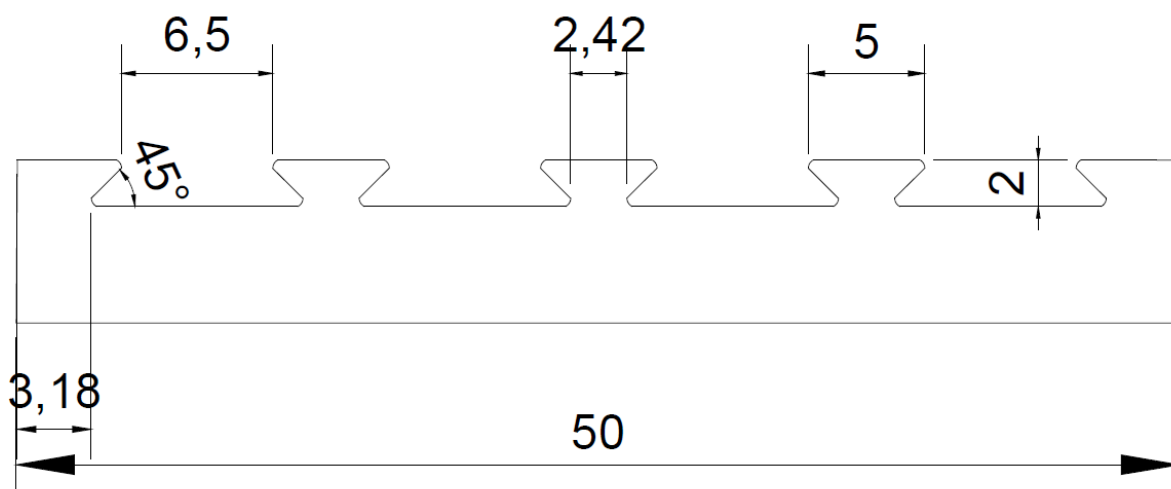


Figura 43 – Modelo base da ranhura, em mm.

A geometria proposta acima possui uma seção transversal mínima de cerâmica na altura da ranhura de: três ranhuras centrais com 2,42mm mais duas laterais com 3,18mm, totalizando 13,62mm, que corresponde a 27% do total de 50mm possíveis.

Já a seção transversal mínima da argamassa na altura da ranhura corresponde às quatro aberturas de 6,5mm, totalizando 26mm, que corresponde a 52% do total de 50mm possíveis.

A proporção adotada visa um maior equilíbrio e utilização do potencial de cada um dos materiais. Ajustes quanto aos valores adotados foram avaliados pelo método dos elementos finitos.

4.4.1 Análise do ângulo α da ranhura.

Conforme proposto na metodologia, foram avaliados cinco ângulos de inclinação da ranhura: 15°; 30°; 45°; 60° e 75°.

Quanto maior o ângulo, maior é a área da seção transversal dos materiais, tanto da cerâmica quanto da argamassa, e menor é o espaço de preenchimento da argamassa dentro da ranhura responsável pela macroancoragem.

A Figura 44 apresenta os resultados obtidos pelas análises no *software Abaqus* para cada um dos ângulos propostos. A Tabela 13 apresenta os resultados da área do gráfico para cada um dos ângulos propostos.

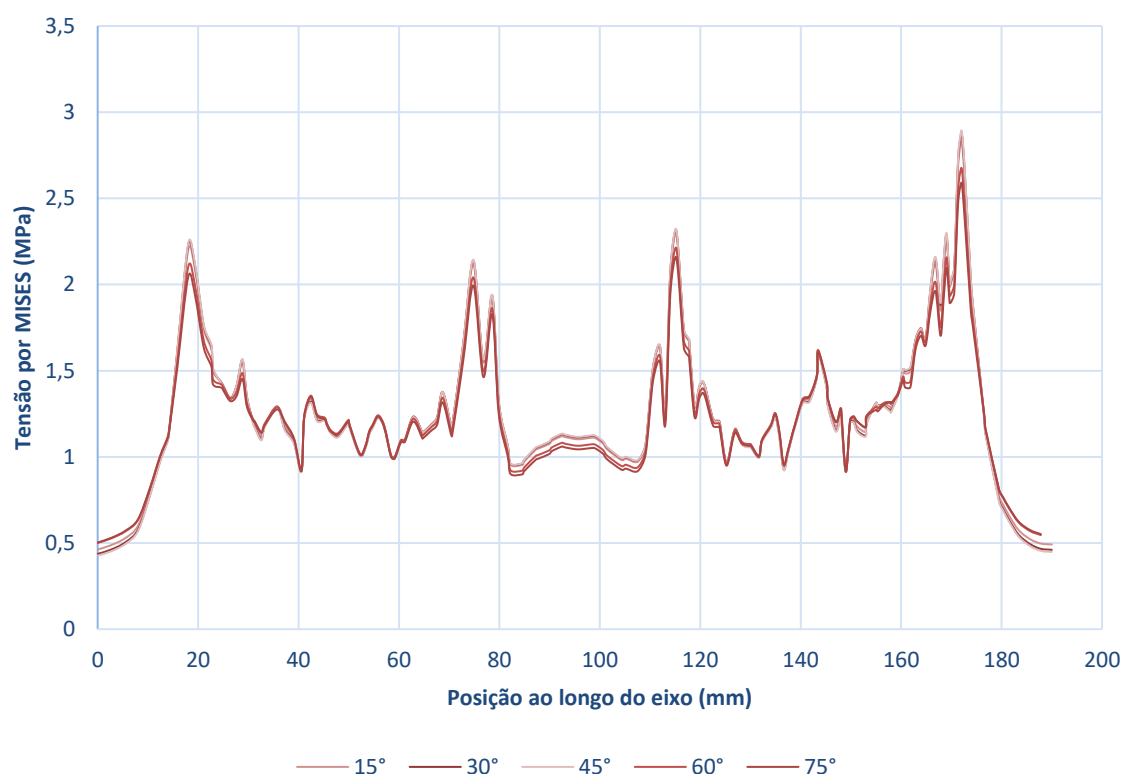


Figura 44 – Distribuição das tensões dos ângulos da ranhura.

Tabela 13 – Área sob o gráfico da distribuição das tensões dos ângulos da ranhura.

Ângulo	15°	30°	45°	60°	75°
Área do gráfico (MPa.mm)	236,36	235,95	235,68	233,51	230,14

Conforme pode ser observado, tanto pela Figura 44, quanto pela Tabela 13, a variação do ângulo da ranhura influencia de forma mínima a distribuição das tensões. Pode ser observado pelo gráfico que uma pequena diminuição dos picos

de tensão, localizados próximos ao 18, 75, 115 e 170mm. Além disso, verifica-se uma menor tensão distribuída entre 80 e 110mm para os maiores ângulos de inclinação.

Portanto, verifica-se a seguinte tendência, quanto maior o ângulo da ranhura, menor a tensão entre os materiais, ou seja, a simulação indica que o crescimento da seção transversal possui maior influência do que o aumento do espaço de ancoragem na ranhura.

Com os resultados obtidos, optou-se por adotar o ângulo de 60° como padrão por dois motivos. O primeiro, prático, refere-se à fabricação da boquilha para confecção dos blocos cerâmicos com a nova ranhura. A utilização de ângulos com 30°, 45° e 60° é tradicional na fabricação de peças. A utilização de um ângulo como o de 75° poderia dificultar ou até impedir a fabricação da boquilha. O segundo motivo refere-se às propriedades da argamassa. Foi considerado na modelagem argamassas perfeitamente aderida ao substrato, no entanto, é recorrente o aparecimento de falhas entre a superfície dos materiais. O aparecimento de uma falha na ranhura impediria a macroancoragem. O maior espaço internamente na ranhura permite uma melhor macroancoragem mesmo com pequenas falhas.

4.4.2 Análise da profundidade da ranhura (H)

Conforme proposto na metodologia, foram avaliadas quatro profundidades (H) de ranhura: 1,5mm; 2,0mm; 2,5mm e 3mm.

Quanto maior a profundidade da ranhura, maior o espaço de ancoragem dentro da ranhura. No entanto, ocorre uma ligeira diminuição da seção transversal dos materiais (cerâmica e argamassa) e aumenta-se o custo de energético e de material na fabricação dos blocos cerâmicos.

A Figura 45 apresenta os resultados obtidos pelas análises no *software Abaqus* para cada uma das profundidades propostas. A Tabela 14 apresenta os resultados da área do gráfico para cada uma das profundidades propostas.

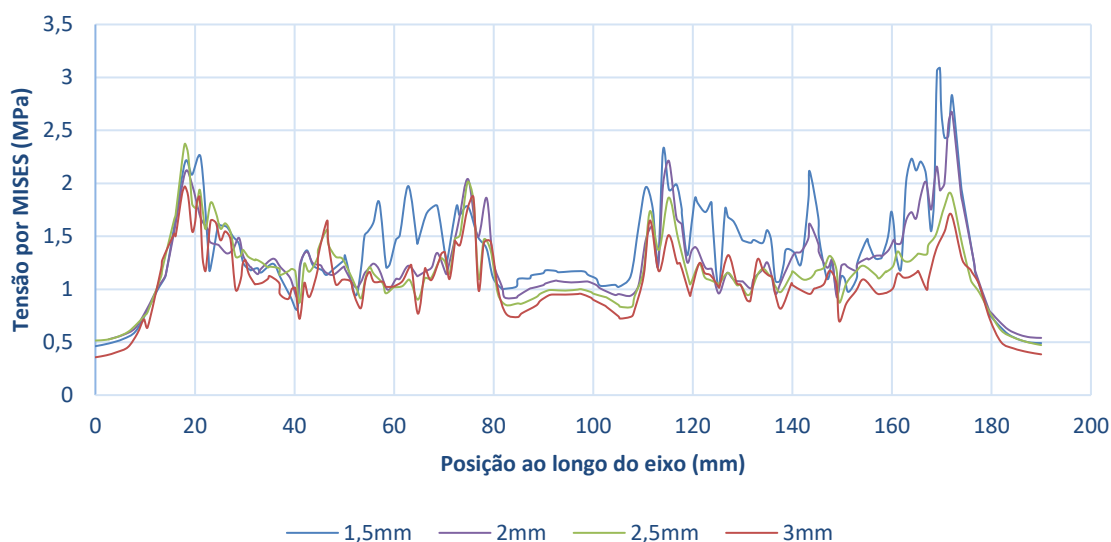


Figura 45 – Distribuição das tensões das profundidades da ranhura.

Tabela 14 – Área sob o gráfico da distribuição das tensões das profundidades da ranhura.

Profundidade	1,5mm	2mm	2,5mm	3mm
Área do gráfico (MPa.mm)	256,23	233,51	218,31	199,41

Conforme pode ser observado, tanto pela Figura 45, quanto pela Tabela 14, a variação da profundidade possui influencia significativa na distribuição das tensões. Quanto maior a profundidade da ranhura, menor a tensão distribuída ao longo da seção analisada.

Percebe-se uma diminuição considerável da tensão a cada variação de 0,5mm da profundidade. Portanto, para diminuir a tensão e aumentar a eficiência da ranhura, a profundidade da ranhura deve ser a maior possível, dentro das limitações dos ceramistas.

Com a análise dos resultados obtidos, e principalmente, em consulta informal aos responsáveis pela produção de blocos cerâmicos na região, a profundidade da ranhura foi limitada aos tradicionais 2mm. O aumento energético e de material necessário para alterar 0,5mm na profundidade, por exemplo, teria um

impacto muito alto na cerâmica, já na distribuição das tensões a redução foi de apenas 7% no somatório total.

4.4.3 Definição da nova ranhura

Após todas as análises dos parâmetros da geometria da ranhura, a geometria final está ilustrada na Figura 46.

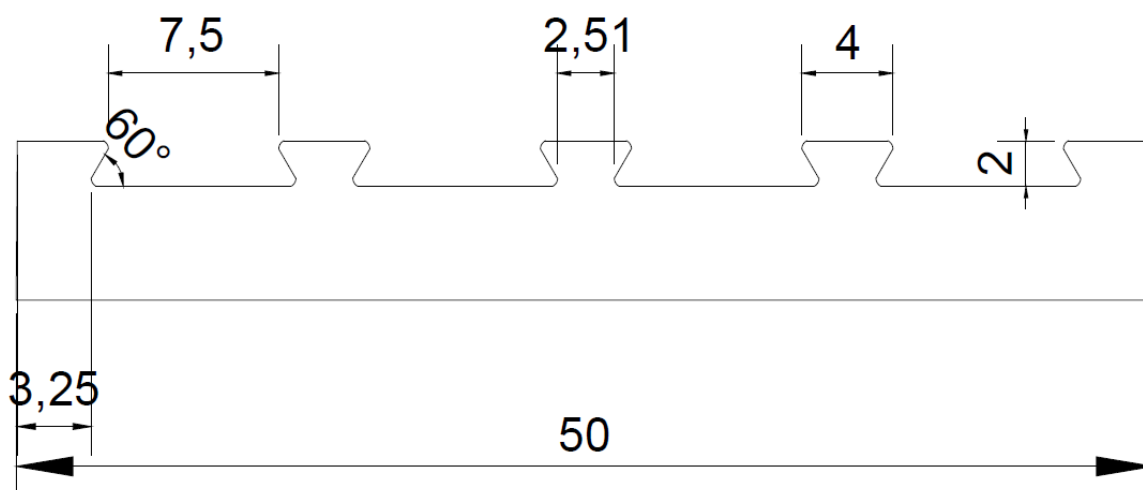


Figura 46 – Modelo da ranhura definitiva, em mm.

A geometria proposta acima possui uma seção transversal mínima de cerâmica na altura da ranhura de: três ranhuras centrais com 2,51mm mais duas laterais com 3,25mm, totalizando 14,03mm, que corresponde a 28% do total de 50mm possíveis.

Já a seção transversal mínima da argamassa na altura da ranhura corresponde às quatro aberturas de 7,5mm, totalizando 30mm, que corresponde a 60% do total de 50mm possíveis.

4.5 ADERÊNCIA À TRAÇÃO (ETAPA 1 – TESTE INICIAL)

A figura 47 apresenta os resultados obtidos nos ensaios testes iniciais propostos na etapa 1.

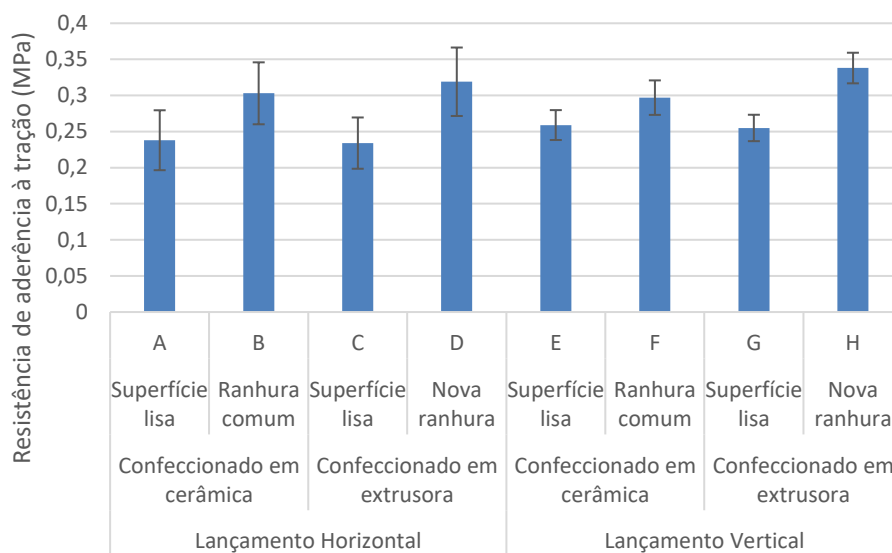


Figura 47 – Resultados dos ensaios de aderência à tração – Etapa 1.

Os resultados obtidos nos ensaios indicam uma pequena variação entre os resultados comparando as metodologias de aplicação. O Anexo B apresenta o detalhamento da análise estatística, onde foi confirmada a correlação estatística entre as metodologias.

A mudança no sentido de lançamento, como visto anteriormente, já é difundida no meio acadêmico. Stolz (2016) encontrou valores no ensaio de aderência à tração entre 0,4 a 1,0 MPa, sendo assim, a utilização desta metodologia permite a obtenção de valores elevados de aderência.

No entanto, havia uma preocupação se a mudança continuaria sendo efetiva ao utilizar a nova ranhura. Pela necessidade de preenchimento da ranhura e a aparente dificuldade de preenchimento durante o lançamento horizontal, a substituição poderia alterar os reais valores. No entanto, como verificado na Figura 47, os resultados dos ensaios em ambos os sentidos de lançamento foram similares. Foi verificado durante o experimento que o preenchimento da ranhura é

constatado em quase todas as regiões analisadas, tanto para o lançamento horizontal, quanto para o vertical. Portanto, considerando a fluidez da argamassa e a força de aplicação do lançamento horizontal, a argamassa preenche a ranhura do bloco cerâmico, assim como no lançamento vertical. A Figura 48 (a) apresenta a ranhura preenchida com a argamassa, situação com maior frequência, e a Figura 48 (b) apresenta a ranhura com falhas no preenchimento da argamassa, situação apenas pontuais.

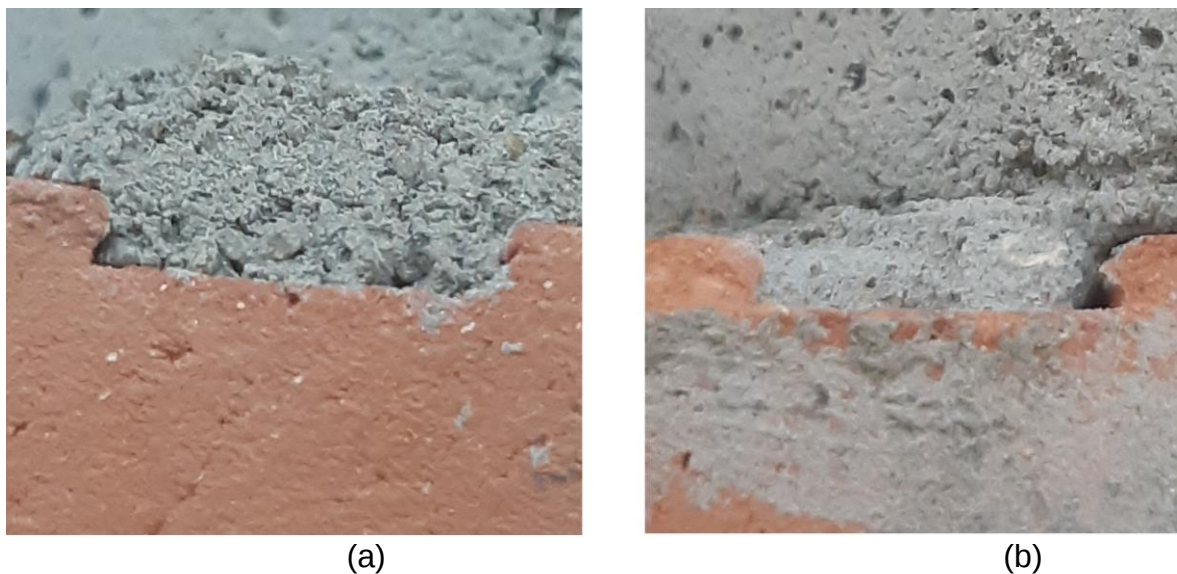


Figura 48 – Preenchimento da ranhura pela argamassa: (a) Ranhura preenchida; (b) Ranhura com falha de preenchimento.

A utilização desta metodologia, apesar de não haver registros de algo similar na bibliografia, garantiu diversas vantagens, dentre elas destacam-se:

- Possibilitou o prático acondicionamento dos corpos de prova em laboratório, com condições ambiente controladas, onde a cura, mesmo em datas diferentes, ocorreu em condições ambientes similares.
- O baixo custo de fabricação da ranhura, visto que uma boquilha para bloco cerâmico possui alto custo devido às grandes dimensões para fabricação do bloco cerâmico, enquanto que na extrusora, uma pequena boquilha foi criada para confecção dos corpos de prova.

- Diminuição da interferência de fatores externos durante a preparação dos corpos de prova, onde seria necessário o corte com serra copo do revestimento para delimitação do corpo de prova no ensaio de aderência. A utilização desta metodologia permitiu a execução do revestimento de argamassa já com as dimensões do ensaio de arrancamento (5cm de diâmetro) limitadas por molde.

4.6 ADERÊNCIA À TRAÇÃO (ETAPA 2 – PROGRAMA EXPERIMENTAL)

Os resultados dos ensaios realizados na segunda etapa do programa experimental estão indicados nas tabelas do anexo C. A Figura 49 ilustra graficamente os resultados obtidos.

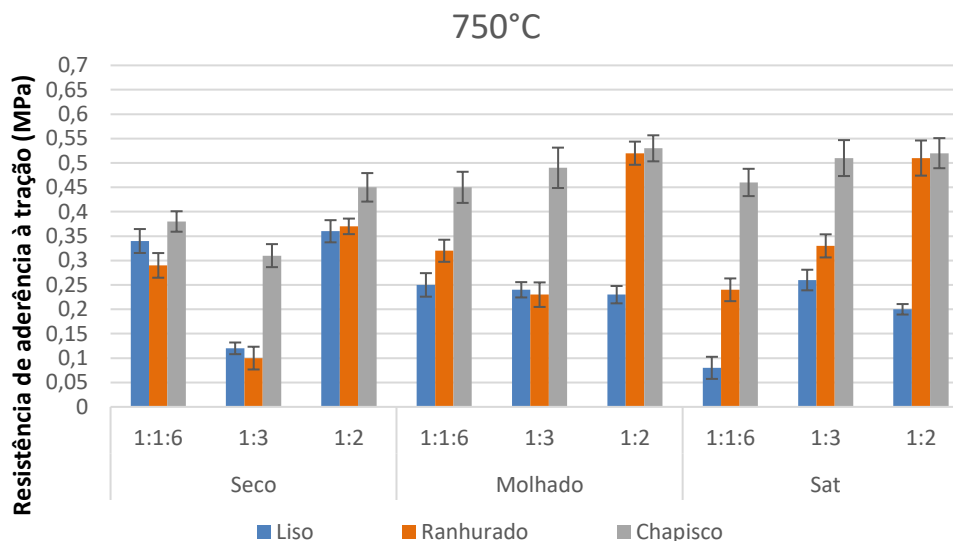


Figura 49 – Resultados dos ensaios de aderência à tração: Comparação entre superfícies.

4.6.1. Avaliação das superfícies

Como pode ser verificado pela Figura 49, de forma geral, o chapisco apresenta desempenho superior ao do Ranhurado, que por sua vez apresenta desempenho superior ao do Liso. O desempenho entre as superfícies dos substratos varia conforme se altera as outras variáveis propostas. Em seu trabalho de revisão bibliográfica, Vaz (2019) identificou que a resistência de aderência com a presença do chapisco é em torno de 35% maior que na superfície lisa. Já a presença da ranhura comum indica um aumento médio de 12%.

➤ Superfície lisa

A aderência na superfície lisa depende essencialmente da aderência por microancoragem, portanto, para que a aderência tenha desempenho satisfatório, é necessário que a retenção de água da argamassa e a absorção de água por sucção capilar do bloco cerâmico sejam compatíveis.

Na condição de saturação seca, os traços 1:1:6 e 1:2 apresentaram aderência maior que 0,3MPa, visto que estes traços possuem alta retenção de água e foram aplicados em blocos cerâmicos com alta capacidade absorptiva propiciando aderência por microancoragem. No entanto, o traço 1:3, apresenta baixa retenção de água, assim, nesta condição de saturação, o transporte de água se torna elevado, prejudicando a adequada hidratação da argamassa de revestimento, obtendo resultados de aderência próximos à 0,12MPa.

Na condição de saturação molhada, os três traços apresentaram desempenho similares, com valores próximos à 0,24MPa. Este equilíbrio indica a perda de aderência com a diminuição do transporte de água e consequentemente da microancoragem para os traços 1:1:6 e 1:2. A influência da saturação dos blocos cerâmicos nas propriedades mecânicas e na aderência também foram verificados por Sathiparan e Rumeskumar (2018). Os autores verificaram diminuição de 18% na resistência mecânica e 20% na aderência ao utilizar blocos saturados comparados aos blocos secos. Já o traço 1:3 apresenta evolução significativa da aderência, comparada à condição seca, já que esta combinação permite maior hidratação da argamassa de revestimento.

Na condição saturada, a tendência verificada acima também se confirma. Traços com alta retenção de água apresentam diminuição da aderência devido à dificuldade no transporte de água. O traço 1:1:6 apresenta valores próximos à 0,08MPa enquanto o traço 1:2 apresenta 0,2MPa. Já o traço 1:3 não aumenta seu potencial de aderência por limitações na resistência mecânica deste traço de argamassa e permanece com valores próximos a 0,26MPa.

➤ Superfície ranhurada

Considerando que a superfície ranhurada permite a aderência tanto por microancoragem quanto por macroancoragem, os resultados de aderência apresentam tendências diferentes se comparadas à superfície lisa.

Na condição de saturação seca, existe intenso transporte de água da argamassa para o bloco cerâmico, assim, a microancoragem destaca-se na aderência. Os traços com alta retenção de água (1:1:6 e 1:2) são beneficiados pela alta capacidade absorviva do bloco cerâmico. O traço 1:2 apresentou ainda resistência ligeiramente superior ao 1:1:6, 0,37MPa e 0,29MPa respectivamente. A maior aderência do traço 1:2 é justificada pela maior resistência mecânica deste traço, tornando o traço 1:1:6 mais suscetível à ruptura na argamassa. Já o traço 1:3, que possui baixa retenção de água, apresenta excessivo transporte de água, diminuindo a resistência mecânica da argamassa, assim, apresenta baixa desempenho na aderência com 0,1MPa.

Na condição de saturação molhada, o desempenho foi influenciado tanto pela retenção de água quanto pela resistência mecânica da argamassa. O traço 1:1:6 apresentou aderência de 0,32MPa, valor aceitável pela norma e considerado satisfatório, assim como o traço 1:2 que obteve 0,52MPa de aderência. No entanto, o traço 1:3 apresentou apenas 0,23MPa. O bom desempenho do traço 1:2 deve-se a alta resistência mecânica que não foi prejudicada pelo transporte de água e promove a macroancoragem. O mesmo bom desempenho poderia ser alcançado pelo traço 1:1:6 pela adequada condição de transporte de água, no entanto, a resistência mecânica do traço limita a aderência. Já o traço 1:3 apresenta significativo transporte de água que prejudica sua aderência.

Na condição saturada, o desempenho do traço 1:2 foi idêntico à condição molhada, baixo transporte de água que permite alta resistência mecânica da

argamassa e aderência de 0,51MPa. O traço 1:3 apresenta uma significativa melhora na aderência comparada a condição molhada, visto que o transporte de água diminui ainda mais permitindo maior resistência mecânica da argamassa e aderência de 0,33MPa. Já o traço 1:1:6 não apresenta resistência mecânica elevada, mesmo com a diminuição do transporte de água, assim, considerando que a microancoragem também é prejudicada pela diminuição do transporte de água, o traço apresenta baixo desempenho com aderência de 0,24MPa.

Pagnussat (2013) utilizando o traço 1:1:6 em blocos cerâmicos com menor capacidade de sucção, com a utilização de parafina para vedar parcialmente os poros, verificou que a presença da ranhura simples (padrão) não afeta a aderência de forma significativa, mantendo valores próximos a 0,09MPa. Diferente do encontrado por Pagnussat (2013), neste trabalho a presença da ranhura criada afeta de forma significativa a aderência se comparada ao bloco cerâmico liso, passando de 0,08MPa para 0,24MPa.

➤ Superfície chapiscada

A superfície chapiscada apresentou desempenho acima de 0,3MPa para todas as combinações testadas. O bom desempenho justifica-se pelo eficiente controle do transporte de água da argamassa para o bloco cerâmico. Mesmo na combinação mais extrema, argamassa com baixa retenção de água e substrato seco, a aderência com chapisco apresentou desempenho satisfatório com 0,31MPa. No entanto, deve ser destacado que as condições de transporte de água influenciam o substrato chapiscado, mas de forma mais controlada que a superfície não chapiscada. Assim como verificado por Neno *et al.* (2014), que ao aplicar duas argamassas com retenção de água diferentes, 63,8% e 89,26%, alcançou resistência de aderência estatisticamente similares, 0,33MPa e 0,27MPa.

A maior saturação do substrato para o lançamento do chapisco tende a aumentar a aderência do revestimento, já que o chapisco sofre menos com a perda de água para o substrato quando o mesmo é lançado.

O desempenho da superfície chapiscada varia de acordo com a potencial perda de água da argamassa de revestimento e a resistência mecânica desta argamassa. O traço 1:2 possui alta resistência mecânica e alta retenção de água, assim, apresentou um bom desempenho para qualquer condição de saturação do

substrato. O traço 1:1:6 possui alta retenção de água e é pouco afetado pela saturação do bloco cerâmico, tendo sua aderência limitada pela resistência mecânica deste traço. Já o traço 1:3, apresenta retenção de água inferior e está mais suscetível a condição de saturação do bloco cerâmico, tendo aderência consideravelmente superior à medida que o bloco cerâmico é saturado.

4.6.2. Análise dos padrões de ruptura

Conforme pode ser verificado pela Figura 50, os tipos de ruptura apresentam padrões que serão destacados a seguir:

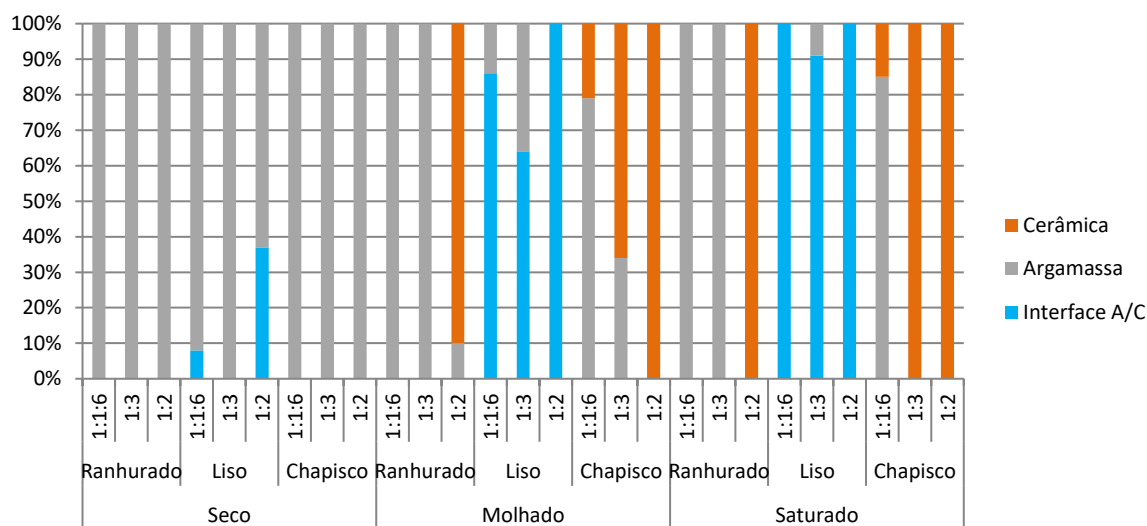


Figura 50 - Detalhamento do tipo de ruptura no ensaio de aderência à tração do bloco queimado à 750°C.

Todas as rupturas dos blocos cerâmicos secos foram na argamassa, indicando um excessivo transporte de água da argamassa para o bloco cerâmico que prejudica a correta hidratação da argamassa. A Figura 51 (a) apresenta um exemplo de ruptura ocorrida na argamassa. Vale destacar que a ruptura ocorre na região mais próxima do bloco cerâmico, ou seja, a mais afetada pela perda de água. Também deve ser apontado que, apesar de também apresentar ruptura na argamassa, o bloco com a nova ranhura apresenta ruptura diferenciada e que será detalhada a seguir.

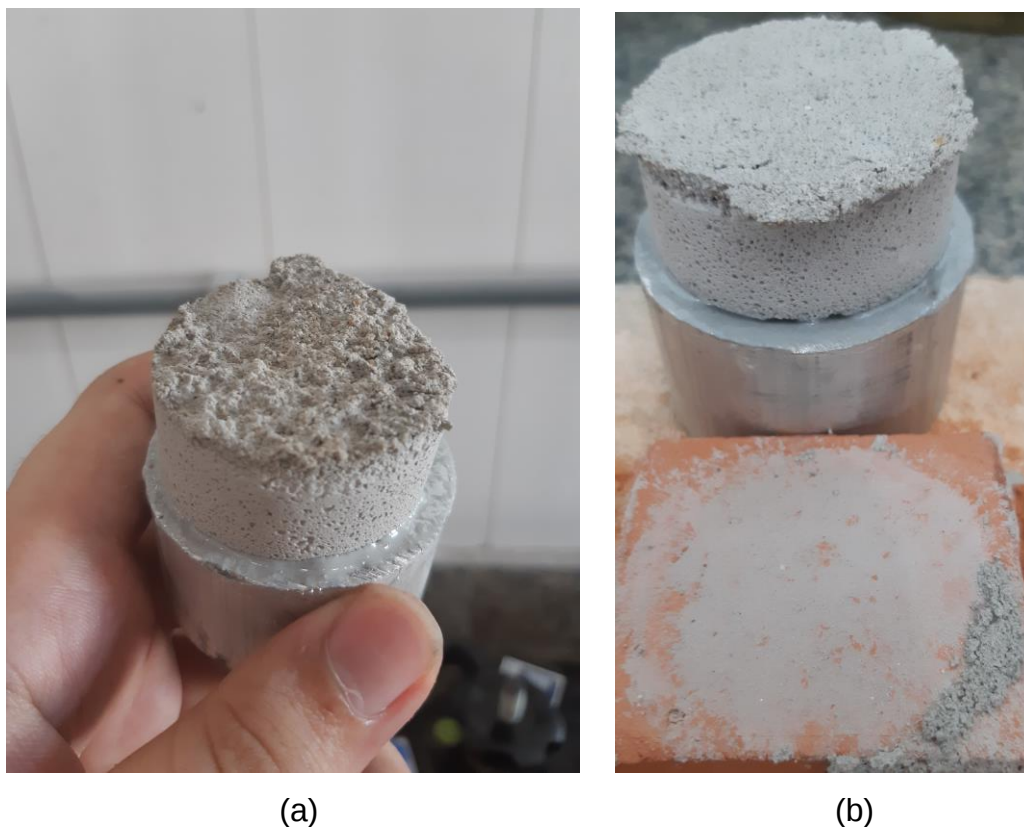


Figura 51 – Ruptura do ensaio de aderência à tração: (a) Argamassa; (b) Interface Argamassa/Cerâmica.

Os blocos lisos romperam predominantemente na interface entre a argamassa e bloco cerâmico nas condições molhada e saturada indicando dificuldade de microancoragem, além disso, não obtiveram a resistência mínima de 0,3MPa. As únicas combinações que atingiram a microancoragem mínima na aplicação sobre blocos lisos foram as combinações utilizando bloco seco e traços com alta retenção de água (1:2 e 1:1:6) devido ao adequado transporte de água entre o substrato e a argamassa de revestimento. A Figura 51 (b) apresenta a ruptura padrão típica de um bloco liso na interface argamassa/cerâmica.

Os blocos ranhurados não permitem uma ruptura na interface entre argamassa e o bloco cerâmico, devido à ancoragem na ranhura. Portanto, as rupturas ocorreram, de forma geral, na argamassa. As únicas exceções foram na utilização do traço 1:2 em condições de saturação “molhado” e “saturado”, e o traço 1:3 aplicado em bloco “saturado”, pois a alta resistência mecânica do traço aliada à baixa perda de água da argamassa proporcionaram para a macroancoragem resistência superior à do bloco cerâmico.

Em relação à ruptura na argamassa, foi verificado uma significativa variação na ruptura. Enquanto blocos lisos e blocos ranhurados apresentam ruptura em toda extensão da seção transversal da argamassa, esperava-se que a ruptura com a utilização da nova ranhura fosse na ligação entre a argamassa que preencheu a ranhura e a camada de 2 cm de revestimento fora da ranhura, por ser o local de menor área de contato. No entanto, nenhuma das rupturas apresentou o comportamento acima citado, a ruptura na argamassa ao utilizar a nova ranhura foi predominantemente por cisalhamento, além de parcialmente em alguns pontos na seção transversal, conforme modelos da Figura 52. A Figura 53 e 54 ilustram a forma de ruptura predominante na argamassa dos blocos cerâmicos ranhurados.

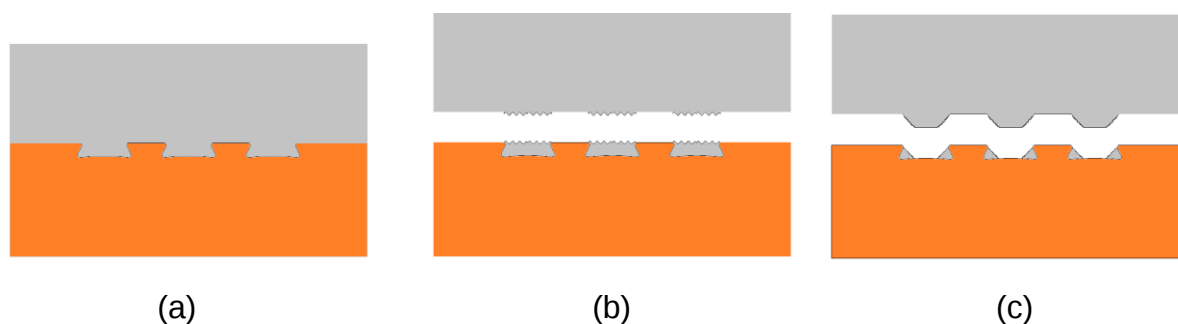


Figura 52 – Modelos do tipo de ruptura na argamassa com bloco cerâmico ranhurado: (a) Posição inicial; (b) Ruptura esperada; (c) Ruptura ocorrida.



Figura 53 – Bloco cerâmico na ruptura na argamassa utilizando a nova ranhura.



a)



(b)

Figura 54 – Ruptura na argamassa na combinação com o bloco cerâmico utilizando a nova ranhura: (a) Ruptura parcial na cerâmica (b) Ruptura total na argamassa.

Com as ilustrações, é possível verificar a que argamassa preenche por completo a ranhura, mas durante a execução do ensaio de arrancamento, a argamassa responsável pelo preenchimento da ranhura rompe por cisalhamento. A ruptura, não convencional, surge pela baixa espessura da argamassa que preenche a ranhura. Considerando que os valores obtidos no ensaio, em geral, são elevados, a geometria definida pela metodologia inicial, mesmo que apresente ruptura por cisalhamento, apresenta elevada resistência. O aumento da resistência ao cisalhamento seria solucionado pelo aumento da profundidade da ranhura, no entanto, seria necessário o aumento da parede externa da cerâmica, alterando outras geometrias padrões dos blocos cerâmicos que a princípio, não era pretendido modificações nesta variável.

Conforme também pode ser verificado pelos tipos de ruptura, o bloco cerâmico ranhurado também apresenta ruptura na cerâmica, ou seja, a resistência ao cisalhamento superou a resistência do bloco cerâmico. No entanto, esperava-se que unanimemente fosse verificada rupturas na ligação entre o bloco cerâmico e a

ranhura. Nas verificações das rupturas nos blocos cerâmicos, a ruptura ocorre tanto no destacado acima quanto na seção transversal do bloco cerâmico. A Figura 55 apresenta os modelos de ruptura na cerâmica.

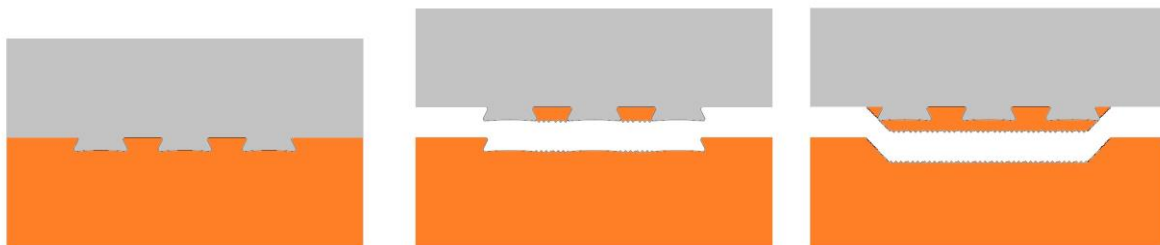


Figura 55 – Modelos do tipo de ruptura na cerâmica com bloco cerâmico ranhurado: (a) Posição inicial; (b) Ruptura esperada; (c) Ruptura ocorrida.

A Figura 56 apresenta os dois tipos de ruptura verificados nos blocos cerâmicos com ranhura.

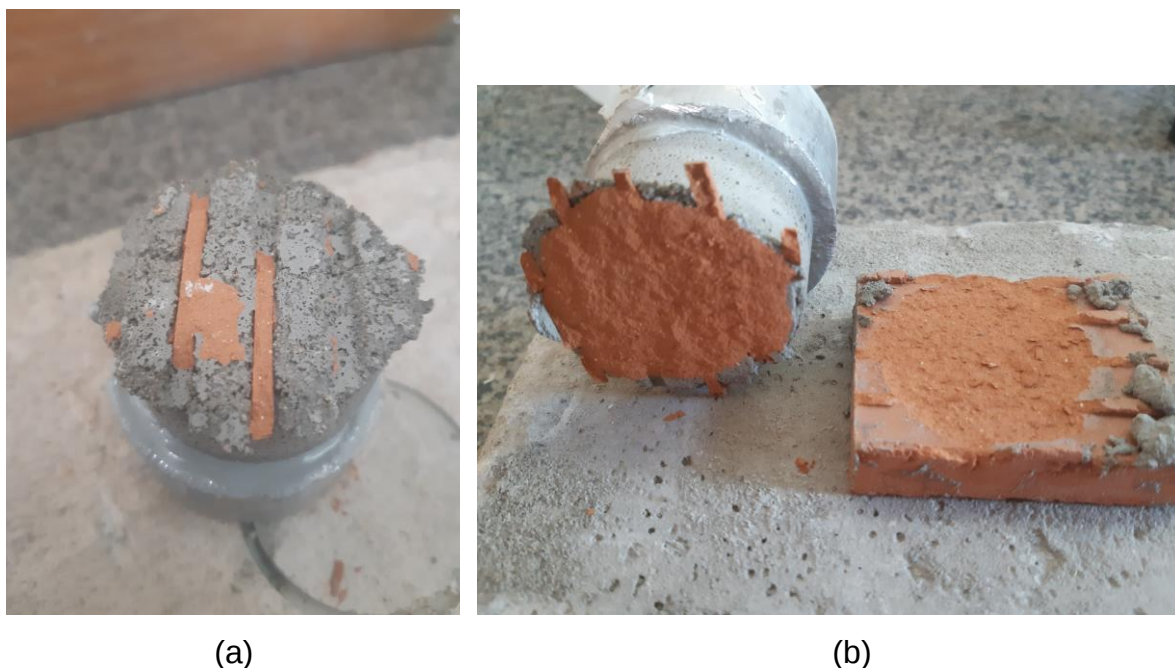


Figura 56 – Ruptura no bloco cerâmico com a utilização da nova ranhura. (a) Ruptura na ligação entre a ranhura e o bloco cerâmico; (b) Ruptura na seção transversal do bloco cerâmico.

No caso das rupturas dos blocos cerâmicos, a microancoragem da argamassa no bloco cerâmico aliada à absorção de cimento que fortalece a

ranhura do bloco cerâmico, promoveram a alteração do tipo de ruptura. No entanto, em ambos os casos, os valores de ruptura apresentam valores elevados, acima dos outros tipos de ruptura.

Uma das variações de ruptura no bloco cerâmico encontradas no ensaio de aderência à tração utilizando a nova ranhura foi a ilustrada na Figura 57.



Figura 57 – Ruptura na seção transversal do bloco cerâmico no ensaio de aderência à tração.

Verifica-se pela imagem que a ruptura não foi delimitada pela seção transversal da argamassa, mas por toda a seção transversal do bloco cerâmico, superando os limites estabelecidos pela aderência da argamassa. Este tipo de ruptura, que também poderia ter sido encontrado utilizando outras superfícies, alerta sobre a delimitação com a serra copo no ensaio. A delimitação da serra copo nos ensaios em revestimentos aplicados por lançamentos horizontais penetram apenas alguns milímetros no substrato, portanto, toda a seção transversal do tijolo adjacente ao pequeno furo contribui com a resistência da cerâmica. No caso do bloco cerâmico confeccionado em extrusora, a seção transversal do tijolo é muito inferior ao bloco cerâmico, e portanto, mais suscetível à romper nesta região. Já nos blocos cerâmicos, a região adjacente que não é isolada pela delimitação, contribui com a resistência à ruptura na seção transversal do tijolo.

As rupturas dos blocos cerâmicos com aplicação de chapisco foram distribuídas entre a camada de argamassa e o bloco cerâmico. Mesmo que fosse

possível a ruptura na interface, tanto entre o chapisco e o bloco cerâmico quanto entre o chapisco e a argamassa, a ruptura não ocorreu em nenhum momento nestas interfaces. A utilização do chapisco em combinação com traços de alta resistência mecânica (1:2 e 1:3) em condições de saturação do substrato com menor capacidade absorptiva tornaram as rupturas predominantemente na cerâmica. Nas combinações restantes, a utilização de um traço 1:1:6 com resistência mecânica inferior ou condição de saturação do substrato com alta capacidade absorptiva promoveram a ruptura na camada de argamassa. De forma similar, Sentena *et al.* (2018) a ruptura dos blocos cerâmicos chapiscados foram na camada de argamassa, utilizando o traço 1:1:6, evidenciando a baixa resistência mecânica do traço.

A figura 58 apresenta uma ruptura parcial entre a argamassa e o bloco cerâmico chapiscado.



Figura 58 – Ruptura parcial entre a argamassa e o bloco cerâmico chapiscado.

4.6.3. Análise da Temperatura de queima dos blocos cerâmicos

A Figura 59 apresenta os dados obtidos no ensaio de aderência à tração comparando os resultados dos blocos cerâmicos queimados à 750°C e 900°C. A Figura 60 apresenta os tipos de ruptura padrão obtidos nos ensaios de aderência.

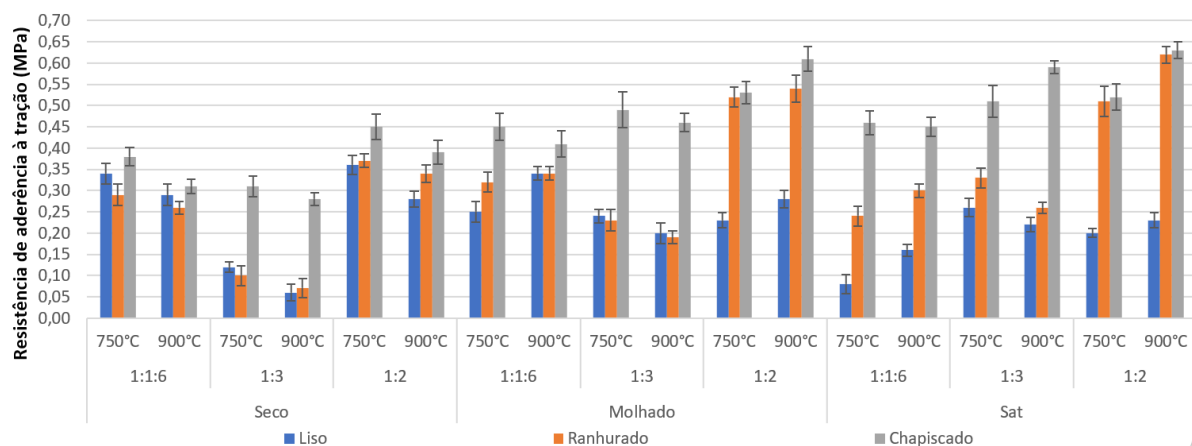


Figura 59 – Comparação dos resultados dos ensaios de aderência à tração dos blocos cerâmicos queimados à 750 e 900°C.

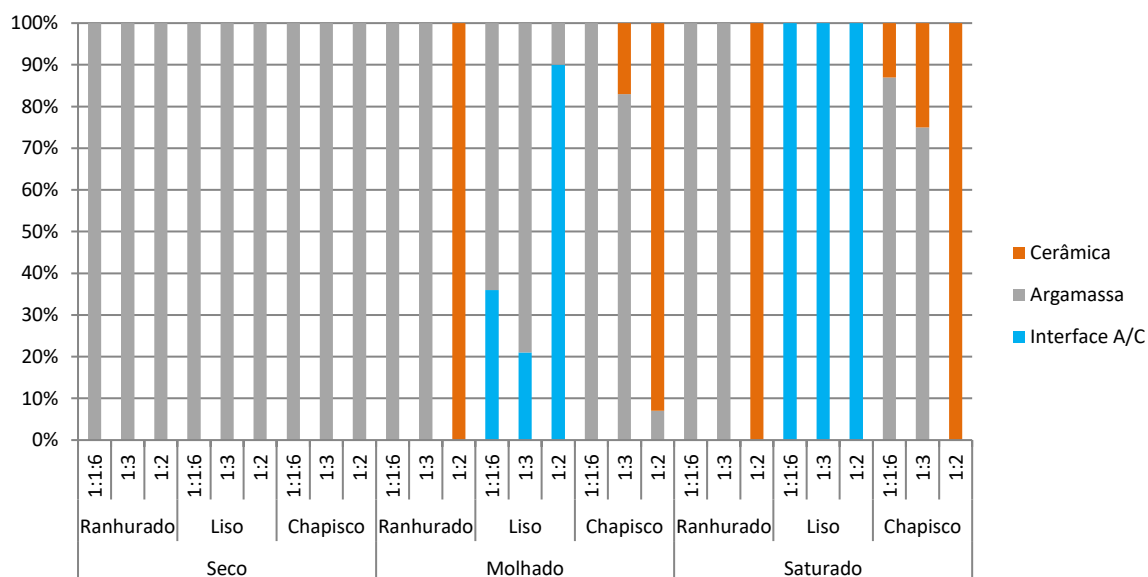


Figura 60 - Detalhamento do tipo de ruptura no ensaio de aderência à tração do bloco queimado à 900°C.

A comparação entre os tipos de superfície dos blocos queimados a 900°C apresentaram tendências de variação similares entre os tipos de superfície dos blocos queimados à 750°C na condição de saturação seca e já explicados acima. No entanto, vale destacar a notável tendência de diminuição das resistências para os blocos queimados a 900°C. Na condição de saturação seca o substrato já apresenta alta capacidade absorviva e predominância de ruptura na argamassa por problemas de hidratação, a alteração da temperatura de queima de 750°C para 900°C potencializa a capacidade de absorção do substrato. A combinação da condição de saturação seca com a queima a 900°C do substrato promove um volume de transferência de água elevado que prejudica a correta hidratação do revestimento nesta combinação.

Ao analisar a condição de saturação molhada, verifica-se que os traços 1:3 e 1:2 foram minimamente afetados pela alteração da temperatura de queima. Os únicos destaques que podem ser apontados em relação a esses traços são: 1) A ligeira diminuição da resistência dos blocos lisos e ranhurados revestidos pelo traço 1:3 quando queimados à 900°C; 2) O aumento da resistência dos blocos lisos e chapiscados revestidos pelo traço 1:2 quando queimados à 900°C. O primeiro destaque pode ser justificado pela baixa capacidade de retenção do traço 1:3 que é mais suscetível à perda de resistência por problemas de hidratação causados pela saída da água de amassamento. Assim, a utilização de um substrato com maior capacidade absorviva, como o bloco queimado à 900°C, potencializa a perda de resistência mecânica da argamassa 1:3 diminuindo a resistência de aderência à tração. O segundo destaque pode ser justificado pela maior compatibilidade entre alta retenção e maior absorção de água promovida pelo bloco cerâmico queimado à 900°C. O bloco liso, que depende essencialmente da microancoragem, apresenta ganho de aderência já que um maior volume de água é transportado para o substrato fortalecendo a interface entre a argamassa e o substrato sem que a resistência mecânica do revestimento seja fortemente afetada. Já para o bloco chapiscado o aumento da resistência é resultado direto do aumento da resistência mecânica do bloco queimado à 900°C, visto que a ruptura predominante em ambas as temperaturas foi no bloco cerâmico.

Ainda em relação à condição de saturação molhada, a comparação entre os tipos de superfície quando aplicado o traço 1:1:6 varia conforme se altera a

temperatura de queima. Enquanto o bloco queimado a 750°C ranhurado apresenta resistência superior ao liso, o bloco queimado a 900°C ranhurado apresenta resistência similar ao liso. O aumento da resistência obtida pelos blocos ranhurados, em geral, são provenientes da macroancoragem proporcionada pela argamassa, como ocorrido na primeira combinação. À medida que o bloco aumenta sua capacidade absorviva, como na queima a 900°C, aumenta-se a resistência por microancoragem, e que nesse caso, não prejudicou excessivamente a resistência mecânica do traço 1:1:6.

Na condição saturada, a comparação entre os tipos de superfície dos blocos queimados a 900°C apresentam as mesmas tendências do que já foi explicado para os blocos queimados a 750°C. De forma bem definida, os traços 1:1:6 e 1:2 apresentaram aumento da resistência quando a temperatura de queima foi aumentada. Na condição saturada, o aumento da capacidade de absorção proveniente do aumento da temperatura de queima beneficia a microancoragem entre o revestimento e o substrato, aumentando assim a resistência. Pagnussat (2013) utilizando o traço 1:1:6 em blocos cerâmicos com fechamento parcial dos poros com parafina, ou seja, absorção capilar reduzida. O autor também verificou que o aumento da temperatura de queima foi uma variável que aumenta significativamente a aderência.

Nos blocos com superfície chapiscada, o aumento da resistência quando aplicado o traço 1:2 é justificado pelo aumento da resistência mecânica dos blocos cerâmicos, visto que a ruptura em ambas as temperaturas é no bloco cerâmico. A única exceção onde não houve aumento de resistência foi a aplicação do chapisco no traço 1:1:6, neste caso a resistência se manteve constante. Como o chapisco já desempenha o papel de regularizador da absorção e a limitação da resistência de aderência é a resistência mecânica da argamassa, não houve crescimento ou diminuição da resistência pela alteração da temperatura de queima.

Ainda na condição saturada, o traço 1:3 apresenta diminuição da resistência quando se altera a temperatura de queima do bloco cerâmico de 750°C para 900°C. Assim como na condição de saturação molhada, a maior capacidade de absorção do bloco cerâmico queimado a 900°C promove um aumento do volume de água transportado da argamassa diminuindo sua resistência mecânica. Mesmo

que o substrato esteja saturado, ainda existe um fluxo de água em direção ao substrato, que se aumentado, afeta diretamente a resistência mecânica da argamassa. Apenas o chapisco apresentou crescimento na resistência, pois, assim como no traço 1:2, a ruptura ocorre no bloco cerâmico e o aumento da temperatura queima aumenta sua resistência mecânica.

4.6.4. Análise da efetividade da ranhura proposta

Considerando todos os resultados apresentados e as discussões acima verifica-se que a utilização da ranhura pode ser uma alternativa à utilização do chapisco, no entanto, esta substituição não seria efetiva em qualquer situação.

Com a utilização da nova ranhura, as rupturas no ensaio de aderência à tração se resumem à resistência mecânica da argamassa e à resistência mecânica do substrato. Considerando que não exista ruptura na interface entre os dois materiais, a microancoragem deixa de ser indispensável e se torna uma possibilidade de aumento da resistência de aderência, já que nas combinações onde a microancoragem é fortalecida a resistência de aderência é elevada.

A resistência mecânica da argamassa continua sendo indispensável e agora se apresenta como propriedade fundamental na resistência de aderência. Considerando que as condições de aderência dentro da ranhura exigem ainda mais da resistência mecânica, já que a área de esforço é menor, as argamassas precisam apresentar resistência mecânica elevada para suportar as tensões exigidas nos ensaios.

No entanto, assim como já ocorre nos blocos com superfícies usuais, a resistência mecânica é altamente afetada pela perda de água para o substrato. A utilização da ranhura é sensível a esse transporte, principalmente pelo aumento da área superficial de contato entre a argamassa e o substrato que facilita ainda mais o transporte. Nestes casos, onde o transporte de água é elevado, o chapisco se apresenta como solução, visto que além de aumentar a área superficial, faz a função de regularização da absorção de água.

Portanto, a utilização da nova ranhura como potencial substituto do chapisco depende ainda dos parâmetros dos materiais envolvidos. Em relação às argamassas, é favorável à utilização da nova ranhura que elas apresentem maior retenção de água e maior resistência mecânica. A maior retenção visa diminuir o transporte de água a ponto de não comprometer a resistência mecânica da argamassa. E a resistência mecânica da argamassa deve ser alta o suficiente para suportar as tensões que são ampliadas dentro da macroancoragem das ranhuras. Em relação aos substratos, os mesmos devem preferencialmente apresentar alta resistência mecânica e menor absorvidade. Nesta pesquisa, os blocos cerâmicos só apresentaram-se como ruptura predominante, quando a resistência alcançou elevados valores, não comprometendo o resultado, no entanto, a utilização de blocos cerâmicos com baixa resistência mecânica pode eventualmente comprometer a aderência à tração. Já a absorvidade influencia diretamente no transporte de água, assim, quanto maior a absorvidade maior a propensão da argamassa perder água e conseqüentemente resistência mecânica.

Vale ressaltar que o formato da ranhura proposta pode ser alterado conforme a resistência mecânica dos materiais envolvidos. O aumento da resistência do substrato permite diminuição do intervalo entre as ranhuras aumentando a macroancoragem. O aumento da resistência da argamassa permite aumentar a espessura das paredes que dividem e dão forma a ranhura.

4.6.5. Viabilidade econômica etapa 2

A Tabela 15 apresenta os orçamentos realizados no comércio local do município de Campos dos Goytacazes – RJ, além do valor referência da tabela Sinapi.

Tabela 15 – Densidade real dos grãos.

Material	Valores em (R\$)			
	Loja A	Loja B	Loja C	SINAPI
Cimento (sc)	18,5	20,00	19,50	19,50
Cal Hidratada (sc)	14,00	15,00	16,50	15,20
Areia Média (m ³)	45,00	48,00	50,00	51,43
Areia Grossa (m ³)	65,00	-	65,00	70,00

Considerando a proximidade dos valores obtidos no comércio com o obtido na tabela SINAPI e de forma a padronizar os dados de comparação, foi utilizada a tabela SINAPI referente aos valores para o estado do Rio de Janeiro. O único material que apresenta um desvio nos valores encontrados é a areia, no entanto, um fator regional específico de Campos dos Goytacazes, favorece a venda de areia por um preço inferior ao verificado em outras cidades.

A tabela 16 apresenta o orçamento para fabricação da argamassa de chapisco. As tabelas 17 e 18 apresentam, respectivamente, os custos de aplicação do chapisco para uma parede interna (menor custo) e a aplicação do chapisco em parede externa com vão (maior custo).

Tabela 16 – Orçamento Argamassa 1:3 (Chapisco).

Argamassa 1:3 (Em volume). P/ Chapisco. Preparo Manual. Em m ³				
Item	Unid.	Quant.	Unit (R\$)	Total (R\$)
Servente	H	11,02	21,86	240,90
Cimento	kg	422,63	0,39	164,83
Areia Grossa	m ³	0,94	70,00	65,8
Total				471,52

Fonte: SINAPI – Código/Seq: 01.SEDI.ARG.099/01. Código SIPCI 87377

Tabela 17 – Orçamento aplicação do chapisco em parede interna sem vãos.

Chapisco aplicado em alvenaria interna (sem vãos) com colher de pedreiro, traço 1:3 com preparo manual. Em m ²				
Item	Unid.	Quant.	Unit (R\$)	Total (R\$)
Servente	H	0,007	21,86	0,15
Pedreiro	H	0,07	25,18	1,76
Argamassa 1:3 (chapisco)	m ³	0,0042	471,52	1,98
Total				3,89

Fonte: SINAPI – Código/Seq: 01.REVE.CHAP.005/01. Código SIPCI 87878

Tabela 18 – Orçamento aplicação do chapisco em fachada com vãos.

Chapisco aplicado em alvenaria externa (com vãos) com colher de pedreiro, traço 1:3 com preparo manual. Em m ²				
Item	Unid.	Quant.	Unit (R\$)	Total (R\$)
Servente	H	0,091	21,86	1,99
Pedreiro	H	0,183	25,18	4,61
Argamassa 1:3 (chapisco)	m ³	0,0042	471,52	1,98
Total				8,58

Fonte: SINAPI – Código/Seq: 01.REVE.CHAP.012/02. Código SIPCI 87905

As tabelas 19 e 20 apresentam, respectivamente os resultados do orçamento para fabricação das argamassas de 1:1:6 (Massa única) e 1:2(Massa única).

Tabela 19 – Orçamento Argamassa 1:1:6 (Massa única).

Argamassa 1:1:6 (Em volume) P/ Massa única. Preparo Manual. Em m ³				
Item	Unid.	Quant.	Unit (R\$)	Total (R\$)
Servente	H	11,23	21,86	245,49
Cimento	kg	261,89	0,39	102,14
Cal Hidratada	kg	116,4	0,76	88,46
Areia Média	m ³	1,16	51,43	59,66
Total				495,75

Fonte: SINAPI – Código/Seq: 01.SEDI.ARG.089/01. Código SIPCI 87367

Tabela 20 – Orçamento Argamassa 1:2 (Massa única).

Argamassa 1:2 (Em volume). P/ Massa única. Preparo Manual. Em m ³				
Item	Unid.	Quant.	Unit (R\$)	Total (R\$)
Servente	H	11,23	21,86	245,49
Cimento	kg	698,37	0,39	272,36
Areia Média	m ³	1,03	51,43	52,97
Total				570,82

Fonte: SINAPI – Código/Seq: 01.SEDI.ARG.089/01. Código SIPCI 87367

Conforme valores totais entre a Tabela 19 e 20 verifica-se o aumento de 15% no custo da argamassa na substituição do traço 1:1:6 pela argamassa 1:2. As tabelas 21 e 22 apresentam, respectivamente, o orçamento para execução do revestimento em massa única para o traço 1:1:6 e para o traço 1:2.

Tabela 21 – Orçamento execução do revestimento em massa única traço 1:1:6.

Massa única, para recebimento de pintura, traço 1:1:6, execução de taliscas, espessura 20mm. Em m ²				
Item	Unid.	Quant.	Unit (R\$)	Total (R\$)
Servente	H	0,171	21,86	3,74
Pedreiro	H	0,47	25,18	11,83
Argamassa 1:1:6 (Massa única)	m ³	0,0376	495,75	18,64
Total				34,21

Fonte: SINAPI – Código/Seq: 01.REVE.MUEI.002/02. Código SIPCI 87530

Tabela 22 – Orçamento execução do revestimento em massa única traço 1:2.

Massa única, para recebimento de pintura, traço 1:2, execução de taliscas, espessura 20mm. Em m ²				
Item	Unid.	Quant.	Unit (R\$)	Total (R\$)
Servente	H	0,171	21,86	3,74
Pedreiro	H	0,47	25,18	11,83
Argamassa 1:2 (Massa única)	m ³	0,0376	570,82	21,46
Total				37,04

Fonte: SINAPI – Código/Seq: 01.REVE.MUEI.002/02. Código SIPCI 87530

O aumento de 15% verificado na confecção da argamassa reflete num aumento de 8% na execução do revestimento em massa única. No entanto, a utilização do traço 1:1:6 como revestimento é associada a prévia execução do chapisco. Considerando que a soma da execução do emboço com argamassa 1:1:6 com a aplicação do chapisco na situação de menor custo obtém-se o valor de R\$38,11/m². A soma da execução do emboço com argamassa 1:1:6 com a aplicação do chapisco na situação de maior custo obtém-se o valor de R\$42,79/m².

Estes valores são, respectivamente, 2,8% e 15,5% superior à execução do emboço com traço 1:2 sem chapisco.

4.7 ADERÊNCIA À TRAÇÃO (ETAPA 3 – ALTERAÇÃO DO TRAÇO)

4.7.1. Caracterização da argamassa

A Figura 61 apresenta os resultados dos ensaios de Squeeze Flow dos traços 1:1:6 com diferentes níveis de incorporação do aditivo químico além do traço 1:2.

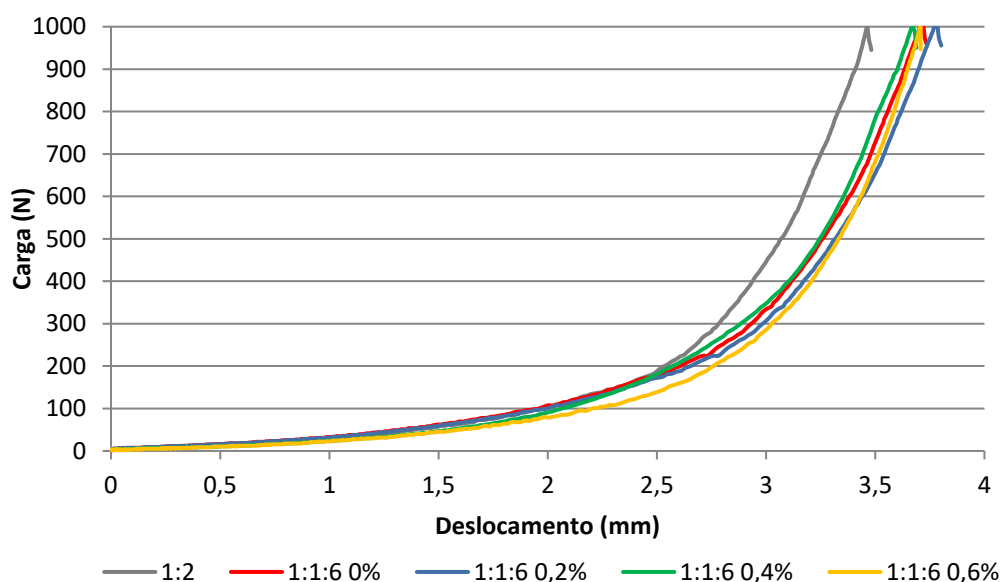


Figura 61 – Resultado do ensaio de Squeeze Flow para as argamassas da etapa 3.

Como pode ser observado na Figura 61, os traços foram dosados de forma a obter curvas similares, ou seja, comportamento reológicos similares. A única curva que não apresenta comportamento similar é a 1:2, cuja propriedade reológica foi mantida da segunda etapa.

A Tabela 23 apresenta a quantidade de água necessária para a obtenção das curvas acima para cada nível de incorporação de aditivo químico.

Tabela 23 – Traço das argamassas da Etapa III.

Traço	Cimento (g)	Cal (g)	Areia (g)	Água (g)	Superplastificante (ml)	Relação a/agl ⁽¹⁾
1:1:6	358,1	159,4	1982,3	505,8	-	0,98
1:1:6 0,3%	358,1	159,4	1982,3	461,7	1,55	0,89
1:1:6 0,6%	358,1	159,4	1982,3	425,8	3,11	0,82
1:1:6 0,9%	358,1	159,4	1982,3	401,6	4,66	0,78
1:2	878,7	-	1621,3	561,4	-	0,64

⁽¹⁾ Relação água/aglomerante

A incorporação do aditivo químico reduz consideravelmente a quantidade de água adicionada, sendo a redução de 8,7% de água para 0,3% de aditivo, 15,8% para 0,6% de aditivo e 20,6% para 0,9% de aditivo.

A Figura 62 apresenta os resultados dos ensaios de retenção de água e resistência mecânica da argamassa.

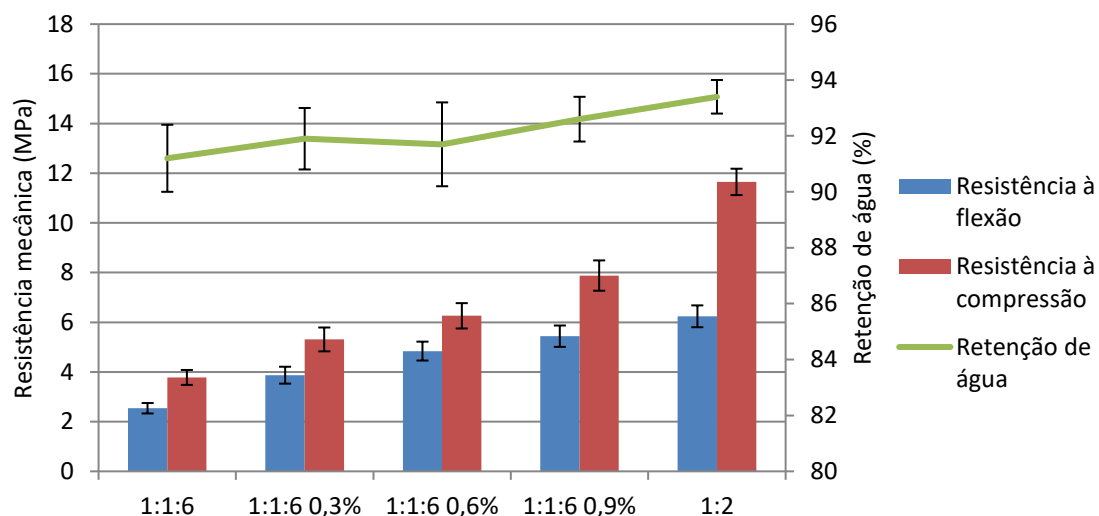


Figura 62 - Resultados dos ensaios das argamassas da Etapa III.

Verifica-se que o aumento na incorporação do aditivo possui impacto mínimo da retenção de água, onde verifica-se um sensível aumento da retenção conforme aumenta-se a incorporação do aditivo. Considerando que a incorporação do aditivo químico reduz a quantidade de água da argamassa, o menor volume de água disponível aumenta a capacidade de retenção dos grãos. Santamaría-Vicario et al.

(2015) verificou que aditivos superplastificantes pouco impactavam a retenção de água, apenas os aditivos específicos para retenção de água influenciavam de forma significativa na propriedade das argamassas.

Já a resistência mecânica apresenta grande variação conforme o aditivo plastificante é adicionado. Verifica-se um aumento significativo das resistências mecânicas com o aumento da incorporação do aditivo químico. A significativa redução da quantidade de água adicionada e, conseqüentemente da relação a/c, aumentam a resistência mecânica da argamassa.

Considerando a necessidade de resistência mecânica para promover a aderência por macroancoragem, a incorporação do superplastificante promoveu aumento significativo nos resultados de resistência mecânica. Estes resultados ainda não são suficientes para a obtenção de resultados próximos ao do traço 1:2, no entanto, o traço 1:2 apresenta resistência mecânica demasiadamente alta, onde não seriam necessários valores tão elevados para utilização em argamassa de revestimento.

4.7.2. Aderência à tração

A Figura 63 apresenta o modelo da geometria utilizada na confecção dos blocos cerâmicos em cerâmica. A Figura 64 apresenta o bloco cerâmico fabricado com a geometria.

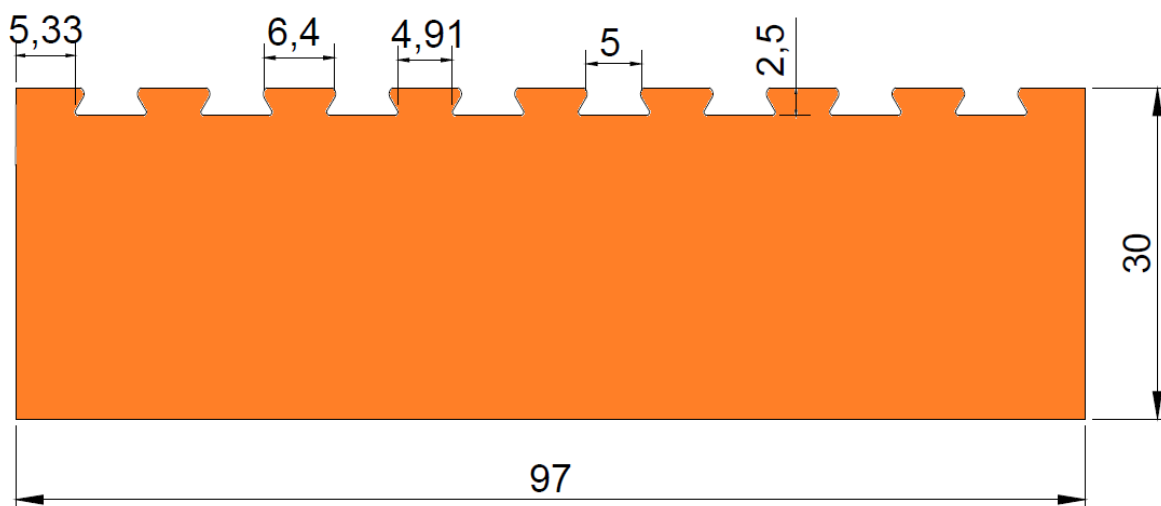


Figura 63 – Modelo de geometria do bloco cerâmico confeccionado em cerâmica.



Figura 64 – Exemplo de tijolo com a nova ranhura.

Conforme destacado na metodologia, a aproximação das ranhuras e consequente diminuição da abertura para entrada da argamassa promovem diminuição da seção transversal disponível para argamassa. Durante a execução do ensaio de aderência, a aplicação da força de tração na argamassa promove uma concentração maior de tensão na argamassa devido a redução de sua seção transversal, ou seja, sua resistência passa a ser mais exigida. Em contrapartida, o aumento da profundidade para 2,5mm contribui com a resistência ao cisalhamento, principal tipo de ruptura na argamassa verificado na etapa II.

A Figura 65 ilustra os resultados obtidos no ensaio de aderência à tração para comparação. Os resultados detalhados obtidos nos ensaios de aderência da etapa 3 estão no anexo D.

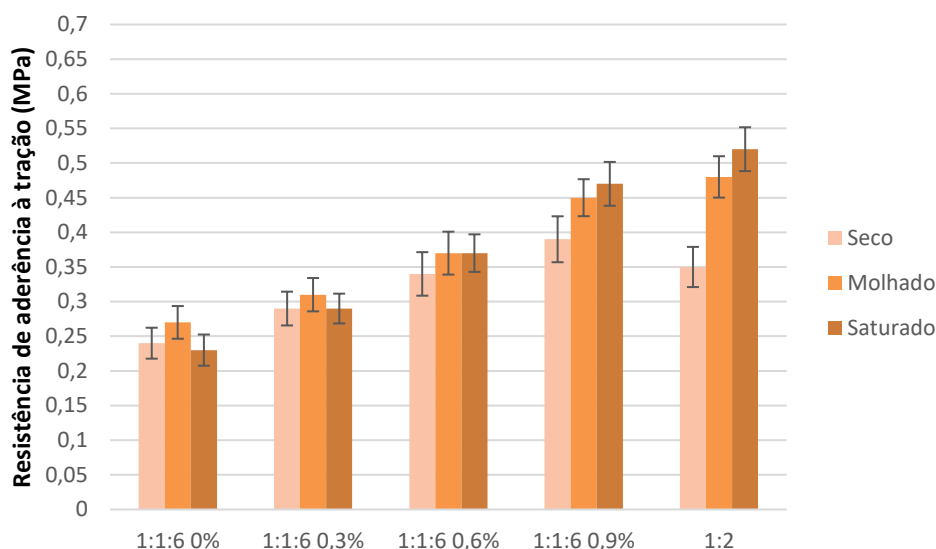


Figura 65 – Resultado do ensaio de aderência à tração nos tijolos fabricados com a nova ranhura em cerâmica.

Como pode ser observado na Figura 66, houve significativo aumento da resistência de aderência da argamassa conforme aumenta-se a concentração de aditivo químico. A maior resistência mecânica obtida com o uso do superplastificante, aliada à alta retenção de água do traço 1:1:6, promovem um excelente desempenho em sua aplicação na nova ranhura.

Conforme já verificado na segunda etapa, mesmo em diferentes condições de saturação, o traço 1:1:6 apresenta certa similaridade na aderência. Por possuir alta retenção de água, sua resistência mecânica não é excessivamente afetada pela perda de água, quando aplicados em substratos com maior absorção de água. Neste caso, a absorção apenas contribui com a aderência pela microancoragem. Quando aplicados em substratos com menor capacidade absorviva, o traço sem aditivo apresenta aderência intermediária, visto que sua resistência mecânica não é elevada como a dos outros traços. A incorporação do aditivo químico não altera esta característica de forma significativa, visto que para todos os traços testados, houve pequena variação entre as condições de saturação.

O uso de aditivo, no entanto, não foi suficiente para alcançar a resistência de aderência obtida pelo traço 1:2. Conforme verificado no ensaio de resistência

mecânica, o traço 1:2 possui maior resistência mecânica que o traço 1:1:6 mesmo com o uso do aditivo.

A incorporação de aditivo química no teor de 0,9% dos aglomerantes apresenta resistência de aderência elevada, e principalmente, estável para qualquer combinação. Ou seja, outras variáveis como o transporte de água afetam de forma mínima a aderência, visto que nas condições extremas de transporte (substrato seco ou saturado), a aderência continua apresentando desempenho satisfatório.

Considerando que a ruptura, para todos os traços, foi predominante na argamassa, verifica-se que a resistência mecânica da argamassa continua limitando a aderência. No entanto, a partir de 0,6% de aditivo químico no traço 1:1:6, a aderência é consistente, apresentando valores elevados para as três condições de saturação. Vale ressaltar que o aumento para 0,9% de aditivo químico aumenta significativamente a resistência de aderência à tração.

A Figura 66 apresenta a ilustração do tipo de ruptura predominante na argamassa obtido nos ensaios no bloco cerâmico.



Figura 66 – Ruptura na argamassa no ensaio de aderência à tração nos tijolos fabricados com a nova ranhura em cerâmica.

4.7.3. Viabilidade econômica etapa 3

Após a obtenção de resultados promissores do traço 1:1:6 com a utilização do aditivo superplastificante no ensaio de aderência à tração, foi analisada a viabilidade econômica de confecção da argamassa.

Os dados foram os mesmos aos utilizados no item 4.6.6. Foi verificado o custo por m² de execução do emboço com a argamassa aditivada. O custo do aditivo superplastificante foi cotado em valores que variaram entre R\$9,5 a R\$15,50 /kg. Foi adotado o valor de R\$12,5 como valor médio.

A tabela 24 apresenta os custos para fabricação de 1m³ de argamassa de cada um dos traços analisados na etapa 3.

Tabela 24 – Orçamento da fabricação de 1m³ de argamassa.

Traço	Servente (R\$)	Cimento (R\$)	Cal (R\$)	Areia (R\$)	Superplastificante (R\$)	Total (R\$)
1:1:6	245,49	102,14	88,46	59,66	-	495,75
1:1:6 0,3%	245,49	102,14	88,46	59,66	14,19	509,94
1:1:6 0,6%	245,49	102,14	88,46	59,66	28,37	524,12
1:1:6 0,9%	245,49	102,14	88,46	59,66	42,56	538,31
1:2	245,49	272,36	-	52,97	-	570,82

A tabela 25 apresenta os custos para execução de 1m² de emboço com cada um dos traços orçados na Tabela 24.

Tabela 25 – Orçamento da fabricação de 1m² de revestimento massa única.

Traço	Servente (R\$)	Pedreiro (R\$)	Argamassa (R\$)	Total (R\$)
1:1:6	3,74	11,83	18,64	34,21
1:1:6 0,3%	3,74	11,83	19,17	34,74
1:1:6 0,6%	3,74	11,83	19,71	35,28
1:1:6 0,9%	3,74	11,83	20,24	35,81
1:2	3,74	11,83	21,46	37,03

Com base nos valores obtido no orçamento, o uso de aditivo químico para aumento da resistência do traço 1:1:6 aumenta o custo de fabricação da argamassa, no entanto, mesmo com a utilização de 0,9%, o custo é menor comparado ao traço 1:2.

Vale ressaltar que a utilização do traço 1:1:6 está, de forma geral, associada à execução do chapisco, que apresenta custo entre R\$3,89 e R\$8,58 por m² de parede. A redução do custo de execução do revestimento para cada um dos traços está indicada na Tabela 26.

Tabela 26 – Redução do custo para execução de 1m² de revestimento em massa única.

Traço	Revestimento (R\$)	Chapisco (R\$)	Total (R\$)	Redução (%)
1:1:6	34,21	3,89 – 8,58	38,1 – 42,79	-
1:1:6 0,3%	34,74	-	34,74	8,8 – 18,8
1:1:6 0,6%	35,28	-	35,28	7,4 – 17,6
1:1:6 0,9%	35,81	-	35,81	6 – 16,3
1:2	37,03	-	37,03	2,8 – 13,5

A maior economia na utilização do aditivo superplastificante é bem expressiva na aplicação em paredes internas, enquanto a eliminação da execução do chapisco economizava 2,8% ao executar o traço 1:2; o traço 1:1:6 (0,9%) economiza 6%.

A economia também é notável na execução do revestimento em paredes externas, onde a economia do traço 1:1:6 (0,9%) alcança 16,3%.

5 CONCLUSÃO

Durante este trabalho, foram realizados ensaios para avaliação da aderência de argamassas em substratos cerâmicos. As principais variáveis analisadas no trabalho e sua influência na aderência foram: Metodologias de execução e ensaio do revestimento, propriedades das argamassas e propriedades dos blocos cerâmicos.

Tanto o lançamento o vertical de argamassa quanto à confecção dos blocos cerâmicos com dimensões reduzidas apresentaram correlação estatística satisfatória. Portanto, as metodologias utilizadas nos ensaios de aderências podem ser utilizadas para viabilização de ensaios com muitas variáveis. Além de facilitar, a utilização das metodologias diminuiu consideravelmente a dispersão dos resultados de aderência e possibilitou a comparação de variáveis com maior eficiência.

A presença da ranhura possibilitou a macroancoragem da argamassa no bloco cerâmico tornando a resistência mecânica, tanto da argamassa quanto do bloco cerâmico, como a propriedade fundamental da aderência. Propriedades que influenciam no transporte de água, absorvidade do bloco cerâmico e retenção de água da argamassa, devem ser controladas para que o fluxo não seja elevado o suficiente para reduzir a resistência mecânica da argamassa a valores abaixo aos dos aceitos pela aderência.

Os traços padrões 1:3 e 1:1:6 apresentaram bom desempenho apenas sob determinadas combinações. Para diminuir a influência das variáveis externas e aumentar a aderência a níveis confiáveis para construção, foi necessária a modificação do traço para 1:2 ou 1:1:6 com uso de aditivos químicos superplastificantes. O traço 1:1:6 com 0,9% de aditivo especialmente, apresentou excelentes resultados, tanto nas propriedades do traço quanto no desempenho na aderência.

A utilização da ranhura alcançou o desempenho obtido pelo uso do chapisco apenas sob determinadas circunstâncias e sob determinados traços. A utilização do chapisco mostrou-se eficiente para as variáveis verificadas no trabalho.

Portanto, o chapisco não deve ser substituído pelo uso de bloco com ranhura de forma indiscriminada.

A verificação do custo financeiro apresentou diminuição significativa do custo de execução do revestimento, considerando a utilização do traço 1:1:6 com 0,9% de aditivo aplicado em substrato ranhurado, comparado ao uso do traço 1:1:6 padrão com chapisco. Portanto, existe viabilidade econômica de forma direta na substituição do traço 1:1:6, como revestimento, em blocos cerâmicos com aplicação de chapisco pelo traço 1:2, como revestimento, aplicado em blocos cerâmicos com a ranhura proposta. Além disso, a redução do custo pode ser ainda maior considerando os destaques do capítulo 3.9 como por exemplo, a alteração do traço 1:2 com o uso de aditivos visando a redução do custo de confecção da argamassa.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- A modelagem matemática por elementos finitos visou a obtenção de uma ranhura com a melhor geometria possível. No entanto, foram utilizados parâmetros para as propriedades dos materiais de acordo com a bibliografia, esta que apresenta considerável dispersão de parâmetros, principalmente nas bibliografias internacionais. A utilização de parâmetros mais realistas e com variação de acordo com os materiais testados experimentalmente podem afetar os resultados obtidos. Além disso, ainda na modelagem matemática, não foi possível analisar o modelo de ruptura, modelo este que poderia ser realizado com o *software* caso mais propriedades fossem introduzidas.

- As propriedades das argamassas influenciam diretamente na aderência, conforme conclusão do trabalho. A variação das propriedades neste trabalho foi a modificação do traço e uso de superplastificante. No entanto, existem inúmeros resíduos que são amplamente estudados que podem contribuir com estas propriedades, desde os mais finos com efeito filler, até os amorfos com reações químicas. A incorporação de resíduos que apresentem aumento da resistência

mecânica, mas que ainda não apresentaram boa aderência por microancoragem, pode apresentar viabilidade de utilização com a nova ranhura.

- A resistência mecânica da argamassa é uma propriedade frequentemente deixada em segundo plano por pesquisadores, já que a aderência é a principal propriedade. A falta de parâmetros mínimos estabelecidos por norma para a resistência corrobora com este problema. Além disso, as rupturas por flexão e por compressão não representam bem o tipo de esforço sofrido no ensaio de aderência, que é por tração direta. Estudos que visem identificar e correlacionar as resistências mecânica e iniciar a criação de limites mínimos seriam fundamental para os estudos de aderência.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABADIE, M.; LIMAM, K.; ALLARD, F. Indoor particle pollution: effect of wall textures on particle deposition, *Building and Environment*, Volume 36, Issue 7, 2001, Pages 821-827.

AGUILAR, M.T.P. in: **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. IBRACON, 2007. 2ª edição – Editor: Geraldo Isaia.

ALONSO, M.M.; GISMERA, S.; BLANCO, M.T.; LANZÓN, M.; PUERTAS, F. Alkali-activated mortars: Workability and rheological behaviour, *Construction and Building Materials*, Volume 145, 2017, Pages 576-587.

Anderegg, F. O. The effect of absorption characteristics upon mortar properties. **American Society for Testing Materials, Proceedings**, 1942. V. 42, p.821-836.

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

Antunes, R. P. N.; JOHN, V. M. Determinação e controle da energia de impacto de argamassas lançadas manualmente. *Boletim Técnico BT/PCC/455 da escola Politécnica da USP*. São Paulo, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2016.

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

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

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

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

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

_____. **NBR 15259**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15270-1**: Componentes cerâmicos - Blocos e tijolos para alvenaria. Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro, 2017.

_____. **NBR 15270-2**: Componentes cerâmicos - Blocos e tijolos para alvenaria. Parte 2: Métodos de ensaios. Rio de Janeiro, 2017.

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

ASTM C67 (2018): Standard Test Methods for Sampling and Testing Brick and Structural Clay Tile.

AZEVEDO, A. R. G.; ALEXANDRE, J.; ZANELATO, E. B.; MARVILA, M. T. Influence of incorporation of glass waste on the rheological properties of adhesive mortar, Construction and Building Materials, Volume 148, 2017, Pages 359-368.

AZEVEDO, A.R.G.; FRANÇA, B.R.; ALEXANDRE, J.; MARVILA, M.T.; ZANELATO, E.B.; XAVIER, G.C. Influence of sintering temperature of a ceramic substrate in mortar adhesion for civil construction, *Journal of Building Engineering*, Volume 19, 2018, Pages 342-348.

BANFILL, P. F. G. The reology of fresh mortar – a review. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 6, INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MORTARS TECHNOLOGY, 1, 2005, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ANTAC, 2005. p. 73-82.

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

BARROS, S. V. A.; MARCIANO, J. E. A.; FERREIRA, H. C.; MENEZES, R. R.; NEVES, G. A. Addition of quartzite residues on mortars: Analysis of the alkali aggregate reaction and the mechanical behavior, *Construction and Building Materials*, Volume 118, 2016, Pages 344-351.

BAUER, E. *et al.* Estudo da tensão de escoamento de argamassas no estado fresco, utilizando o equipamento vane tester de laboratório. In: XXXI Jornada Sul-Americana de Engenharia Estrutural, Mendoza, 2004. **Anais...** Maio, 2004.

BECKER, F. A.; ANDRADE, J. J. O.. The influence of concrete substrate in adhesive strength of different types of slurry mortar. *Matéria* (Rio J.), Rio de Janeiro , v. 22, n. 4, e-11906, 2017. (In Portuguese)

BERTRAND, L.; MAXIMILIEN, S.; GUYONNET, R. Wedge Splitting Test: a test to measure the polysaccharide influence on adhesion of mortar on its substrate. *Proceedings of the 11th International Congress on Polymers in Concrete*, Berlin (2004), pp. 569-576.

Botas, S., Veiga, R. & Velosa, A. *Mater Struct* (2017) 50: 211. <https://doi.org/10.1617/s11527-017-1086-7>.

CAMPANELLA, O. H.; PELEG, M. **Squeezing flow viscosimetry of peanut butter**. *Journal of food science* 52 (1), p. 180-184, 1987.

CANDIA, M.C. **Contribuição ao Estudo das Técnicas de Preparo da Base no Desempenho dos revestimentos de Argamassa.** 1998. 198 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

CARASEK, H. **Aderência de Argamassas a Base de Cimento Portland a Substratos Porosos – Avaliação dos Fatores Intervenientes e Contribuição ao Estudo do Mecanismo de Ligação.** 1996. 285 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

CARASEK, H. Argamassas. In: Isaia, G.C. (Ed.). *Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais.* São Paulo: IBRACON, 2010. p. 892-944.

CARASEK, H., CASCUDO, O., SCARTEZINI, L. M. Importância dos materiais na aderência dos revestimentos de argamassa. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, IV, 2001, Brasília. **Anais...** Brasília: PECC/ANTAC, 2001. P.43-67.

CARDOSO, F.A. **Método de formulação de argamassas de revestimento baseado em distribuição granulométrica e comportamento reológico.** 2009. 158 p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

CARDOSO, F. A.; PILEGGI, R.; JOHN, V. M. Caracterização reológica de argamassas pelo método de Squeeze-Flow. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 6, INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MORTARS TECHNOLOGY, 1, 2005, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: [s.n.], 2005. P. 121-143.

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

CARDOSO, F.A.; FUJII, A.L.; PILEGGI, R.G.; CHAOUICHE, M. Parallel-plate rotational rheometry of cement paste: Influence of the squeeze velocity during gap positioning. **Cement and Concrete research**, v. 75, p. 66-74, 2015.

CARVALHO JR., A.N.; BRANDÃO, P.R.G.; FREITAS, J.M.C. Relação entre a resistência de aderência de revestimentos de argamassa e o perfil de penetração de pasta de aglomerante nos poros do bloco cerâmico. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 6., 2005, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ANTAC, 2005. p. 518-529.

CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DE LA CONSTRUCTION - CSTC. **Hydrofuges de surface: choix et mise em oeuvre**. Bruxelles, 1982. 24 p. (Note D'Information Technique – NIT n. 140).

CHASE, G.W. Investigation of interface between brick and mortar. **TMS Journal**, v.3, n.2, p.T1-T9, July-Dec.1984.

CONDEIXA, K.; HADDAD, A.; BOER, D. Life Cycle Impact Assessment of masonry system as inner walls: A case study in Brazil, *Construction and Building Materials*, Volume 70, 2014, Pages 141-147.

CORINALDESI, V.; MAZZOLI, A.; MORICONI, G. Mechanical behaviour and thermal conductivity of mortars containing waste rubber particles, *Materials & Design*, Volume 32, Issue 3, 2011, Pages 1646-1650

COSTA, M. R. M. M. **Análise comparativa de argamassas colantes de mercado através de parâmetros reológicos**. 2006. 131 p. Tese (Doutorado) – Departamento de Engenharia e Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

COSTA, E. L.; CARASEK, J. J. de O. Influência dos parâmetros de ensaio na determinação da resistência de aderência de revestimentos de argamassa. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 9, n. 4, 2009

DANTAS, S. R. A.; SERAFINI, R.; ROMANO, R. C. O.; VITTORINO, F.; LOH, K. Influence of the nano TiO₂ dispersion procedure on fresh and hardened rendering mortar properties, *Construction and Building Materials*, Volume 215, 2019, Pages 544-556.

DEMIRBOĞA, R. Influence of mineral admixtures on thermal conductivity and compressive strength of mortar, *Energy and Buildings*, Volume 35, Issue 2, 2003, Pages 189-192.

DÉTRICHÉ, C.H.; MASO, J.C. Differential hydration in rendering mortars. **Cement and Concrete Research**, v.16, p.429-439, 1986.

ENGMANN, J.; SERVAIS, C.; BURBIDGE, A. S. Squeeze flow theory and applications to rheometry: A review. In: **Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics**. 132 (2005), 1-27.

FARRAN, J. Contribution minéralogique à l'étude de l'adhérence entre les constituants hydratés des ciments et les matériaux enrobés. (1956). *Revue Des Matériaux de Construction*, n° 490-491. Toulouse: Centre d'Etudes et de Recherches de l'Industrie des Liants Hydrauliques.

FAIYAS, A.P.A.; ERICH, S.J.F.; HUININK, H.P.; ADAN, O.C.G. Understanding the water absorption from MHEC modified glue mortar into porous tile: Influence of pre-drying, *Construction and Building Materials*, Volume 217, 2019, Pages 363-371.

FERRARIS, C. F. Measurement of the rheological properties of high performance concrete: State of the art report. **Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology**. V. 104, n. 5, p. 461-478, September-October. 1999.

FLORES, A. B. H., KINDLEIN JUNIOR, W.; ALVES, A. K.; STOLZ, C. M. Influência da textura superficial na molhabilidade de diferentes superfícies. In: Congresso brasileiro de pesquisa e desenvolvimento em Design, 10, 2012, São Luis. **Anais...** São Luiz, P&D Design, 2012.

FLORES-COLEN, I. Metodologia de Avaliação do Desempenho em Serviço de Fachadas Rebocadas na Óptica da Manutenção Preditiva. Tese de Doutorado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico. Lisboa, Junho 2009.

FRANÇA, M. S.; CAZACLIU, B.; CARDOSO, F. A.; PILEGGI, R. G. Influence of mixing process on mortars rheological behavior through rotational rheometry, *Construction and Building Materials*, Volume 223, 2019, Pages 81-90.

GALLEGOS, H. Adhesión entre el mortero y las unidades de albañilería. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 1., 1995, Goiânia. **Anais...** Goiânia: UFG/ANTAC, 1995. p. 117-133.

GIORDANI, C.; MASUERO, A. B. Blended mortars: Influence of the constituents and proportioning in the fresh state, *Construction and Building Materials*, Volume 210, 2019, Pages 574-587.

GLATTHOR, A.; SCHWEIZER, D. Rheological Lab Testing of Buildings Formulations. Conchem Conference, Düsseldorf, 1994, <http://www.baustoffchemie.de/en/rheology/>. Acesso em: 25 jul. 2016.

GONÇALVES, S. R. C. **Variabilidade e Fatores de Dispersão da Resistência de Aderência nos Revestimento em Argamassa – Estudo de Caso**. 2004. 148p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de Brasília, Brasília-DF.

GOODWIN, J. F.; WEST, H. W. **A review of literature on brick/mortar bond**. The British ceramic Research Association. July, 1988 (technical Note, n. 308).

GOVIN, M. B.; BIASOTTI, B.; GIUDICI, M.; LANGELLA, V.; GROSSEAU, P. Modification of water retention and rheological properties of fresh cement-based mortars by guar gum derivatives. *Construction and Building Materials*. Vol. 122. 2016. p. 772-780.

GRANDES, F. A.; SAKANO, V. K.; REGO, A. C.A.; CARDOSO, F. A.; PILEGGI, R. G. Squeeze flow coupled with dynamic pressure mapping for the rheological evaluation of cement-based mortars, *Cement and Concrete Composites*, Volume 92, 2018, Pages 18-35.

GRANDET, J. Contribution à l'étude de la liaison entre la pâte de ciment Portland et les terres cuites. (1971). Thèse (Doctorat), Toulouse, France: Université Toulouse III – Paul Sabatier.

GROOT. C. J. W. P. **Effects of water on mortar – brick bond**. Technische University Delft, 1993.

HACKLEY, V. A.; FERRARIS, C. F. **The use of nomenclature in dispersion Science and technology**. Washington: National Institute of Standards and Technology, 2001. Special publications, 945-946.

HALL, C. Water Sorptivity in Mortars and Concrete: a Review. **Magazine of Concrete Research**, v. 41. n. 147, 1989. p.51-61.

HAN, K. M.; KISHITANI, K. A study on the bond strenght of brick masonry mortars. Journal of the Faculty of Engineering. The University of Tokyo (B), v. 37, n.4, p.757-797. Sept. 1984.

HEMALATHA, M.S.; SANTHANAM, M. Characterizing supplementary cementing materials in blended mortars, Construction and Building Materials, Volume 191, 2018, Pages 440-459.

HENDRICKX, R.; ROELS, S.; BALEN, K. V. Measuring the water capacity and transfer properties of fresh mortar, Cement and Concrete Research, Volume 40, Issue 12, 2010, Pages 1650-1655.

HOPPE FILHO, J.; CINCOTTO, M. A.; PILEGGI, R. G. Técnicas de caracterização reológica de concretos. In: **Revista Concreto e Construções**. Ed. IBRACON, n. 47. São Paulo, p. 108-124, 2007.

HU, C.; DE LARRARD, F. The rheology of fresh high-performance concrete. **Cement and Concrete research**, v. 26, n. 2, p. 283-294. October, 1995.

IOPPI, P. R.; PRUDÊNCIO JR, L. R.; IRIYAMA, W. J. Estudo da absorção inicial de substratos de concreto: metodologias de ensaio e influência na aderência das argamassas de revestimento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 1º, Goiânia, 16 a 18 de agosto de 1995. **Anais...** Goiânia, UFG/ANTAC, 1995. P. 93-102.

JENNI A.; HOLZER, L.; ZURBRIGGEN, R.; HERWEGH M. Influence of polymers on microstructure and adhesive strength of cementitious tile adhesive mortars. Cement and Concrete Research. Vol. 35. 2005. p. 35-50.

JI, Y.; DUANMU, L.; LI, X. Building air leakage analysis for individual apartments in North China, *Building and Environment*, Volume 122, 2017, Pages 105-115.

JOHN, V. M. Repensando o papel da cal hidratada nas argamassas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE ARGAMASSAS, 5., 2003, São Paulo. **Anais...** São Paulo, 2003. p. 47-62.

KANNING, R.C.; PORTELLA, K.F.; BRAGANÇA, M.O.G.P.; BONATO, M.M.; SANTOS, J.C.M. Banana leaves ashes as pozzolan for concrete and mortar of Portland cement, *Construction and Building Materials*, Volume 54, 2014, Pages 460-465.

KOEHLER, E. P.; FOWLER, D. W. Summary of concrete workability test methods. **Technical Report**, ICAR 105-1, 2003, University of Texas, Austin, 93 p. European Mortar Industry Organization. **Technical dictionary**. 3ed. 22p. 2001.

KUO, W.; HUANG, J.; LIN, C. Effects of organo-modified montmorillonite on strengths and permeability of cement mortars. **Cement and Concrete Research**, article in press, november. 2005.

LAWRENCE, S.J.; CAO, H.T. An experimental study of the interface brick and mortar. In: NORTH AMERICAN MASONRY CONFERENCE, 4th, Los Angeles, 1987. **Proceedings**. Los Angeles, G.C.Hartanol & J.Katitotis, 1987, p.48:1-14.

LOTURCO, B. Como verificar aderência de argamassas. **Revista Técnica**, n. 88, Julho, 2004. pp 42-47.

LOZANO-LUNAR, A.; SILVA, P. R.; BRITO, J.; ÁLVAREZ, J.I.; FERNÁNDEZ, J.M.; JIMÉNEZ, J.R. Performance and durability properties of self-compacting mortars with electric arc furnace dust as filler, *Journal of Cleaner Production*, Volume 219, 2019, Pages 818-832.

MALHEIRO, R., MEIRA, G., LIMA, M., PERAZZO, N. Influence of mortar rendering on chloride penetration into concrete structures, *Cement and Concrete Composites*, Volume 33, Issue 2, 2011, Pages 233-239.

MASO, J. C. La nature minéralogique des agrégats facteur essentiel de la résistance des bétons à la rupture et à l'action du gel. (1961). Revue Des Matériaux de Construction, n° 647-648, Toulouse, France: Centre d'Etudes et de Recherches de l'Industrie des Liants Hydrauliques.

MCGILEY, W. M. IRA and the flexural bond strength of clay brick masonry. In MATTHYS, J. H., ed. **Masonry: Components to Assemblages**. Philadelphia, ASTM, 1990. p217-234. (ASTM Special Technical Publication, 1063).

MEETEN, G. H. **Yield stress of structured fluids measured by squeeze flow**. Rheologica acta 39 (2000) 399-408.

MENDES, J.C.; BARRETO, R.R.; PAULA, A.C.B.; ELÓI, F.P.F.; BRIGOLINI, G.J.; FIOROTTI R.A.; Peixoto, On the relationship between morphology and thermal conductivity of cement-based composites, Cement and Concrete Composites, Volume 104, 2019.

MIN, B. H.; ERWIN, L.; JENNINGS, H. M. **Rheological behavior of fresh cement paste as measured by squeeze flow**. Journal of Materials Science 29, p. 1374-1381, 1994.

MONTEIRO, P.; MASO, J.; OLLIVIER, J. The aggregate-mortar interface. Cement and Concrete Research **15**, 953-958 (1985).

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. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

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

NENO, C.; BRITO, J.; VEIGA, R. Using fine recycled concrete aggregate for mortar production. Mat. Res., São Carlos , v. 17, n. 1, p. 168-177, Feb. 2014

NOGUEIRA, R., PINTO, A. P. F., GOMES, A. Design and behavior of traditional lime-based plasters and renders. Review and critical appraisal of strengths and weaknesses, Cement and Concrete Composites, Volume 89, 2018, Pages 192-204.

OLIVEIRA, I. R.; STUDART, A. R. PILEGGI, R. G.; PANDOLFELLI, V. C. Dispersão e empacotamento de partículas – Princípios e aplicações em processamento cerâmico. São Paulo: 2000. 195p.

OLIVEIRA, L. M. F. Estudo teórico e experimental do comportamento das interfaces verticais de paredes interconectadas de alvenaria estrutural. 2014. 272f. Tese (Doutorado), Escola de Engenharia de São Carlos, São Paulo, 2014

ÖSKAN, N.; OYSU, C.; BRISCOE, B. J.; AYDIN, I. **Rheological Analysis of Ceramic Pastes**. Journal of the European Ceramic Society, v. 19, 1999, p. 2883-2891.

PAES, I. N. L. **Avaliação do Transporte de Água em Revestimentos de Argamassa nos Momentos Iniciais Pós-aplicação**. 2004. 242 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade de Brasília, Brasília-DF.

PAGNUSSAT, D.T. **Efeito da temperatura de queima de blocos cerâmicos sobre a resistência de aderência à tração de revestimentos de argamassa**. 2013. 216 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

PALMER, L. A.; PARSONS, D. A. A study of the properties of mortars and bricks and their relation to bond. Bureau of standards Journal of research **12**, 609-644 (1934).

PEREIRA, C.; BAUER, E. Avaliação da perda de água de argamassas de revestimento por evaporação e por absorção do substrato. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 10., 2013, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: SBTA, 2013.

PILEGGI, R. G. **Ferramentas para o estudo e desenvolvimento de concretos refratários**. São Carlos, 2001. 187p. Tese de Doutorado – Programa de Pós-

Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de São Carlos.

RAGO, F.; CINCOTTO, M. A. Influência do tipo de cal hidratada na reologia de pastas. São Paulo, EPUSP, 1999. (**Boletim Técnico** BT/PCC/233).

RAMÉ-HART. Glossary of surface Science terms. Disponível em: <http://www.ramehart.com/glossary.htm>. Acesso em: 20/06/2019.

RAMESH, M.; AZENHA, M.; LOURENÇO, P. B. Quantification of impact of lime on mechanical behaviour of lime cement blended mortars for bedding joints in masonry systems, *Construction and Building Materials*, Volume 229, 2019.

RECENA, F.A.P. *Knowing Mortar*, Porto Alegre: EDIPUCRS, 2008, 192p (In Portuguese).

REINER, M. **Deformation strain and flow: An elementary introduction to rheology**. 3. Ed. London: H K Lewis, 1969. 347 p.

RIBAR, J. W.; DUBOVOY, V. S. Investigation of masonry bond and surface profile of brick. Philadelphia: ASTM. (ASTM – STP 992), 1988.

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*, Volume 82, 2015, Pages 219-226.

ROMERO, J.V. **Adherencia al Hormigón de Morteros de Diferentes Bases Químicas** 2010. 367 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos Canales y Puertos, Madrid/Espanha.

ROSELLO, V.M.T. 1976 **Morteros de cemento para albañilería**. Madrid, Instituto Eduardo Torroja de la construcción y del Cemento, 55 p. (Monografías, 337).

SABBATINI; F. H.; SELMO, S.M.S. **Diretrizes para a produção e controle de dosagem das argamassas de assentamento e revestimento**. São Paulo, EPUSP/PCC, 1989. (Convênio EPUSP/ENCOL, Projeto EP/EN-01, Documento 1.CeE).

SANTAMARÍA-VICARIO, I.; RODRÍGUEZ, A.; GUTIÉRREZ-GONZÁLEZ, S.; CALDERÓN, V. Design of masonry mortars fabricated concurrently with different steel slag aggregates, *Construction and Building Materials*, Volume 95, 2015

SANTOS, C. F.R., ALVARENGA, R. C. S. S., RIBEIRO, J. C. L., CASTRO, L. O, SILVA, R. M., SANTOS, A.A.R., & NALON, G. H.. (2017). Avaliação numérico-experimental de prismas de alvenaria estrutural pelo Método dos Elementos Finitos. *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*, 10(2), 477-508.

SATHIPARAN, N.; RUMESHKUMAR, U. Effect of moisture condition on mechanical behavior of low strength brick masonry, *Journal of Building Engineering*, Volume 17, 2018, Pages 23-31.

SATOH, A.; YAMADA, K. FEM simulation of tension struts on adhesion performance of mortar–repair interface, *Engineering Fracture Mechanics*, Volume 167, 2016, Pages 84-100.

SCARTEZINI, L. M.; CARASEK, H. Fatores que exercem influência na resistência de aderência à tração dos revestimentos de argamassas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE ARGAMASSAS, 5., 2003, São Paulo. **Anais...** São Paulo, 2003. P. 251-264.

SCHOWALTER; W. R.; CHRISTENSEN, G. Towards a rationalization of the slump test for fresh concrete: comparisons of calculations and experiments *J. Rheology*, 42 (4), July/August, 1998. Pp 865-870.

SENTENA, J. A. A.; KAZMIERCZAK, C. S.; KREIN, L. A.. Degradação de revestimentos de argamassa com finos de resíduos de concreto por ciclos térmicos. *Ambient. constr.*, Porto Alegre , v. 18, n. 1, p. 211-224, Mar. 2018

SILVEIRA, A. R. **Avaliação experimental da resistência de aderência à tração de revestimentos cerâmicos aplicados sobre diferentes substratos em blocos estruturais**. Universidade Federal de Santa Catarina, 2014, 159p (Dissertação de mestrado).

STEFFE, J. F. **Rheological methods in food process engineering**. Freeman Press, USA, 1996.

STOLZ, C. M. **Influência da interação entre os parâmetros reológicos de argamassas e a área potencial de contato de substrato na aderência de argamassas de revestimento**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

STOLZ, C. M. **Análise dos principais parâmetros que influenciam na área de contato substrato/argamassa de revestimento**. 2015. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

STOLZ, C. M.; MASUERO, A. B. Analysis of main parameters affecting substrate/mortar contact area through tridimensional laser scanner, *Journal of Colloid and Interface Science*, Volume 455, 2015, Pages 16-23.

STOLZ, C. M., MASUERO, A. B., PAGNUSSAT D. T., KIRCHHEIN, A. P. Influence of substrate texture on the tensile and shear bond strength of rendering mortars, *Construction and Building Materials*, Volume 128, 2016, Pages 298-307,

TEMOCHE-ESQUIVEL, J. F.; DEIFELD, T.; BARROS, M. M. S.B.; JOHN, V.; FRANÇA, R. **Influência da taxa de defeitos de interface nas tensões de origem térmica em revestimentos de argamassa**. VII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, Recife: Antac, 2007, pp. 1-13.

TITTARELLI, F.; GIOSUÈ, C.; MOBILI, A.; RUELLO M.L. Influence of binders and aggregates on VOCs adsorption and moisture buffering activity of mortars for indoor applications, *Cement and Concrete Composites*, Volume 57, 2015, Pages 75-83.

TOUTOU, Z.; ROUSSEL, N.; LANOS, C. The squeezing test: a tool to identify firm cement-based material's rheological behavior and evaluate their extrusion ability. In: **Cement and Concrete Research**, 35, 2005, 1891-1899.

VAZ, F. H. B.; CARASEK, H. Resistência de aderência de revestimentos de argamassa - contribuição por meio de mapeamento e revisão sistemática de literatura para futuras pesquisas no tema. *Cerâmica*, São Paulo, v. 65, n. 374, p. 303-318, June 2019.

VIEIRA, C.M.F. Areias, I.O.R. Monteiro, S.N. "Rewas 2016: towards materials resource sustainability" (2016) 165-170

VOSS, W. C. Permeability of brick masonry walls – an hypothesis. ASTM **Proc.** **33**, 670-691 (1933).

WALKER, R.; PAVÍA, S. Thermal and moisture monitoring of an internally insulated historic brick wall, Building and Environment, Volume 133, 2018, Pages 178-186.

YASTREBOV, V. A.; ANCIAUX, G.; MOLINARI, J. From infinitesimal to full contact between rough surfaces: Evolution of the contact area. In: **International Journal of Solids and Structures**, 52, 2015, p. 83-102.

ZANELATO, E.B., ALEXANDRE, J., AZEVEDO, A.R.G. MARVILA, M. T. Evaluation of roughcast on the adhesion mechanisms of mortars on ceramic substrates. Mater Struct (2019) 52: 53. [https://doi.org/10.1617/s11527-019-1353-](https://doi.org/10.1617/s11527-019-1353-X)

X

ANEXO A – Características geométricas dos blocos cerâmicos

Características geométricas do bloco cerâmico Liso coletado em cerâmica.

Bloco cerâmico Liso							
Amostra	Dimensões efetivas (mm)			Parede Externa (mm)	Septos (mm)	Desvio em relação ao esquadro (mm)	Planeza das faces (mm)
	C	L	H				
1	191,75	89,22	189,3	8,2	5,2	0,3	0,1
2	191,51	89,73	189,59	8,1	5,1	0,4	0,2
3	191,56	90,32	189,54	7,9	5	0,6	0,2
4	191,51	89,62	189,56	8,1	5,2	0,2	0,2
5	191,05	89,43	189,35	8,1	5,1	0,3	0,1
6	191,46	89,85	189,62	7,8	5,2	0,4	0,2
7	191,94	89,86	189,57	8,1	5,1	0,5	0,1
8	191,02	89,46	188,92	8	5,2	0,2	0,2
9	191,49	89,73	188,91	8,1	5,1	0,3	0,1
10	191,63	90,13	189,49	7,9	5,2	0,2	0,2
11	191,97	89,54	189,47	8,1	5,1	0,5	0,1
12	191,47	89,47	189,64	7,9	5,1	0,4	0,2
13	191,68	89,97	189,21	7,8	5	0,3	0,3
Média	191,54	89,72	189,40	8,01	5,12	0,35	0,17

Caracterização geométrica do bloco com Ranhura comum coletado em cerâmica.

Bloco cerâmico com Ranhura comum							
Amostra	Dimensões efetivas (mm)			Parede Externa (mm)	Septos (mm)	Desvio em relação ao esquadro (mm)	Planeza das faces (mm)
	C	L	H				
1	191,25	90,66	189,16	7,2	5,2	0,5	0,2
2	191,37	90,37	189,54	7,4	5,3	0,3	0,4
3	192,41	90,85	190,19	7,3	5,3	0,1	0,2
4	191,58	90,28	189,44	7,1	5,2	0,3	0,2
5	191,62	90,03	190,22	7,3	5,1	0,3	0,1
6	191,69	89,6	190,3	7,5	5,3	0,4	0,3
7	191,39	89,96	189,85	7,3	5,4	0,4	0,4
8	191,21	91,28	189,73	7,5	5,2	0,3	0,1
9	192,21	90,05	189,88	7,4	5,2	0,3	0,2
10	191,52	90,4	190,19	7,2	5,3	0,2	0,2
11	191,97	90,12	189,84	7,3	5,1	0,4	0,2
12	192,25	89,97	189,57	7,5	5,2	0,3	0,3
13	191,37	90,07	189,67	7,2	5,4	0,3	0,4
Média	191,68	90,28	189,81	7,32	5,25	0,32	0,25

ANEXO B – Análise estatística da Etapa 1

Resultados obtidos no ensaio de aderência à tração: Etapa 1.

Resistência de aderência à tração (MPa)								
Tipo de Lançamento	Lançamento Horizontal				Lançamento Vertical			
Confeccionado em:	Confeccionado em cerâmica		Confeccionado em extrusora		Confeccionado em cerâmica		Confeccionado em extrusora	
Tipo de superfície	Superfície lisa	Ranhura comum	Superfície lisa	Nova ranhura	Superfície lisa	Ranhura comum	Superfície lisa	Nova ranhura
Amostra 1	0,18	0,33	0,24	0,37	0,27	0,33	0,25	0,31
Amostra 2	0,29	0,38	0,28	0,4	0,27	0,3	0,24	0,35
Amostra 3	0,29	0,31	0,21	0,28	0,24	0,29	0,24	0,36
Amostra 4	0,25	0,28	0,25	0,33	0,22	0,26	0,3	0,32
Amostra 5	0,29	0,25	0,21	0,31	0,24	0,29	0,26	0,34
Amostra 6	0,2	0,26	0,25	0,28	0,28	0,31	0,24	0,35
Amostra 7	0,23	0,26	0,19	0,35	0,28	0,3	0,24	0,3
Amostra 8	0,24	0,3	0,29	0,36	0,24	0,3	0,24	0,36
Amostra 9	0,19	0,28	0,2	0,28	0,26	0,28	0,26	0,37
Amostra 10	0,2	0,36	0,21	0,25	0,28	0,3	0,27	0,34
Amostra 11	0,28	0,35	0,2	0,27	0,25	0,26	0,25	0,33
Amostra 12	0,22	0,28	0,28	0,35	0,28	0,34	0,27	0,33
Média	0,238	0,303	0,234	0,319	0,259	0,297	0,255	0,338
Desvio Padrão	0,0415	0,0429	0,0355	0,0474	0,0207	0,0239	0,0183	0,0212
C.V.	17,42%	14,15%	15,18%	14,84%	7,97%	8,05%	7,19%	6,28%
Indicação	A	B	C	D	E	F	G	H

Primeiro foi realizada a análise entre as metodologias de lançamento da argamassa, horizontal e vertical. A análise estatística foi realizada comparando individualmente cada superfície. Inicialmente foi analisado estatisticamente, conforme Tabela acima, se o tipo de lançamento influencia no resultado de aderência à tração ao ser utilizado bloco cerâmico fabricado em cerâmica com superfície lisa (Colunas A e E).

Colunas A e E						
F.V. ⁽¹⁾	G.L. ⁽²⁾	SQ ⁽³⁾	MQ ⁽⁴⁾	Fcal	Ftab	Resultado
Tratamento	1,00	0,00260	0,00260	2,42	4,30	Não Significante
Resíduo	22,00	0,02366	0,00108	-	-	-
Total	23,00	0,02626	-	-	-	-

⁽¹⁾ F.V. - Fonte de variação

⁽²⁾ G.L. – Graus de liberdade

⁽³⁾ S.Q. – Soma dos quadrados

⁽⁴⁾ M.Q. – Média dos quadrados

Verifica-se que a alteração do tipo de lançamento não se apresentou como uma fonte de variação significativa, já que o valor obtido no Teste F calculado é inferior ao F tabelado.

Assim como o obtido na comparação para o bloco cerâmico fabricado em cerâmica com superfície lisa, as outras combinações avaliadas também apresentam resultados que indicam que a alteração no tipo de lançamento não altera significativamente os resultados no ensaio de aderência à tração, conforme Tabelas (Coluna C e G; Coluna B e F e Coluna D e H).

Colunas C e G						
F.V.	G.L.	SQ	MQ	Fcal	Ftab	Resultado
Tratamento	1,00	0,00260	0,00260	3,26	4,30	Não Significante
Resíduo	22,00	0,01759	0,00080	-	-	-
Total	23,00	0,02020	-	-	-	-

Colunas B e F						
F.V.	G.L.	SQ	MQ	Fcal	Ftab	Resultado
Tratamento	1,00	0,00027	0,00027	0,22	4,30	Não Significante
Resíduo	22,00	0,02653	0,00121	-	-	-
Total	23,00	0,02680	-	-	-	-

Colunas D e H						
F.V.	G.L.	SQ	MQ	Fcal	Ftab	Resultado
Tratamento	1,00	0,00220	0,00220	1,64	4,30	Não Significante
Resíduo	22,00	0,02966	0,00135	-	-	-
Total	23,00	0,03186	-	-	-	-

Portanto, em nenhuma das 4 combinações propostas, o tipo de lançamento se apresenta, estatisticamente, como um tratamento que altera significativamente os resultados. Assim, a alteração do tipo de lançamento do horizontal para o vertical foi realizada para diminuição das variáveis presentes na execução do revestimento.

Outro ponto a ser ressaltado é a expressiva diminuição da dispersão dos dados, medido pelo coeficiente de variação. A diminuição das variáveis reflete diretamente na dispersão dos resultados e aumenta a precisão dos resultados obtidos.

A segunda metodologia analisada foi a forma de confecção do bloco cerâmico para ensaio. Foram comparadas as confecções em cerâmica, de um bloco cerâmico inteiro, com a confecção em extrusora de laboratório, com dimensões já delimitadas para o ensaio de aderência à tração com dimensões reais.

As Tabelas e apresentam as comparações, respectivamente, da superfície lisa lançada horizontalmente e da superfície lisa lançada verticalmente.

Colunas A e C						
F.V.	G.L.	SQ	MQ	Fcal	Ftab	Resultado
Tratamento	1,00	0,00010	0,00010	0,07	4,30	Não Significante
Resíduo	22,00	0,03286	0,00149	-	-	-
Total	23,00	0,03296	-	-	-	-

Colunas E e G						
F.V.	G.L.	SQ	MQ	Fcal	Ftab	Resultado
Tratamento	1,00	0,00010	0,00010	0,27	4,30	Não Significante
Resíduo	22,00	0,00839	0,00038	-	-	-
Total	23,00	0,00850	-	-	-	-

Conforme, comparação do F calculado com o tabelado, a alteração do tipo de confecção do bloco cerâmico é um tratamento que não altera significativamente os resultados de aderência à tração.

Portanto, a fabricação do bloco cerâmico em extrusora de laboratório é estatisticamente viável e possibilita a execução dos blocos cerâmicos confeccionados com a nova ranhura.

Vale ressaltar que a diminuição da dispersão dos resultados na alteração do tipo de confecção dos blocos cerâmicos não é significativa quanto na alteração do tipo de lançamento. No entanto, a similaridade dos resultados obtidos na comparação entre os tipos de confecção é muito elevada, visto que o valor do F calculado é extremamente baixo para ambas as análises.

ANEXO C – Detalhamento da aderência à tração dos blocos cerâmicos da Etapa II.

Resultados obtidos nos ensaios de aderência à tração dos blocos queimados à 750°C.

Temperatura de queima	Saturação do substrato	Superfície do substrato	Traço da argamassa	Resistência (MPa)	D. P. (MPa)	C. V. (%)	Tipo de Ruptura Predominante
750°C	Seco	Ranhurado	1:1:6	0,29	0,025	8,72%	Argamassa
			1:3	0,1	0,023	23,31%	Argamassa
			1:2	0,37	0,016	4,31%	Argamassa
		Liso	1:1:6	0,34	0,025	7,21%	Argamassa
			1:3	0,12	0,012	9,98%	Argamassa
			1:2	0,36	0,023	6,31%	Argamassa
		Chapisco	1:1:6	0,38	0,021	5,52%	Argamassa
			1:3	0,31	0,024	7,61%	Argamassa
			1:2	0,45	0,029	6,50%	Argamassa
	Molhado	Ranhurado	1:1:6	0,32	0,023	7,07%	Argamassa
			1:3	0,23	0,025	10,93%	Argamassa
			1:2	0,52	0,024	4,57%	Cerâmica
		Liso	1:1:6	0,25	0,024	9,65%	Interface A/C
			1:3	0,24	0,016	6,53%	Interface A/C
			1:2	0,23	0,018	7,72%	Interface A/C
		Chapisco	1:1:6	0,45	0,032	7,09%	Argamassa
			1:3	0,49	0,041	8,44%	Cerâmica
			1:2	0,53	0,027	5,04%	Cerâmica
	Saturado	Ranhurado	1:1:6	0,24	0,023	9,71%	Argamassa
			1:3	0,33	0,024	7,17%	Argamassa
			1:2	0,51	0,036	7,07%	Cerâmica
		Liso	1:1:6	0,08	0,023	28,29%	Interface A/C
			1:3	0,26	0,021	8,12%	Interface A/C
			1:2	0,2	0,011	5,37%	Interface A/C
		Chapisco	1:1:6	0,46	0,028	6,08%	Argamassa
			1:3	0,51	0,037	7,22%	Cerâmica
			1:2	0,52	0,031	5,93%	Cerâmica

Resultado do ensaio de aderência à tração dos blocos cerâmicos queimado à 900°C.

Temperatura de queima	Saturação do substrato	Superfície do substrato	Traço da argamassa	Resistência (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	C. V. (%)	Tipo de Ruptura detalhada
900°C	Seco	Ran.	"1:1:6"	0,26	0,015	5,72%	100% Argamassa
			"1:3"	0,07	0,022	34,21%	100% Argamassa
			"1:2"	0,34	0,021	6,15%	100% Argamassa
		Liso	"1:1:6"	0,29	0,025	8,75%	100% Argamassa
			"1:3"	0,06	0,019	33,31%	100% Argamassa
			"1:2"	0,28	0,019	6,87%	100% Argamassa
		Chap.	"1:1:6"	0,31	0,017	5,44%	100% Argamassa
			"1:3"	0,28	0,015	5,42%	100% Argamassa
			"1:2"	0,39	0,028	7,28%	100% Argamassa
	Molh.	Ran.	"1:1:6"	0,34	0,016	4,71%	100% Argamassa
			"1:3"	0,19	0,015	8,07%	100% Argamassa
			"1:2"	0,54	0,032	5,83%	100% Cerâmica
		Liso	"1:1:6"	0,34	0,016	4,72%	64% Argamassa 36% Interface A/C
			"1:3"	0,2	0,025	12,41%	79% Argamassa 21% Interface A/C
			"1:2"	0,28	0,021	7,27%	90% Interface A/C 10% Argamassa
		Chap.	"1:1:6"	0,41	0,031	7,49%	100% Argamassa
			"1:3"	0,46	0,022	4,76%	83% Argamassa 17% Cerâmica
			"1:2"	0,61	0,028	4,66%	93% Cerâmica 7% Argamassa
	Sat.	Ran.	"1:1:6"	0,3	0,015	5,13%	100% Argamassa
			"1:3"	0,26	0,013	5,03%	100% Argamassa
			"1:2"	0,62	0,020	3,18%	100% Cerâmica
		Liso	"1:1:6"	0,16	0,014	8,70%	100% Interface A/C
			"1:3"	0,22	0,017	7,89%	100% Interface A/C
			"1:2"	0,23	0,018	7,94%	100% Interface A/C
		Chap.	"1:1:6"	0,45	0,022	4,95%	100% Argamassa
			"1:3"	0,59	0,016	2,64%	75% Argamassa 25% Cerâmica
			"1:2"	0,63	0,020	3,17%	100% Cerâmica

ANEXO D – Detalhamento da aderência à tração dos blocos cerâmicos da Etapa III.

Resultado do ensaio de aderência à tração nos tijolos fabricados com a nova ranhura em cerâmica – Etapa 3.

Traço	Saturação do substrato	Resistência de aderência à tração (MPa)	Desvio padrão (MPa)	C.V. (%)	Tipo de ruptura
1:1:6 0%	Seco	0,24	0,022	9,27%	100% Argamassa
	Molhado	0,27	0,024	8,64%	100% Argamassa
	Saturado	0,23	0,023	9,70%	100% Argamassa
1:1:6 0,3%	Seco	0,29	0,024	8,47%	100% Argamassa
	Molhado	0,31	0,024	7,84%	100% Argamassa
	Saturado	0,29	0,021	7,47%	100% Argamassa
1:1:6 0,6%	Seco	0,34	0,031	9,27%	100% Argamassa
	Molhado	0,37	0,031	8,28%	100% Argamassa
	Saturado	0,37	0,027	7,32%	100% Argamassa
1:1:6 0,9%	Seco	0,39	0,033	8,48%	100% Argamassa
	Molhado	0,45	0,027	5,97%	100% Argamassa
	Saturado	0,47	0,032	6,69%	100% Argamassa
1:2	Seco	0,35	0,029	8,23%	100% Argamassa
	Molhado	0,48	0,030	6,18%	100% Argamassa
	Saturado	0,52	0,035	6,70%	100% Argamassa