

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

Denilson Bona Junior

**ESTUDO DO ENSAIO DE FLEXÃO EM QUATRO PONTOS COMO
MÉTODO PARA AVALIAÇÃO DA TENSÃO DE ADERÊNCIA ENTRE
CHAPISCO E SUBSTRATO DE CONCRETO**

Santa Maria, RS
2022

Denilson Bona Junior

**ESTUDO DO ENSAIO DE FLEXÃO EM QUATRO PONTOS COMO MÉTODO
PARA AVALIAÇÃO DA TENSÃO DE ADERÊNCIA ENTRE CHAPISCO E
SUBSTRATO DE CONCRETO**

Trabalho de conclusão de curso, apresentado ao Curso de Engenharia Civil, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS) – Campus, como requisito parcial para obtenção do título de **Engenheiro Civil**.

Orientador: Prof. Dr. Gihad Mohamad

Santa Maria, RS
2022

Denilson Bona Junior

**ESTUDO DO ENSAIO DE FLEXÃO EM QUATRO PONTOS COMO MÉTODO
PARA AVALIAÇÃO DA TENSÃO DE ADERÊNCIA ENTRE CHAPISCO E
SUBSTRATO DE CONCRETO**

Trabalho de conclusão de curso, apresentado ao Curso de Engenharia Civil, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Engenheiro Civil**.

Aprovado em 18 de agosto de 2022:

Gihad Mohamad, Dr. (UFSM)
(Orientador)

Alexandre Silva De Vargas, Dr. (UFSM)

Silvane Santos da Silva, Me. (UFSM)

Santa Maria, RS
2022

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço aos meus pais e ao meu irmão, por todo o suporte ao longo de toda a minha trajetória.

Aos professores do curso de Engenharia Civil da UFSM, pelos ensinamentos transmitidos durante toda a graduação, em especial ao professor Gihad Mohamad pelo apoio no desenvolvimento desse trabalho.

Aos técnicos e profissionais do Laboratório de Materiais de Construção Civil pelo auxílio e disponibilidade durante a realização dos ensaios experimentais.

Aos amigos que fiz durante a graduação, Amanda, Bia, Eduardo, Jéssica, Leonardo e Maira, foram cinco anos de muitos momentos felizes, mas também de momentos difíceis, e sempre pude contar com o apoio de vocês.

Aos amigos de Nova Ramada, Ana e Maiara, pelos quase quinze anos de amizade e que mesmo com a distância nunca saíram do meu lado. Quem venham muitos anos mais!

Aos colegas e parceiros de trabalho aos quais tive a oportunidade de colaborar durante os estágios, Sustembio, Hoppe e RKS, obrigado pela oportunidade de me desenvolver profissionalmente junto de vocês.

"Construimos muros demais e pontes de menos."

(Isaac Newton)

RESUMO

ESTUDO DO ENSAIO DE FLEXÃO EM QUATRO PONTOS COMO MÉTODO PARA AVALIAÇÃO DA TENSÃO DE ADERÊNCIA ENTRE CHAPISCO E SUBSTRATO DE CONCRETO

AUTOR: Denilson Bona Junior
ORIENTADOR: Gihad Mohamad

A ABNT NBR 13528 (2019) especifica os requisitos para a realização do ensaio de resistência de aderência à tração em argamassas inorgânicas, tanto em obra quanto em laboratório, pelo ensaio conhecido como arrancamento. Este ensaio vem sendo alvo de estudos pela comunidade científica uma vez que apresenta um alto coeficiente de variação em seus resultados – da ordem de 35% – além de estar sujeito a variações inerentes à aplicação do ensaio por meio do operador. A pesquisa busca avaliar o ensaio de flexão em quatro pontos como um possível método para obtenção da resistência à tração na interface entre chapisco e substrato de concreto. Aplicou-se chapisco lançado com relação água/cimento de 0,65 nas faces laterais de prismas de concreto e placas de substrato-padrão de argamassa, os quais foram submetidas ao ensaio de flexão e, com o valor da carga no momento do descolamento da camada de argamassa, calculou-se a resistência de aderência por meio de equações da resistência dos materiais. Apesar dos valores encontrados serem maiores que os encontrados na literatura, o método se demonstrou eficaz na obtenção dos valores de aderência. Placas se mostraram mais adequadas que prismas ao avaliar a aderência devido ao seu maior potencial de deformação. Entretanto, faz-se necessária a realização de ensaios mais precisos analisando os demais fatores que influenciam neste resultado.

Palavras-chave: Aderência. Flexão em quatro pontos. Chapisco.

ABSTRACT

STUDY OF FOUR-POINT BENDING TEST AS A METHOD FOR EVALUATION OF ADHERENCE TENSION BETWEEN ROUGHCAST AND CONCRETE SUBSTRATE

AUTHOR: Denilson Bona Junior

ADVISOR: Gihad Mohamad

ABNT NBR 13528 (2019) specifies the requirements for executing tensile bond strength test on inorganic mortars, both on site and in laboratory, through the test known as pull-off. This test has been subject of studies by the scientific community since it shows a high coefficient of variation in its results - around 35% - in addition to being susceptible to variations inherent to the application of the test by the operator. The research seeks to evaluate the four-point bending test as a method for obtaining the tensile strength at the interface between roughcast mortar and concrete substrate. Roughcast was applied with a water/cement ratio of 0.65 on the lateral faces of concrete prisms and standard mortar substrate plates, which were submitted to the bending test and, with the load value in the moment of detachment of the mortar layer, adhesion strength was calculated with equations from resistance of materials. Despite the values found being higher than those found in the literature, the method proved to be effective in obtaining adherence values. Plates proved to be more suitable than prisms when evaluating adhesion due to their greater deformation potential. However, conducting more accurate tests is necessary, analyzing other factors that influenced these results.

Keywords: Bond strength. Four-point bending test. Roughcast.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Formas de execução do chapisco	16
Figura 2 – Superfície de chapisco lançado com colher de pedreiro	17
Figura 3 – Superfície de chapisco desempenado	18
Figura 4 – Superfície de chapisco rolado	19
Figura 5 – Adequada aderência devido ao mecanismo de intertravamento mecânico entre matriz cimentícia e substrato	23
Figura 6 – Representação esquemática do mecanismo de aderência entre argamassa de cimento e cal e blocos cerâmicos	24
Figura 7 – Processos ocorridos no desenvolvimento da aderência mecânica	26
Figura 8 – Formas de ruptura no ensaio de resistência de aderência à tração para um sistema de revestimento com chapisco.....	29
Figura 9 – Curva granulométrica da areia grossa	32
Figura 10 – Corpos de prova prismáticos	33
Figura 11 – Prensa Instron® 500HDX-64-67B.....	34
Figura 12 – Placa de substrato-padrão.....	34
Figura 13 – Placa de substrato-padrão cortadas	35
Figura 14 – Esquema de registro da posição das barras da malha	35
Figura 15 – Representação das regiões chapiscadas na placa de substrato-padrão.....	36
Figura 16 – Esquema de aplicação das cargas na flexão em quatro pontos.	37
Figura 17 – Desenvolvimento da ruptura no corpo de prova prismático.	38
Figura 18 – Tensão de aderência e carga de ruptura em corpos de prova prismáticos	39
Figura 19 – Comparação entre a carga no descolamento e na ruptura	40
Figura 20 – Tensão de aderência em corpos em placas de substrato-padrão	41
Figura 21 – Correlação entre posição média da malha e tensão de aderência.....	42
Figura 22 – Descolamento da camada de chapisco na face inferior.....	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características dos substratos de concreto.....	17
Tabela 2 – Classes de resistência de concretos estruturais.....	20
Tabela 3 – Características dos substratos de concreto.....	21
Tabela 4 – Limites de resistência de aderência à tração (Ra) para emboço e camada única ...	28
Tabela 5 – Resistência potencial de aderência à tração.....	30
Tabela 6 – Composição do cimento	31
Tabela 7 – Características físicas do agregado.....	32
Tabela 8 – Caracterização visual da forma de fissuração e descolamento.....	43

LISTA DE ABREVIATURAS

ABCP	Associação Brasileira do Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
C ₃ A	aluminato tricálcico
C-S-H	silicato tricálcico
F _{c28}	Resistência à compressão do concreto aos 28 dias
INSA	<i>Institut National de Sciences Appliquées</i>
LMCC	Laboratório de Materiais de Construção Civil
MPa	Megapascal
NBR	Norma Brasileira
Ra	Resistência de aderência
RST	Resistência à tração superficial
UFSM	Universidade Federal de Santa Maria

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	12
1.2	OBJETIVOS	13
1.2.1	Objetivo Geral	13
1.2.2	Objetivos Específicos	13
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO	14
2	REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1	SISTEMAS DE REVESTIMENTO ARGAMASSADO	15
2.1.1	Camada de Preparo: Chapisco	15
2.1.2	Formas de Aplicação do Chapisco	16
2.1.2.1	Chapisco lançado	17
2.1.2.2	Chapisco desempenado	18
2.1.2.3	Chapisco rolado	18
2.1.3	Substrato	19
2.1.3.1	Substrato em concreto de cimento Portland	20
2.2	MECANISMOS DE ADERÊNCIA DOS REVESTIMENTOS ARGAMASSADOS À BASE	21
2.2.1	Aderência Mecânica	22
2.2.2	Aderência Química	27
2.3	DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA EM ARGAMASSAS	27
2.3.1	Resistência de aderência à tração	28
2.3.2	Resistência de aderência à tração superficial	30
3	MATERIAIS E METODOLOGIA	31
3.1	MATERIAIS	31
3.1.1	Aglomerante	31
3.1.2	Agregado	31
3.1.3	Água de Amassamento	32
3.2	ENSAIOS PRELIMINARES	33
3.2.1	Substrato de Concreto	33
3.2.2	Ensaio de Flexão em Quatro Pontos	33
3.3	ENSAIOS FINAIS	34
3.3.1	Substrato de Concreto	34

3.3.2	Preparação dos Corpos de Prova	36
3.3.3	Ensaio de Flexão em Quatro Pontos.....	36
3.3.4	Análise Visual	37
4	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	38
4.1	RESULTADOS EM CORPOS DE PROVA PRISMÁTICOS	38
4.2	RESULTADOS EM PLACAS DE SUBSTRATO-PADRÃO	39
4.2.1	Ensaio de Arrancamento	44
5	CONCLUSÃO	45
5.1	SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS	45
	REFERÊNCIAS	46
	APÊNDICE A – POSIÇÃO DA MALHA DE AÇO NAS PLACAS	50
	APÊNDICE B – TENSÃO DE ADERÊNCIA EM PRISMAS	52
	APÊNDICE C – CURVA CARGA X EXTENSÃO EM PRISMAS.....	53
	APÊNDICE D – TENSÃO DE ADERÊNCIA NAS PLACAS.....	55

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Apesar do desenvolvimento de novas técnicas e tecnologias, o sistema de revestimento em argamassa ainda é uma das técnicas mais difundidas no Brasil em edificações de grande e pequeno porte, tanto em ambiente interno, quanto externo. O sistema de revestimento é responsável por garantir a estanqueidade da edificação além do adequado desempenho térmico e acústico (ALVES, 2002).

Mesmo sendo uma técnica antiga e alvo de diversas pesquisas, os revestimentos em argamassa ainda apresentam diversas patologias, das quais se destacam as fissuras, manchas de umidade, retração, e o descolamento da camada de argamassa – associado à aderência insuficiente entre a camada de revestimento e o substrato em concreto (MOURA, 2007).

De fato, ao realizar estudos de caso em nove obras na cidade de Brasília – DF, executadas por diferentes construtoras, Carasek, Cascudo e Jucá (2007) destacam o descolamento como a principal patologia apresentada pelas edificações. Ainda, Costa (2005, apud MOURA, 2007) em levantamentos realizados em obras na cidade de Porto Alegre – RS, concluiu que, das manifestações patológicas apresentadas, 67% foram o descolamento da camada de revestimento. Esse fenômeno, além de gerar prejuízos, pode gerar acidentes, representando riscos as vidas humanas (FERREIRA, 2010).

Concretos de elevada resistência vêm sendo empregados na construção civil em busca de estruturas cada vez mais altas e esbeltas, junto a maiores vãos que precisam ser superados. Sabe-se que o aumento da resistência do concreto produz substratos de menor porosidade (METHA e MONTEIRO, 2014). Associado a isso, está o emprego de formas plásticas ou metálicas, produzindo elementos estruturais com faces demasiadamente lisas.

A aderência, por ser um fenômeno essencialmente mecânico, é prejudicada pela baixa rugosidade do substrato, impedindo a ancoragem mecânica (CARASEK; CASCUDO; JUCÁ, 2007). Ainda seguindo os autores, a formação de produtos de hidratação do cimento, que possuem participação nos mecanismos de aderência, também é desfavorecida em virtude da menor porosidade. Ainda é relevante destacar o efeito hidrofugante do uso de desmoldantes a base óleo nas formas necessárias em elementos de concreto, que quando usado em excesso ou sem os devidos cuidados também contribui para a aderência insuficiente.

Uma das formas de aprimorar a resistência de aderência é a aplicação de uma camada de preparo, como o chapisco lançado. Essa, é uma camada de argamassa fluída, aplicada de maneira a produzir uma superfície rugosa. Tendo em vista a influência de diversos fatores como

forma de lançamento, cura, materiais, dentre outros, sua capacidade de garantir aderência vem sendo estudada por diversos pesquisadores (CARASEK, 2001; SCARTEZINI, 2002; LEAL, 2003).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas preconiza o ensaio resistência de aderência à tração como principal parâmetro para determinação da aderência e encontra-se descrito na NBR 13528 (ABNT, 2019). Entretanto, esse ensaio pode apresentar um elevado coeficiente de variação – 35% (COSTA, 2007) e 33% (GONÇALVES, 2004) – já que a própria aplicação da argamassa pode apresentar grande variabilidade, além de que o ensaio pode apresentar diferença nos resultados de acordo com a habilidade do aplicador. O método ainda está sujeito a diferentes formas de ruptura entre as interfaces de camadas de revestimento, substrato, e disco de aplicação.

Deste modo, autores como COSTA (2007), CARASEK E VAZ (2019), dentre outros membros da comunidade científica da área, avaliam o ensaio atual e buscam métodos menos subjetivos e que apresentem uma menor variabilidade, além de uma forma mais simplificada de aplicação.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Tendo em vista o exposto acima a respeito da alta variabilidade e subjetividade do ensaio de arrancamento, esse trabalho tem como objetivo geral avaliar o ensaio de flexão em quatro pontos como um possível método para a determinação da tensão de aderência, especificamente na interface entre a camada de chapisco e o substrato de concreto.

1.2.2 Objetivos Específicos

A fim de atingir o objetivo exposto acima, essa pesquisa busca:

- avaliar o comportamento de um corpo de prova não armado nos resultados do ensaio;
- pela análise de imagens, registrar em vídeo o desenvolvimento do ensaio a fim de avaliar o processo de descolamento e fissuração da camada de chapisco;
- ensaiar placas de substrato-padrão revestidas com chapisco lançado a fim de se obter a tensão de aderência na interface chapisco-substrato de concreto.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho é estruturado em 5 capítulos. O capítulo 2 apresenta uma revisão bibliográfica dos temas relevantes à pesquisa, abordando os sistemas de revestimento e suas características; os mecanismos de aderência e suas propriedades; discutindo também os métodos de avaliação da tensão de aderência e suas problemáticas.

O terceiro capítulo aborda a metodologia de pesquisa e descreve os ensaios realizados tanto para obtenção das cargas quanto para a caracterização dos materiais.

Os capítulos 4 e 5 discutem os resultados e apresentam conclusões a respeito da validade do método tendo como finalidade a obtenção da tensão de aderência.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 SISTEMAS DE REVESTIMENTO ARGAMASSADO

A NBR 7200 (ABNT, 1998, p.2) que preconiza o procedimento de execução de revestimentos de paredes e tetos de argamassas inorgânicas define argamassa como a “mistura homogênea de agregado(s) miúdo(s), aglomerante(s) inorgânico(s) e água, contendo ou não aditivos e adições, com propriedades de aderência e endurecimento”. Como agregados, geralmente são empregadas areias naturais lavadas. Já como aglomerantes, são utilizados o cimento Portland e a cal hidratada, sendo que a destinação da argamassa determina o adequado aglomerante a ser utilizado (FIORITO, 1994).

Um revestimento em argamassa é definido pela NBR 13529 (ABNT, 2013, p.1) como o “cobrimento de uma superfície com uma ou mais camadas superpostas de argamassa, apto a receber acabamento decorativo ou constituir-se em acabamento final, decorativo ou não”, geralmente formado por emboço e reboco.

Suas funções vão muito além de um efeito estético, constituindo um papel fundamental no aumento da durabilidade da edificação ao criar um efeito de barreira, garantindo a estanqueidade e impermeabilização contra agentes externos, tanto água quanto gases (ALVES, 2002). O sistema de revestimento possui uma direta influência na habitabilidade da edificação no que diz respeito a conforto térmico e acústico, conforme constatado por Peres (1985, apud ALVES, 2002, p.7) “um revestimento comum pode ser responsável por 50% do isolamento acústico, 30% do isolamento térmico e 70 a 100% responsável pela estanqueidade”.

De modo geral, um sistema de revestimento é constituído por três camadas: base ou substrato; camada de preparo (chapisco) e revestimento de argamassa.

2.1.1 Camada de Preparo: Chapisco

O chapisco é uma camada de argamassa, aplicada com uma consistência fluída, que possui como função melhorar a aderência entre o substrato e o revestimento argamassado ao gerar uma superfície áspera e irregular. Segundo a Associação Brasileira do Cimento Portland (ABCP, 2002), em seu Manual de Argamassas e Revestimentos, o chapisco é produzido utilizando água, cimento e areia grossa (passante na peneira 4,8 mm) em proporções que variam de 1:3 a 1:5 em volume, podendo ou não se beneficiar do uso de aditivos melhoradores da aderência desde que compatíveis com as características do agregado e do substrato.

Conforme preconizado pela NBR 7200 (ABNT, 1998), o chapisco deve ser aplicado sobre o substrato, em uma camada de 5 mm de espessura, tomando-se o cuidado de não o cobrir completamente.

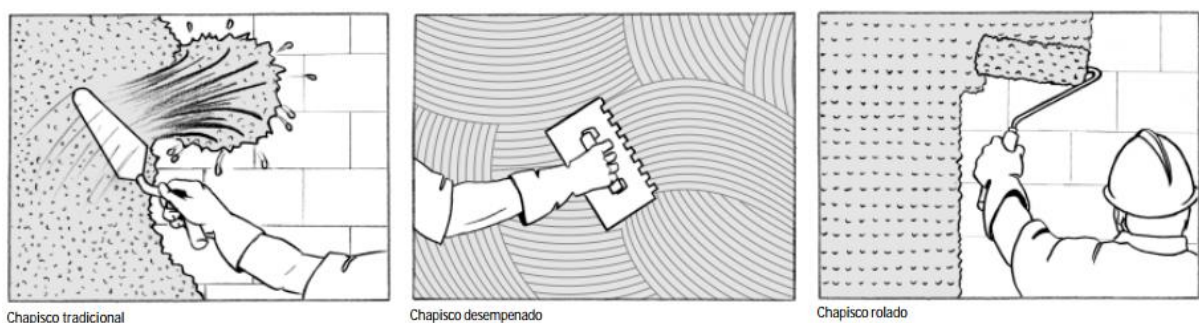
Cândia (1998, apud ALVES, 2002) afirma que a preparação da base não deve ser considerada uma camada de revestimento em si, sugerindo ainda que em determinadas situações essa pode ser realizada apenas com o pré-umedecimento da base com água. O tipo de preparo pode exercer grande influência na resistência de aderência, conforme Scartezini (2002), que avaliou um aumento na resistência de aderência à tração de 27% em bases de blocos cerâmicos preparados com chapisco, ao passo que houve uma redução da aderência de cerca de 9% em blocos de concreto também preparados com chapisco.

Entretanto, Vaz e Carasek (2019, p. 307), ao propor uma revisão sistemática da literatura abordando o comportamento de revestimentos argamassados em termos de aderência, relatam que alguns trabalhos publicados “demonstram que superfícies preparadas com chapisco apresentam resistência de aderência até cerca de 30% maior do que em substratos sem preparo”.

2.1.2 Formas de Aplicação do Chapisco

São difundidas diferentes formas de aplicação do chapisco, dentre elas destacam-se o chapisco lançado convencional, o chapisco rolado e o chapisco desempenado. Cada um tende a produzir uma superfície de diferentes características em termos de rugosidade e serão descritas nos subcapítulos seguintes.

Figura 1 – Formas de execução do chapisco



Fonte: Associação Brasileira de Cimento Portland. Manual de revestimentos e argamassas. 2002. Disponível em: < <http://www.comunidadeconstrucao.com.br/upload/ativos/279/anexo/ativosmanu.pdf>>

Conforme estudado por Becker e Andrade (2017) a variação na aplicação possui influência na aderência, sendo que resistência de aderência tende a diminuir conforme o

aumento de resistência do concreto. De acordo com o apresentado, o chapisco desempenado se mostrou mais adequado em concretos mais resistentes devido ao seu melhor desempenho frente as tensões atuantes, produzindo uma maior resistência de aderência.

Tabela 1 – Características dos substratos de concreto

F_{c28} (MPa)	Resistência de Aderência		
	Chapisco Convencional	Chapisco Rolado	Chapisco Desempenado
17,75	0,41	0,45	0,43
29,87	0,07	0,36	0,35
35,15	0,00	0,18	0,19

Fonte: BECKER, F. A.; ANDRADE J. J. O (2017), adaptado pelo autor.

2.1.2.1 Chapisco lançado

O chapisco lançado ou convencional é o mais comumente utilizado na construção civil pela sua simplicidade. Em geral, é produzido em traços que variam de 1:2 a 1:4 (cimento:areia), sendo a areia grossa a mais recomendada. Deve possuir uma consistência fluída para possibilitar o seu lançamento com a colher de pedreiro (PRETTO, 2007).

Figura 2 – Superfície de chapisco lançado com colher de pedreiro



Fonte: CEOTO et. al., 2005, p.22

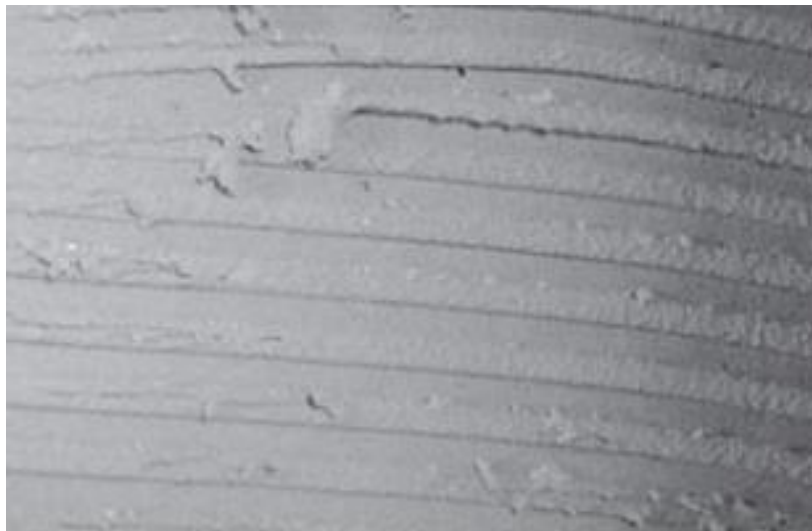
Conforme exposto por Gasperin (2011), tendo em vista que a aplicação demanda maior intervenção humana, essa chapisco apresenta uma grande variabilidade no que diz respeito à

sua composição, energia de lançamento, dentre outras características, o que pode impedir com que cumpra adequadamente suas funções, além de gerar um maior desperdício de argamassa. Apesar de geralmente garantir boa aderência na interface com a camada de revestimento, essa forma de aplicação pode não ser adequada para todos os substratos, principalmente os menos porosos, como concretos de maior resistência característica, nem sempre garantindo uma boa aderência na interface com esse tipo de substrato (MULLER, 2010).

2.1.2.2 Chapisco desempenado

De acordo com o Manual de Revestimentos e Argamassas (ABCP, 2002), o chapisco desempenado é aplicado utilizando argamassa industrializada, sendo apenas necessário acrescentar água à mistura. Sua aplicação é realizada utilizando uma desempenadeira dentada.

Figura 3 – Superfície de chapisco desempenado



Fonte: CEOTO et. al., 2005, p.22

“Essa argamassa de chapisco possui uma consistência menos fluída, semelhante às argamassas colantes, por conter um elevado teor de polímero [...] é utilizado apenas em estruturas de concreto, ou seja, substratos poucos porosos.” (MULLER, 2010, p.35).

2.1.2.3 Chapisco rolado

O chapisco rolado, conforme sugere o nome, é aplicado utilizando um rolo de espuma, a fim de proporcionar uma superfície rugosa. De acordo com Rudiant (2009, apud GASPERIN,

2011, p. 32) “uma das grandes vantagens desse tipo de chapisco é a alta produtividade que ele proporciona”, apesar de muitas vezes produzir uma camada muito fina.

Figura 4 – Superfície de chapisco rolado



Fonte: CEOTO et. al., 2005, p. 22.

2.1.3 Substrato

O termo substrato ou base diz respeito à superfície na qual o revestimento será aplicado. Conforme colocado por Cândia (1995, apud ALVES, 2002, p.9), os substratos mais utilizados na construção civil brasileira são paredes de alvenaria (estrutural ou de vedação) geralmente de blocos cerâmicos, blocos de concreto, blocos sílico-calcário e concreto celular; além das estruturas de concreto armado moldadas “*in loco*”.

De acordo com Alves (2002), como diferentes substratos possuem diferentes características superficiais que variam conforme o material e fabricação, deve-se escolher adequadamente a melhor forma de preparo da base, técnica de aplicação e argamassa de revestimento. Alinhados a isso, Carasek, Cascudo e Scartezini (2001) colocam que as características e propriedades do substrato exercem tanta influência na aderência do revestimento quanto às características adesivas da argamassa. Como exemplo disso, pode-se citar o trabalho de Carasek (1996), corroborado posteriormente por Scartezini (2002), que identifica uma aderência até 160% maior em blocos de concreto, quando comparada com blocos cerâmicos (para os materiais utilizados na pesquisa).

2.1.3.1 Substrato em concreto de cimento Portland

O concreto é material mais utilizado na construção civil, uma vez que oferece propriedades adequadas a um baixo custo. Tendo em vista a tendência no mercado em se construir edificações esbeltas, torna-se cada vez mais necessária a utilização de concretos de maior resistência.

Para Metha e Monteiro (2014, p. 21), o concreto “tem uma microestrutura altamente complexa e heterogênea” de maneira que um alto controle de qualidade é necessário para que maiores resistências sejam alcançadas. Silva (2000) coloca que na década de 40, edificações eram executadas com concretos de até 16 MPa, e com o passar do tempo, conseguiu-se aumentar gradativamente a resistência.

Hoje, a NBR 8953 (ABNT, 2015), que classifica os concretos para fins estruturais, traz classificações de concretos com resistências características a compressão de até 100 MPa, como pode ser observado na tabela 2, sendo entendidos como concretos de alta resistência aqueles que atingem resistências maior que 55 MPa (Grupo II). Vale ressaltar que a norma não classifica como estruturais os concretos com resistências inferiores a 20 MPa.

Tabela 2 – Classes de resistência de concretos estruturais

Grupo de resistência	Classe	Resistência característica à compressão (MPa)
Grupo I	C20	20
	C25	25
	C30	30
	C35	35
	C40	40
	C45	45
	C50	50
Grupo II	C55	55
	C60	60
	C70	70
	C80	80
	C90	90
	C100	100

Fonte: Adaptado da Tabela 01 da ABNT NBR 8953 (2015)

Para Metha e Monteiro (2014, p. 50), “existe uma relação inversa fundamental entre porosidade (fração de volume de vazios) e resistência”, de modo que concretos de maior resistência apresentem menor porosidade. Esse fator, alinhado ao uso de formas plastificadas, gera elementos estruturais com superfícies demasiadamente lisas. Dessa maneira, pela “baixa absorção de água do substrato, há prejuízo da absorção capilar que deve existir na camada superficial da base, de modo a permitir a ancoragem dos produtos de hidratação da argamassa de revestimento no interior do substrato” (CARASEK; CASCUDO; JUCÁ, 2005, p. 560), podendo comprometer a aderência entre substrato de concreto e revestimento argamassado.

Ao investigar esse fenômeno, Becker e Andrade (2017), constatam que de fato há uma diminuição na absorção de água e na porosidade dos substratos estudados de acordo com o aumento da resistência, conforme pode ser observado na tabela 3.

Tabela 3 – Características dos substratos de concreto

Fc28 (MPa)	Absorção (%)	Porosidade (%)
17,75	5,92	13,45
29,87	4,78	11,06
35,15	4,58	10,42

Fonte: BECKER, F. A.; ANDRADE J. J. O (2017, p. 11)

2.2 MECANISMOS DE ADERÊNCIA DOS REVESTIMENTOS ARGAMASSADOS À BASE

A aderência é uma das principais propriedades que influenciam no bom desempenho de um sistema de revestimento. É uma propriedade complexa que é influenciada por diversos fatores como as condições do substrato; os materiais que constituem a argamassa e suas propriedades; e a forma ou técnica de execução da mesma, que influenciam na energia imposta na aplicação. Devido a essa complexidade, tem sido objetivo de diversos estudos no meio científico ao longo dos anos. Nesse sentido, destacam-se os trabalhos de Carasek (1996), Scartezini (2002), Carvalho Jr (2005), Costa (2007, 2014), dentre outros.

Wu (1982) trata a aderência como “o estado no qual duas fases mantem-se unidas por contato interfacial, de forma que forças mecânicas ou trabalho possam ser transferidos através da interface”. Para Carasek e Vaz (2019, p.303), ela pode ser definida como a “propriedade do revestimento de resistir às tensões atuantes na interface com o substrato”. Ela não se trata de uma propriedade exclusiva da argamassa ou do substrato, mas sim da interação entre ambos.

Em outro trabalho, Carasek, Cascudo e Scartezini (2001, p.45) ainda colocam que o termo aderência pode ser utilizado para descrever a “resistência e a extensão de contato entre a argamassa e uma base porosa”.

Para Selmo (1989, apud SILVEIRA, 2004), a aderência deriva de outras três propriedades: a resistência de aderência à tração, em virtude de esforços normais pela utilização do sistema de revestimento; a resistência de aderência ao cisalhamento, devido aos esforços tangenciais provenientes da ação da gravidade atuante no revestimento (PAES, 2004); e a extensão de aderência, esta, corresponde à “razão entre a área de contato efetivo e a área total possível de ser unida” (CARASEK; CASCUDO; SCARTEZINI, 2001, p.45).

Em seu trabalho, Alves (2002) coloca que, é necessário que a aderência se mantenha ao longo do tempo, de forma a garantir sua durabilidade. Essa, inicia com o endurecimento da pasta e se dá ao longo da vida útil do revestimento. A durabilidade então, pode ser comprometida em razão da retração, que, conforme observado nos estudos de Carasek e Scartezini (1999), gera tensões na interface entre substrato e revestimento. Demonstra-se assim que existe uma relação entre módulo de deformação e durabilidade, de maneira que é favorável aos revestimentos possuírem uma maior capacidade de absorver deformações, evitando o surgimento de microfissuras que podem comprometer a aderência.

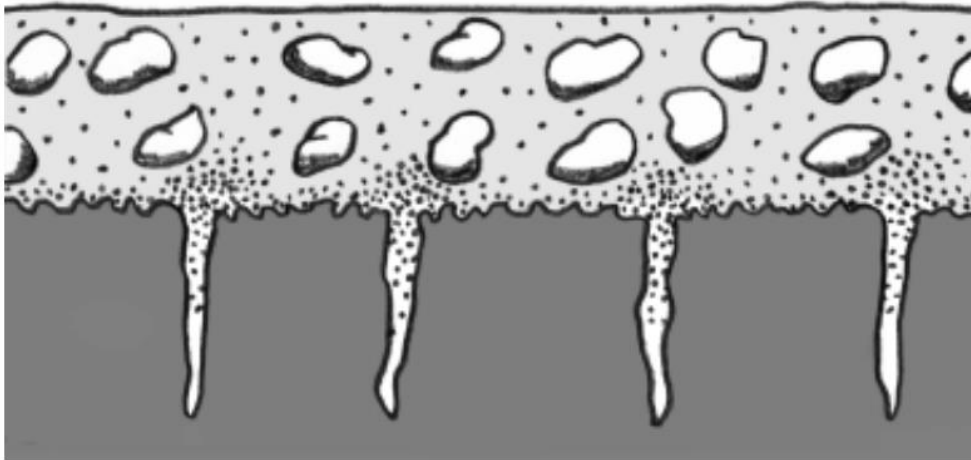
Assim, a aderência, sua formação e seus mecanismos abrangem diversos fenômenos, o que torna complexo a elaboração de uma única teoria que explique os fenômenos químicos e físicos da propriedade de maneira abrangente. O mais aceito entre a comunidade científica é que existem dois principais mecanismos de aderência: mecânico e químico.

2.2.1 Aderência Mecânica

Pode-se dizer que é um consenso entre diversos autores da área que a aderência entre a argamassa em seu estado endurecido e o substrato é um fenômeno essencialmente mecânico (CARASEK; CASCUDO; SCARTEZINI, 2001). Ela pode ser entendida como o resultado da ancoragem mecânica da pasta nos poros do substrato (COSTA, 2014).

Quando a argamassa em seu estado fresco entra em contato com o substrato, parte da água de amassamento é succionada pelo mesmo, penetrando os poros. Assim, íons do aglomerante migram para o interior dos poros, nos quais, após dado tempo irão ocorrer as reações de hidratação. Os produtos da hidratação, principalmente cristais de etringita, irão precipitar exercendo uma ação de ancoragem da argamassa à base.

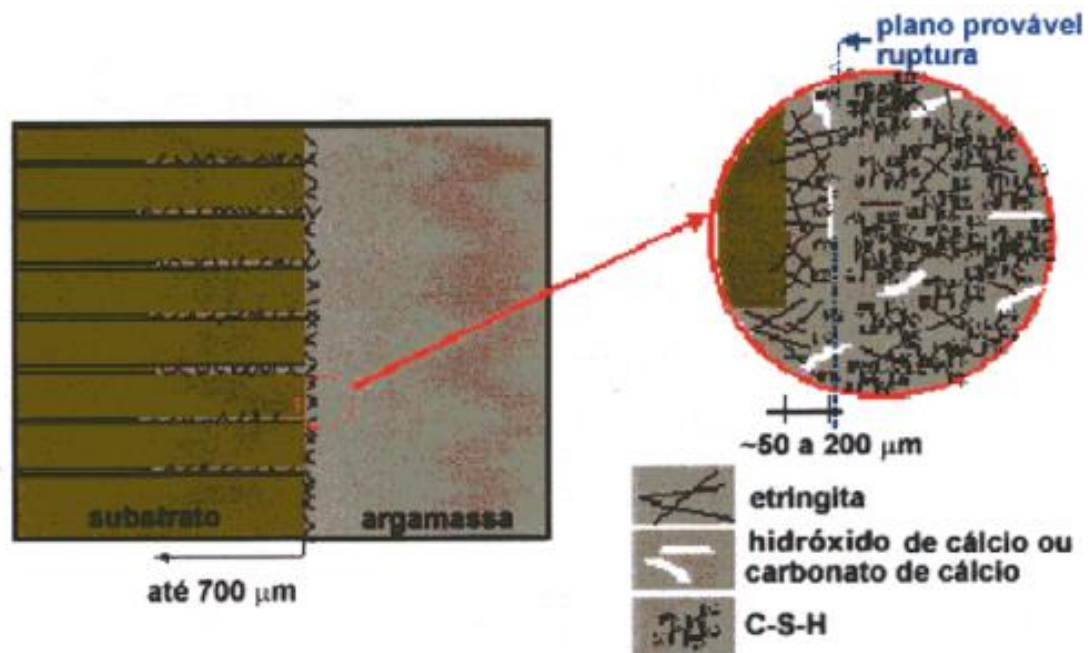
Figura 5 – Adequada aderência devido ao mecanismo de intertravamento mecânico entre matriz cimentícia e substrato



Fonte: Associação Brasileira de Cimento Portland. Manual de revestimentos e argamassas. 2002. Disponível em: < <http://www.comunidadeconstrucao.com.br/upload/ativos/279/anexo/ativosmanu.pdf> >

A abundância de etringita ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$ – trissulfoaluminato de cálcio hidratado) na zona de contato entre argamassa e substrato se deve, pois, quando o cimento Portland entra em contato com a água de amassamento e iniciam-se as reações de hidratação, ocorre a dissolução da gipsita (empregada como reguladora de pega). Assim, são liberados íons sulfato e cálcio, os primeiros a entrar em solução, seguidos de íons aluminato e cálcio provenientes da dissolução do C_3A (aluminato tricálcico). Eles são absorvidos prioritariamente pelos poros do substrato (devido ao efeito de sucção capilar) para as regiões mais internas, formando a etringita. Apesar de outros produtos como C-S-H (silicato tricálcico) e calcita também serem formados, estes encontram-se em menor quantidade nessa região (CARASEK; CASCUDO; SCARTEZINI, 2001). Esse modelo, pesquisado por Carasek (1996) utilizando microscópio eletrônico de varredura (MEV-EDS) encontra respaldo internacional em estudos do *Institut National de Sciences Appliquées* – INSA.

Figura 6 – Representação esquemática do mecanismo de aderência entre argamassa de cimento e cal e blocos cerâmicos



Fonte: Carasek, 1996

A sucção capilar no processo de desenvolvimento da aderência é colocada por Lange (1996, apud SILVEIRA, 2004, p.17) como “dominante na interação da argamassa e a unidade de alvenaria [...]. Esse movimento de água controla a microestrutura da interface e também os vazios e porosidade da argamassa.”

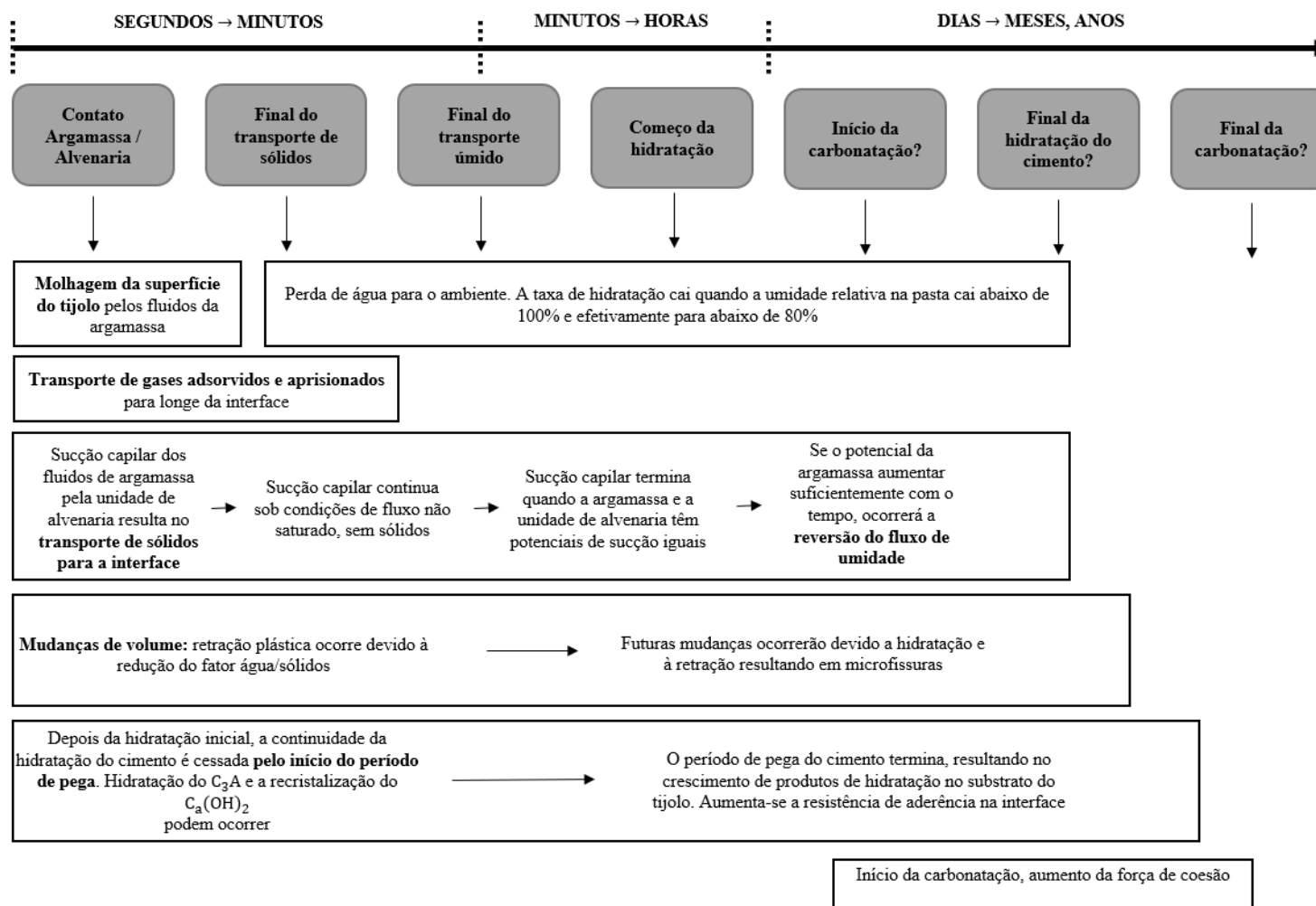
Nesse sentido, a teoria dos poros ativos é utilizada para descrever a interação entre substrato e argamassa, onde o fluxo de água entre eles é tratado como dois sistemas de poros interagindo. O substrato é considerado como um “conjunto de tubos cilíndricos paralelos independentes, abertos, perpendiculares à superfície da argamassa, de raios constantes ao longo do tempo e inicialmente vazios” (CARVALHO JR, 2005, p. 39). A argamassa em seu estado fresco é tratada como o mesmo conjunto de tubos, porém o raio médio tende a diminuir conforme a hidratação do cimento avança.

Enquanto os raios médios dos poros da argamassa forem maiores que os do substrato, o fluxo de água ocorre no sentido da argamassa para o substrato. As partículas sólidas da argamassa são comprimidas pela ação da depressão capilar, que se apresenta pela retração da argamassa junto à aceleração da cristalização dos produtos de hidratação. Ocorre então a

redução dos raios médios dos capilares da argamassa, igualando-se aos do substrato, momento em que o sentido do fluxo de água se inverte e se dá do substrato para a argamassa.

O diagrama adaptado na figura 7, elaborado por Sugo *et al.* (2001), demonstra os processos ocorridos no decorrer do desenvolvimento do sistema de aderência mecânico de uma argamassa ao substrato, nele pode-se perceber a predominância dos efeitos da sucção capilar e da molhagem.

Figura 7 – Processos ocorridos no desenvolvimento da aderência mecânica



Fonte: Adaptado de SUGO, PAGE, LAWRENCE, 2001. Tradução do autor.

2.2.2 Aderência Química

Para Reinhart (1954, apud COSTA, 2014), a aderência em materiais multifásicos se deve principalmente às forças de atração intermoleculares entre as fases: ligações primárias (iônicas, covalentes e metálicas) e ligações secundárias (forças de Van der Waals), sendo a última, forte o suficiente para explicar a aderência.

Por outro lado, Costa (2014) coloca que na interface entre substrato e matriz cimentícia a “ocorrência de ligações primárias [...] é pouco descrita na literatura pela dificuldade de comprovação”. Ainda, Kampf (1963 apud PAES, 2004) ao estudar a aplicação de argamassas em placas de vidro conclui que existe apenas uma pequena parcela da aderência, de aproximadamente 10%, proveniente de ligações polares covalentes entre os átomos de cimento e do substrato, quando comparada com a mesma argamassa aplicada sobre alvenaria, comprovando que a contribuição da aderência mecânica é superior à do sistema químico.

Apesar de pouco significativa, a aderência química pode ser melhorada utilizando aditivos adesivos, o que se mostra uma boa solução quando há necessidade de se trabalhar com revestimentos em substratos que não apresentam uma boa condição de rugosidade para garantir a aderência mecânica, como tubos de PVC ou elementos estruturais metálicos (NASCIMENTO, 2005).

2.3 DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA EM ARGAMASSAS

Dentre as maneiras de se tentar determinar ou avaliar a resistência de aderência, podemos citar métodos qualitativos e quantitativos. De modo qualitativo, destaca-se o ensaio de percussão, trazido pela NBR 13749:2013.

Este, é um ensaio não destrutivo que consiste na aplicação de impactos leves, com martelo de madeira sobre o revestimento. A aplicação dos impactos deve ser realizada em 1 m² da superfície, a cada 50 m² para tetos e a cada 100 m² para paredes. A norma afirma que “os revestimentos que apresentarem som cavo nesta inspeção, por amostragem, devem ser integralmente percutidos para se estimar a área total com falha de aderência, a ser reparada” (ABNT, 2013).

De maneira quantitativa, existem ensaios destrutivos de resistência de aderência, tanto à tração quanto ao cisalhamento (COSTA, 2007). O ensaio por meio do cisalhamento ainda não possui normatização no Brasil e não será o objetivo desse trabalho.

2.3.1 Resistência de aderência à tração

A NBR 13528 (ABNT, 2019) aborda e padroniza a determinação da resistência de aderência à tração em revestimentos de paredes de argamassas inorgânicas por meio do ensaio conhecido como arrancamento.

O ensaio se baseia na aplicação de um esforço de tração perpendicular ao corpo de prova contendo o revestimento, com uma taxa de carregamento constante. A aplicação é realizada por meio de um dinamômetro até a ruptura. O corpo de prova é obtido cortando a superfície do revestimento com uma serra-copo, sendo que ele deve se estender de 1 a 5 mm dentro do substrato. Sobre o revestimento, é colada uma pastilha metálica circular e indeformável, de 50 mm de diâmetro, utilizando uma cola à base epóxi. Pela razão entre a carga de ruptura e a área da seção obtém-se a resistência de aderência.

Os limites de resistência de aderência à tração são trazidos na tabela 4 pela NBR 13749 (ABNT, 2013).

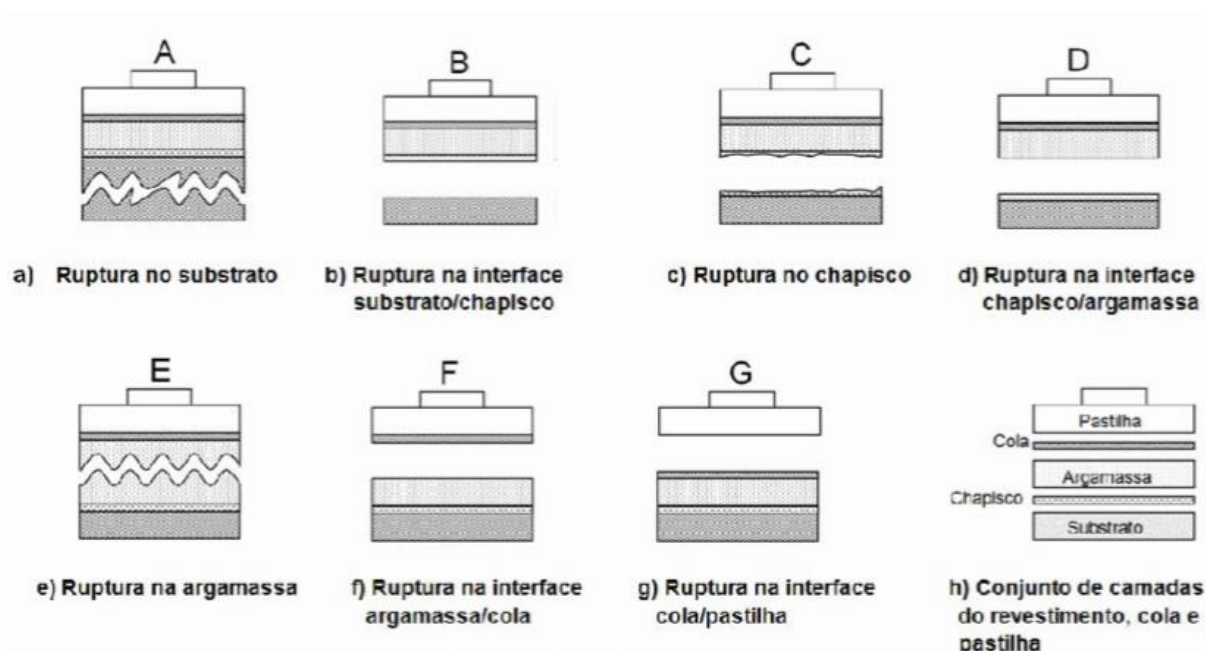
Tabela 4 – Limites de resistência de aderência à tração (Ra) para emboço e camada única

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

Fonte: Adaptada da Tabela 02 da ABNT NBR 13749 (2013).

Outro ponto abordado pela NBR 13528 (ABNT, 2019) é a forma de ruptura do corpo de prova, esta, deve ser registrada e pode se dar das seguintes maneiras:

Figura 8 – Formas de ruptura no ensaio de resistência de aderência à tração para um sistema de revestimento com chapisco



Fonte: Adaptado da Figura 05 da ABNT NBR 13528 (2019).

A esse respeito, Carasek (2007), expõe que, quando a ruptura é do tipo coesiva, ou seja, que ocorre no interior da argamassa ou da base (tipo (a), (b), e (e) na figura 8), os valores da resistência de aderência são menos preocupantes, a não ser que estes sejam muito baixos. Se a ruptura for do tipo adesiva, ocorrendo na interface entre substrato e revestimento ou entre camadas de revestimento (tipo (b), (d)), os valores devem ser mais elevados pois representam um maior potencial para o desenvolvimento de patologias. A ruptura do tipo (f), indica que a camada superficial do revestimento é a mais fraca. Por fim, a ruptura do tipo (g), deve ser desprezada, pois representa um defeito de colagem.

Os resultados obtidos nesse ensaio podem apresentar resultados bastante variáveis, em estudos encontrados na literatura, Costa (2007) obteve coeficientes de variação da ordem de 35%, já Gonçalves (2004), encontrou 33%.

Diversos são os fatores associados à essa variabilidade, dentre eles, pode-se destacar o fator humano relacionado ao operário responsável pela execução do ensaio, onde parâmetros como o ângulo de corte, velocidade e forma de aplicação podem ser afetados. Ainda podem ser mencionados como influentes o tipo de equipamento utilizado e as características inerentes materiais constituintes do substrato e da argamassa (CAMPOS, 2014).

2.3.2 Resistência de aderência à tração superficial

O ensaio de resistência à tração superficial (RST), recentemente normalizado pela NBR 15258 (ABNT, 2021), é uma adaptação do método descrito acima, “sendo a única diferença que não é realizado o corte do revestimento (até a base), ensaiando-se assim a camada superficial do revestimento” (CARASEK, *et al.*, 2011, p. 118).

Os requisitos para argamassas de assentamento e revestimento de paredes e tetos, em termos de resistência potencial de aderência à tração, são apresentados pela NBR 13281 (ABNT, 2005):

Tabela 5 – Resistência potencial de aderência à tração

Classes	Resistência Potencial de Aderência à Tração (MPa)	Método de Ensaio
A1	< 0,20	ABNT NBR 15258 (2021)
A2	≥ 0,20	
A3	≥ 0,30	

Fonte: Adaptada da Tabela 07 da ABNT NBR 13281 (2005).

3 MATERIAIS E METODOLOGIA

Tendo em vista as problemáticas apresentadas no capítulo anterior acerca da variabilidade dos ensaios recomendados para determinação da resistência de aderência, buscou-se desenvolver um método de avaliação da mesma que trouxesse uma menor variabilidade e mais facilidade de aplicação por meio do emprego do ensaio de flexão em quatro pontos.

3.1 MATERIAIS

De modo a avaliar o método, foram produzidos corpos de prova com a utilização dos materiais apresentados e caracterizados a seguir.

3.1.1 Aglomerante

Como aglomerante, fez-se uso do cimento Portland CP-IV-32 RS, da marca Votoran Todas as Obras, fabricado pela Votorantin Cimentos de acordo com a NBR 16697 (ABNT, 2018). É um cimento resistente à sulfatos cujos limites de composição encontram-se na tabela abaixo:

Tabela 6 – Composição do cimento

Tipo de Produto	Componentes (% em massa)
Clínquer + Gesso	45-85
Escória de Alto Forno	-
Pozolana	15-50
Material Carbonático	0-10

Fonte: Adaptado da tabela 02 da NBR 16697 (ABNT, 2018).

3.1.2 Agregado

Como agregado miúdo, foi utilizada a areia grossa caracterizada de acordo com os seguintes ensaios normatizados:

- a) Composição granulométrica (NBR NM 248, 2003);
- b) Determinação da massa específica e da massa aparente do agregado miúdo (NBR 16916, 2021);
- c) Agregados - Determinação da massa unitária e do índice de vazios (NBR 16972, 2021);

Suas características físicas podem ser encontradas na tabela 7.

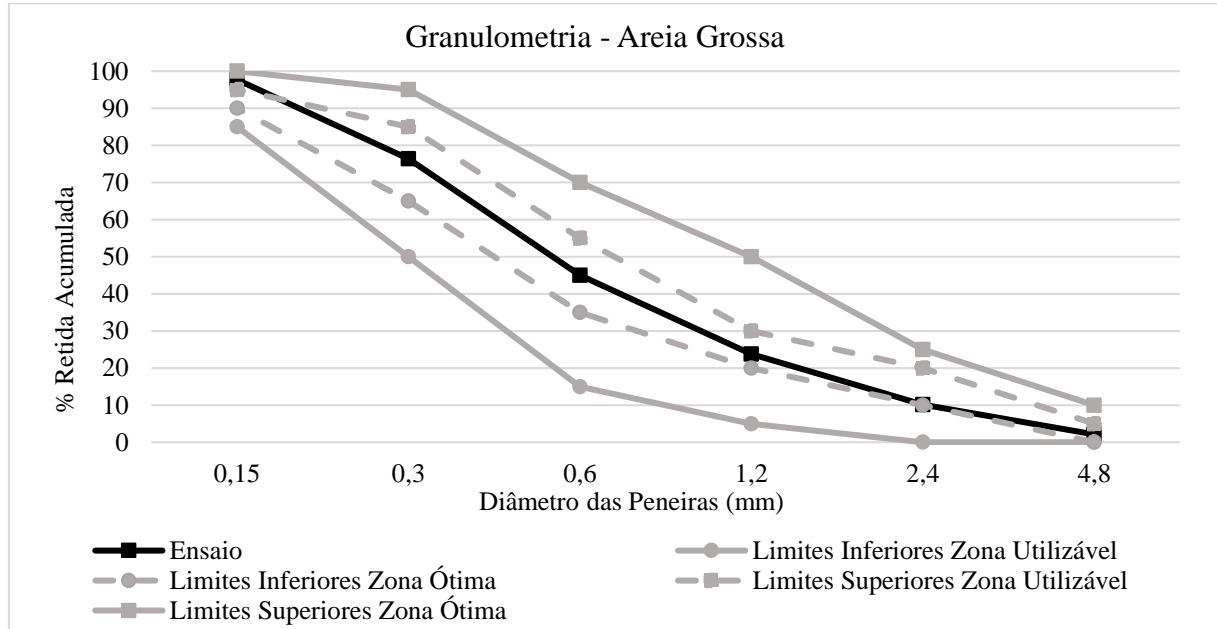
Tabela 7 – Características físicas do agregado

Propriedades	Areia Grossa
Módulo de finura	2,55
Diâmetro máximo característico (mm)	4,80
Massa específica (Kg/dm ³)	2,48
Massa aparente (Kg/dm ³)	2,26
Massa unitária (Kg/dm ³)	1,68
Volume de vazios (%)	25,67

Fonte: Do autor, 2022.

A distribuição granulométrica da areia grossa encontra-se dentro dos limites recomendados pela norma vigente NBR 7211: Agregados para concreto – especificação (ABNT, 2009), conforme pode ser observado abaixo na figura 9.

Figura 9 – Curva granulométrica da areia grossa



Fonte: Do autor, 2022.

3.1.3 Água de Amassamento

A água de amassamento utilizada no prepara do chapisco foi água potável disponibilizada pela rede de abastecimento do campus da UFSM.

3.2 ENSAIOS PRELIMINARES

3.2.1 Substrato de Concreto

De modo a avaliar a possibilidade de se obter resultados utilizando o ensaio de flexão em quatro pontos, foram realizados testes utilizando um substrato em concreto de geometria prismática de seção 10 x 10 cm e 40 cm de comprimento, sem armadura. Essas peças, provenientes de trabalhos anteriores, foram fornecidas pelo LMCC – Laboratório de Materiais de Construção Civil da UFSM.

Figura 10 – Corpos de prova prismáticos



Fonte: Do autor, 2022.

Foram utilizados 3 corpos de prova, cujas laterais foram revestidas com chapisco de traço 1:3 (cimento:areia) em massa, lançado utilizando a colher de pedreiro, permanecendo em processo de cura por 14 dias.

3.2.2 Ensaio de Flexão em Quatro Pontos

Os aparelhos de apoio foram posicionados em uma prensa da marca Instron®, modelo 500HDX-64-67B, com capacidade de força de 1500 kN (Figura 11). Os dados foram obtidos utilizando o *software* de operação Bluehill® versão 3.13.1260.

Os prismas foram submetidos ao ensaio de flexão em quatro pontos, aplicando um carregamento incrementado à uma taxa constante até a sua ruptura. Os sensores da prensa possibilitam a obtenção de diagramas de carga x extensão, discutidos nos capítulos seguintes.

Figura 11 – Prensa Instron® 500HDX-64-67B



Fonte: Do autor, 2022.

3.3 ENSAIOS FINAIS

3.3.1 Substrato de Concreto

Para fins de avaliar a tensão de aderência na interface chapisco-substrato, foram utilizadas quatro placas de substrato-padrão normatizadas pela NBR 14081-2 (ABNT, 2015) de dimensões 50 cm x 25 cm e 2 cm de espessura. A decisão de utilizá-las como base se deu baseada em seu maior potencial de deformação durante a flexão, devido a presença de armadura em aço.

Figura 12 – Placa de substrato-padrão



Fonte: Do autor, 2022.

De modo a atender as dimensões da aparelhagem necessária para realização do ensaio de flexão em quatro pontos, as placas foram cortadas em peças menores utilizando uma serra. De cada placa, foram obtidas duas de 12,5 cm x 40 cm, totalizando 8 placas. O espaço restante da peça (10cm x 25cm x 2cm) foi reservado com a intenção de realizar o ensaio de arrancamento.

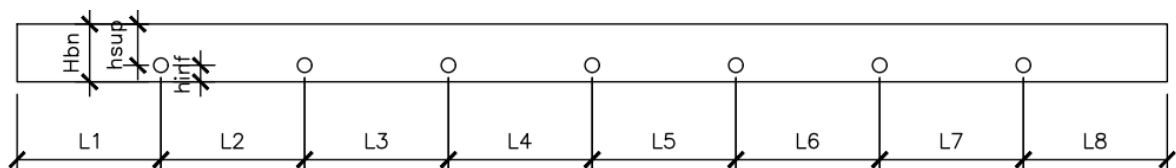
As placas são armadas com uma malha de aço de diâmetro 3,8 mm a cada 5 cm, como pode ser observado na figura 13. Uma vez que na confecção das placas não houve o cuidado por parte do fabricante de posicionar a malha na face inferior, combatendo os efeitos do momento positivo na flexão – de forma que algumas placas eram armadas na face superior – decidiu-se medir e registrar a posição horizontal e vertical de cada malha na face exposta pelo corte – conforme esquema representado na figura 14 – a fim de correlacionar essa variação na posição com possíveis inconsistências nos resultados obtidos. Essas medidas foram coletadas utilizando um paquímetro digital e podem ser encontradas no apêndice A.

Figura 13 – Placa de substrato-padrão cortadas



Fonte: Do autor, 2022.

Figura 14 – Esquema de registro da posição das barras da malha



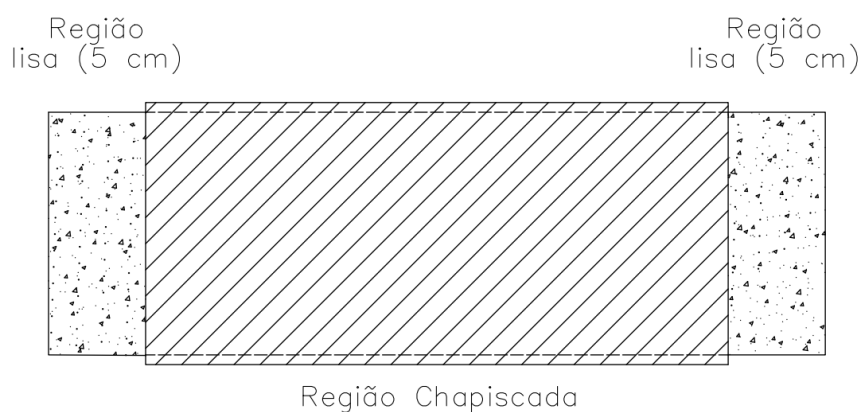
Fonte: Do autor, 2022.

3.3.2 Preparação dos Corpos de Prova

Foi preparada a argamassa de chapisco com um traço 1:3 (cimento, areia grossa) em massa, com uma relação água/aglomerante de 0,65, mantendo a mistura fluída permitindo a aplicação com a colher de pedreiro sobre as placas.

Três faces da chapa foram chapiscadas, mantendo uma faixa lisa sem chapisco de aproximadamente 5 cm de largura em cada lateral da face inferior, de modo não interferir nos apoios durante a execução do ensaio de flexão, conforme representado na figura 15. A face superior foi mantida sem chapisco.

Figura 15 – Representação das regiões chapiscadas na placa de substrato-padrão.



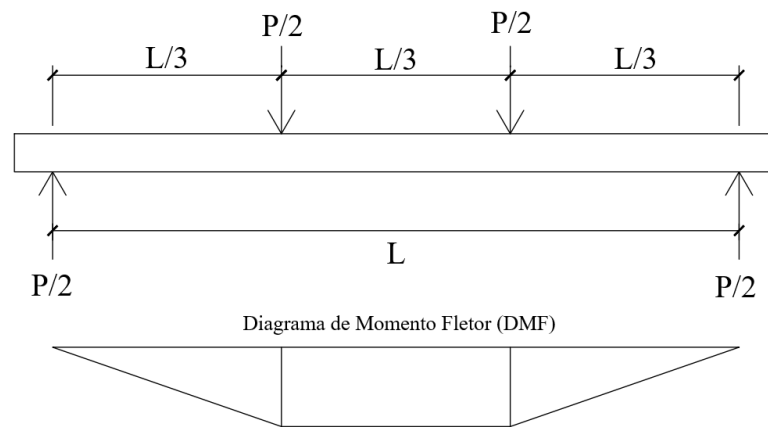
Fonte: Do autor, 2022.

3.3.3 Ensaio de Flexão em Quatro Pontos

As placas foram submetidas ao ensaio de flexão em quatro pontos, ensaio este que ainda não é normatizado no Brasil. Ele foi utilizado uma vez que tende a produzir menos cisalhamento e uma flexão pura, induzindo o rompimento da placa em seu centro. O esquema de aplicação da carga no ensaio pode ser observado na figura 16.

Para essa etapa, foi utilizada uma prensa da marca Amsler. Esta prensa não possui um *software* de obtenção de dados, de modo que os resultados foram obtidos de forma manual pelo operador do equipamento.

Figura 16 – Esquema de aplicação das cargas na flexão em quatro pontos.



Fonte: Do autor, 2022.

Utilizando o valor da carga no momento em que se inicia o descolamento, é possível calcular o momento atuante na seção de concreto, multiplicando-se a carga (P), pelo braço de alavanca, conforme a equação (1).

$$M_{max} = \left(\frac{P}{2}\right) \times \left(\frac{L}{3}\right) \quad (1)$$

Com esse dado em mãos, pode-se calcular a tensão atuante pela equação (2), proveniente da resistência dos materiais, dependente do momento atuante, do momento de inércia da seção (I) e a distância perpendicular do eixo até a face da seção (y).

$$\sigma = \frac{M_{descolamento} \times y}{I} \quad (2)$$

3.3.4 Análise Visual

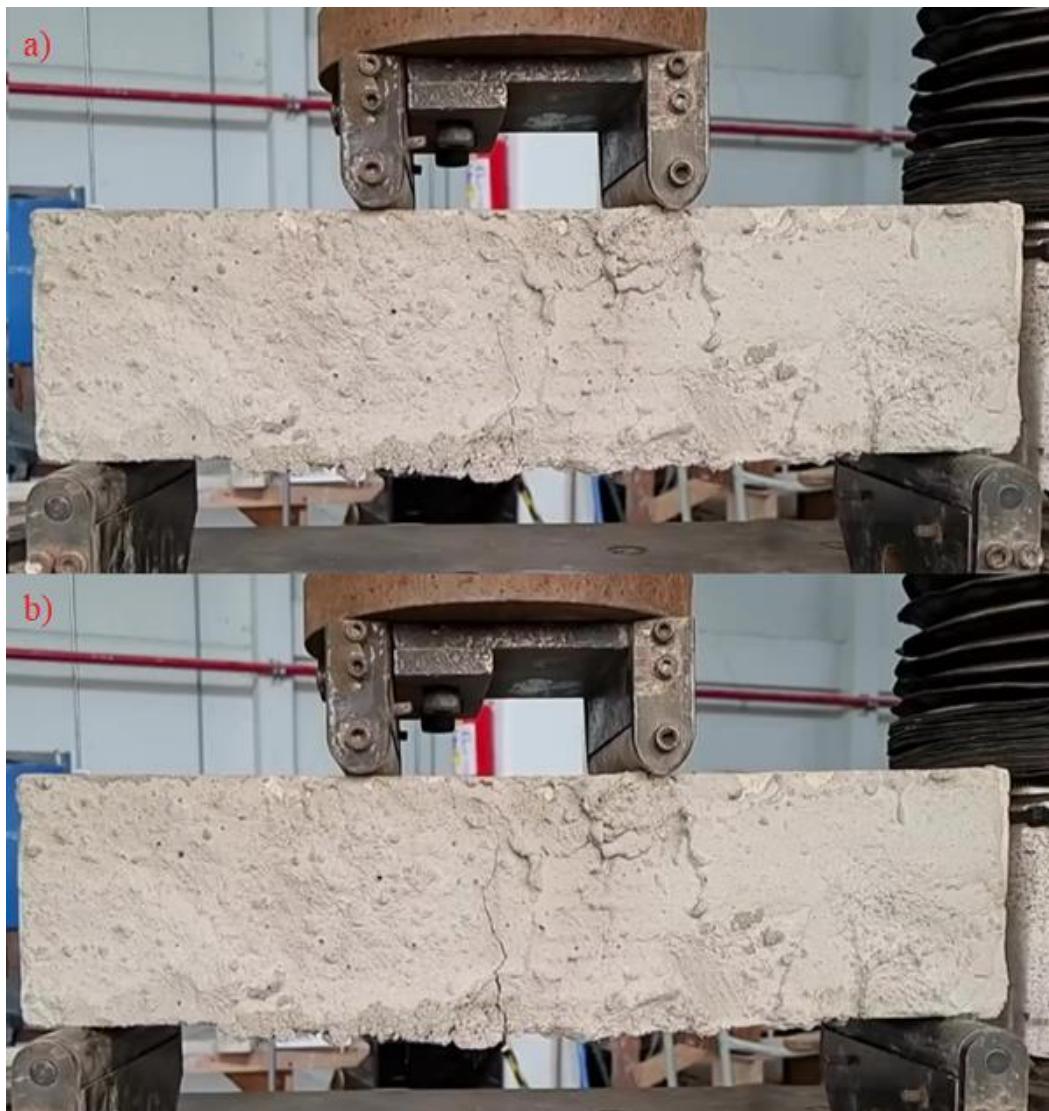
Por meio de uma câmera, foram realizadas gravações do processo de ruptura dos corpos de prova. As gravações foram feitas em 120 *fps* (*frames* por segundo), de modo que, ao extrair os *frames* do vídeo, uma maior quantidade de imagens fosse gerada para possibilitar uma melhor análise. Para a extração das imagens foi utilizado o *software Online Converter*.

4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1 RESULTADOS EM CORPOS DE PROVA PRISMÁTICOS

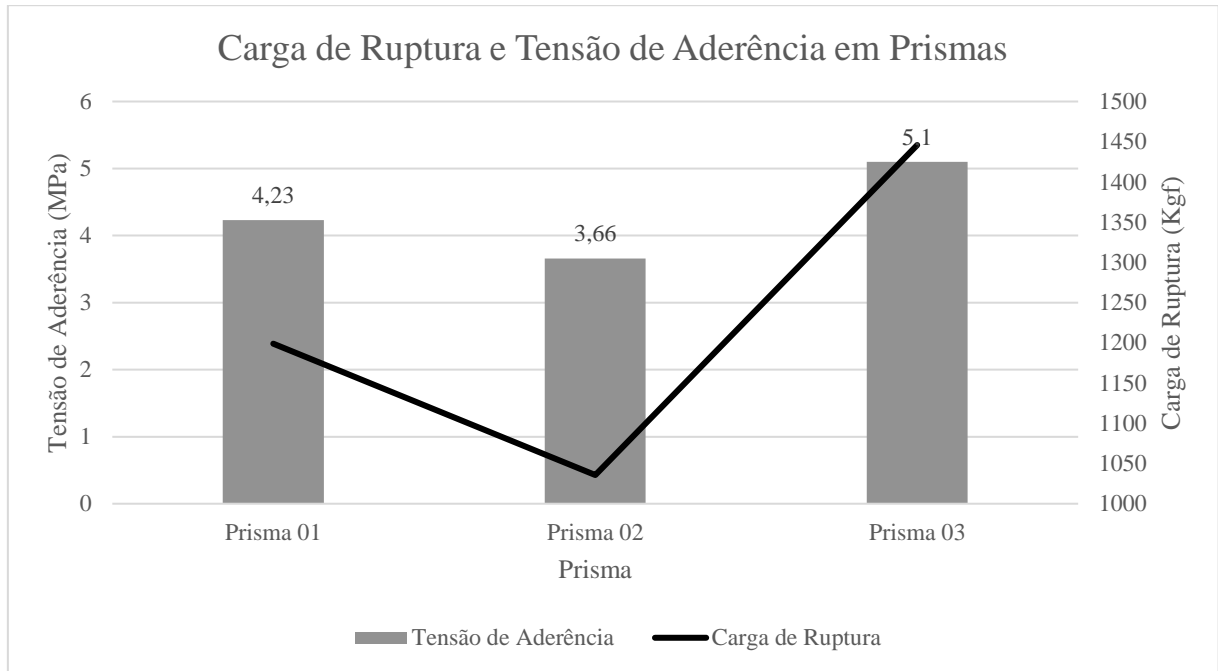
Quando submetidos ao ensaio de flexão, observou-se que os corpos de prova prismáticos, devido a sua maior rigidez e pela ausência de armaduras, não apresentaram deformação significativa, da ordem de 1 mm (valores podem ser encontrados nas curvas carga x extensão no Apêndice C). Dessa maneira, o chapisco não apresentou deslocamento em nenhuma das faces, apenas fissurando em conjunto com o concreto no momento de sua ruptura, conforme pode ser observado na figura 17.

Figura 17 – Desenvolvimento da ruptura no corpo de prova prismático.



Uma vez que não houve descolamento, foi adotada a carga de ruptura no cálculo da tensão de aderência utilizando as equações (1) e (2). Obteve-se uma média de 4,33 MPa e coeficiente de variação de 16,75% e os resultados calculados para cada prisma podem ser encontrados na figura 18.

Figura 18 – Tensão de aderência e carga de ruptura em corpos de prova prismáticos



Fonte: Do autor, 2022.

Ao não poder avaliar com exatidão o momento em que o revestimento perde sua aderência (ocorrência de descolamento), não é possível avaliar se os valores obtidos são coerentes e correspondem ao real valor da tensão de aderência. Pode-se observar também que, se o único parâmetro é a carga de ruptura, a tensão de aderência calculada por esse método tende a aumentar com o aumento da resistência, o que vai em contramão ao encontrado na literatura, que afirma que com o aumento da resistência e consequente diminuição da porosidade, há uma redução da tensão de aderência.

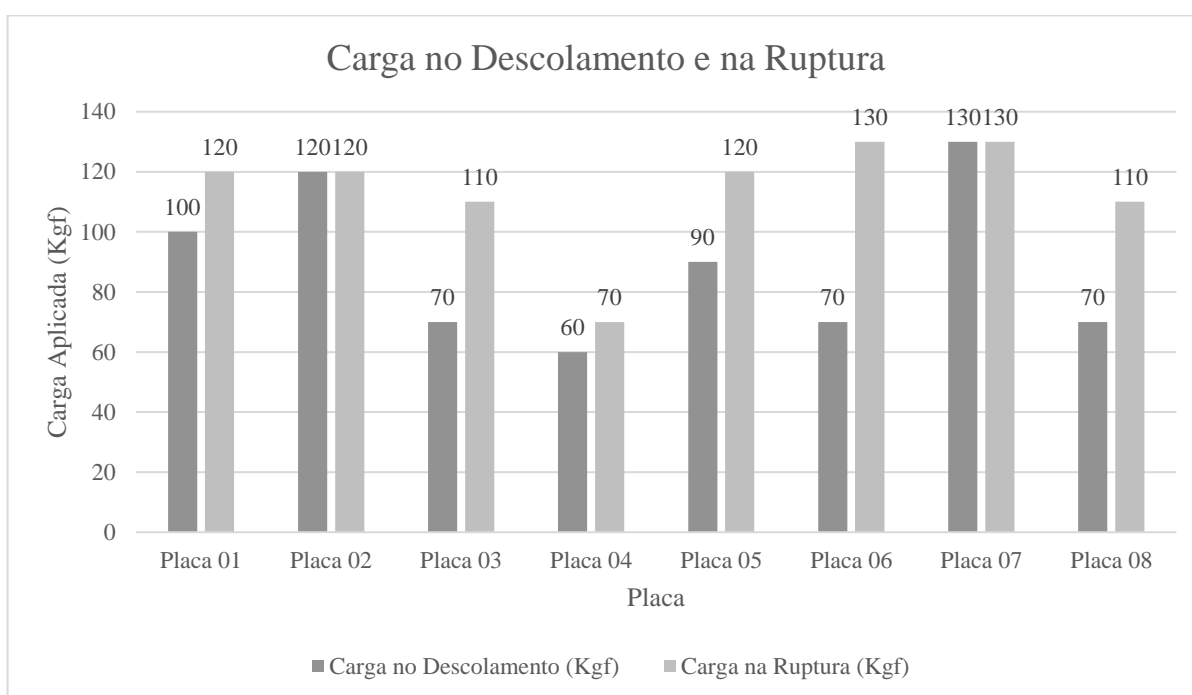
4.2 RESULTADOS EM PLACAS DE SUBSTRATO-PADRÃO

Após submeter as placas ao ensaio de flexão na prensa Amsler, os níveis de tensão atingidos no início do descolamento e na ruptura da placa foram registrados. Conforme esperado pelo efeito da malha de aço, houve uma deformação na placa, propiciando o

descolamento da camada de chapisco. O valor da deformação não foi registrado uma vez que a prensa não possui essa capacidade, porém foi visualmente mais elevado do que os corpos de prova prismáticos e não armados – essa deformação pode ser observada na figura 22.

A figura 19 traz os valores encontrados durante o ensaio, tanto no descolamento quanto na ruptura.

Figura 19 – Comparação entre a carga no descolamento e na ruptura

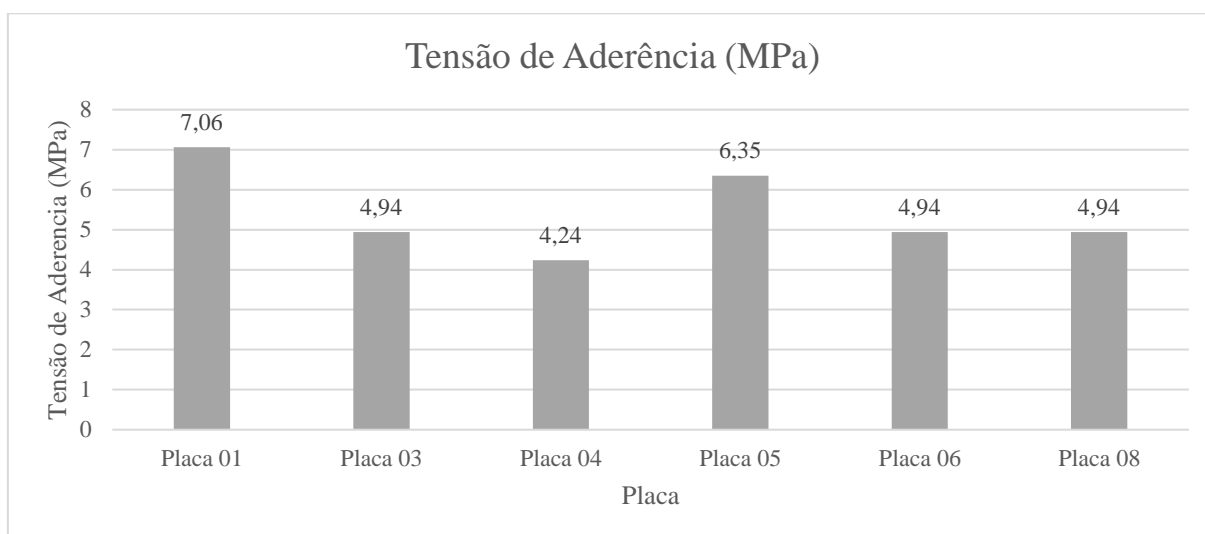


Fonte: Do autor, 2022.

As placas suportaram em média uma carga de 113,75 Kgf até sua ruptura, enquanto apresentaram o início do descolamento a uma carga média de 88,75 Kgf. Como pode ser observado no gráfico, algumas placas não apresentaram descolamento, ou o apresentaram apenas devido a ruptura da placa. Nesse caso, esse resultado foi desconsiderado para o cálculo da tensão de aderência.

O valor da tensão de aderência foi calculado por meio das equações (1) e (2) do mesmo modo que os corpos de prova prismáticos e obteve-se uma média de 5,41 MPa e um coeficiente de variação de 19,62%. Os resultados podem ser encontrados na figura 20.

Figura 20 – Tensão de aderência em corpos em placas de substrato-padrão



Fonte: Do autor, 2022.

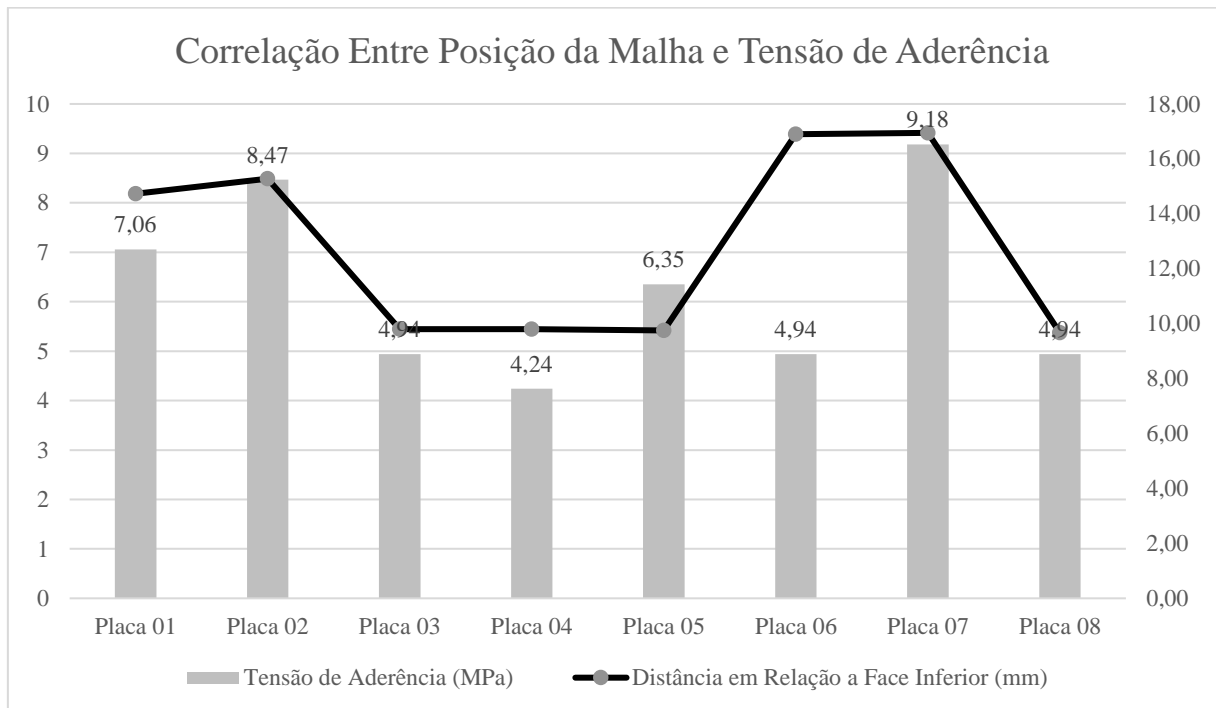
Os valores obtidos podem ser considerados elevados em relação aos apresentados na NBR 13749 (2013) como limites de resistência de aderência – 0,2 MPa para paredes internas e 0,3 MPa para externas – assim, como forma de comparação e validação de dados, buscou-se respaldo em outros trabalhos produzidos na área que buscam avaliar a tensão de aderência entre chapisco e substrato de concreto, se limitando aos resultados obtidos em situações semelhantes, ou seja, chapisco aplicado por meio de lançamento, em substrato de concreto liso (sem escovamento).

Ao avaliar a tensão de aderência, Muller (2010) encontra uma média de 1,33 MPa. Já Moreira *et al.* (2018) e Gasperin (2011) encontraram valores muito próximos, 0,58 MPa e 0,59 MPa, respectivamente. Silveira (2004) por sua vez, encontrou valores de até 1,16 MPa. Vale ressaltar que se observou uma tendência de ruptura na camada de revestimento (adesiva) nesses trabalhos, de modo que valores baixos de aderência são esperados.

Os valores observados nesse trabalho se encontram mais próximos dos resultados obtidos por Costa, Kudlanvec Jr e Rieke (2016) ao estudar o ensaio de tração na flexão como método de avaliação da aderência em argamassas de reparo. O autor encontra valores que variam de 1,41 MPa a 6,76 MPa, aos 28 dias, a depender da argamassa. Apesar do estudo possuir finalidades diferentes, os resultados mostram uma coerência entre valores obtidos por meio desse ensaio com os valores obtidos no presente trabalho.

A fim de analisar a influência da posição da malha de aço presente na placa, obteve-se a média aritmética das posições de todas as barras de uma mesma placa em relação a sua face inferior. A média foi comparada com a resistência de aderência calculada e pode ser encontrada na figura 22. Tendo em vista que grande parte das peças que obtiveram um mesmo valor de tensão possuem sua malha em posições semelhantes, pode-se inferir que existe sim influência da posição da malha.

Figura 21 – Correlação entre posição média da malha e tensão de aderência



Fonte: Do autor, 2022.

Em relação a análise de imagens, foi realizada a filmagem de todo o ensaio com a intenção de registrar o início do descolamento e associá-lo à carga nesse instante. Foi possível registrar em vídeo como se desenvolveu o descolamento, contudo, devido à presença de um pistão posicionado exatamente em frente ao centro da peça, onde se deram as fissuras e posteriormente a ruptura, foi possível apenas uma análise visual durante o ensaio.

Figura 22 – Descolamento da camada de chapisco na face inferior.



Fonte: Do autor, 2022.

Pode-se observar uma variação em relação à posição da fissuração, ocorrendo exatamente na posição de um dos apoios, ou no centro da peça (entre apoios). Essa variação não parece estar relacionada com a tensão de aderência, uma vez que peças com a mesma tensão fissuraram em diferentes posições.

O mesmo ocorreu em relação ao descolamento da camada de revestimento, onde houve placas que perderam toda sua face inferior, ou apenas parte dela, além de algumas placas apresentarem também o descolamento da face lateral. A tabela abaixo busca descrever o processo de fissuração e descolamento observado.

Tabela 8 – Caracterização visual da forma de fissuração e descolamento.

(Continua)				
Placa	Carga no Descolamento (Kgf)	Carga na Ruptura (Kgf)	Característica Observada de Fissuração e Descolamento na Argamassa	Região da Ruptura
1	100	120	Descolamento total na face inferior seguido de fissuração e descolamento na face frontal no apoio superior direito	Apoio direito
2	120	120	Não houve descolamento, fissuração na face frontal no apoio superior direito	Apoio direito
3	70	110	Descolamento total na face inferior e face lateral antes da fissuração	Apoio esquerdo

(Conclusão)

4	60	70	Descolamento parcial na face inferior após fissuração na face frontal no apoio superior esquerdo	Apoio esquerdo
5	90	120	Descolamento parcial na face inferior seguido de descolamento na face frontal no apoio superior esquerdo	Apoio esquerdo
6	70	130	Descolamento parcial na face inferior seguido de fissuração na face frontal no apoio superior direito	Apoio direito
7	130	130	Não houve descolamento, fissuração na face frontal no apoio superior direito	Apoio direito
8	70	110	Descolamento em todas as faces antes da formação de fissuras	Apoio esquerdo

Fonte: Do autor, 2022.

4.2.1 Ensaio de Arrancamento

Como mencionado previamente, houve a intenção de realizar o ensaio de arrancamento nos pedaços resultantes do corte das placas, entretanto, a realização desse ensaio foi impossibilitada pois a camada de revestimento se destacou da placa durante o processo de corte com a serra-copo. Isso se deve provavelmente a pequena dimensão da placa, de modo que a serra-copo precisou ser posicionada nas proximidades das bordas, onde há uma maior fragilidade da peça que, associada à vibração causada pela serra, promoveu o descolamento.

Dessa maneira, não houve como realizar a comparação dos resultados obtidos no ensaio de flexão em quatro pontos com os resultados obtidos no ensaio de arrancamento.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho buscou avaliar o ensaio de flexão em quatro pontos como possível método para a determinação da tensão de aderência entre substrato de concreto e chapisco de modo a contribuir para os estudos desenvolvidos nessa área, buscando uma alternativa menos variável e subjetiva para obtenção desses resultados. Assim, com a realização da metodologia e dos ensaios previamente apresentados, chegam-se as seguintes conclusões:

- Os valores de tensão de aderência encontrados foram elevados em relação ao encontrado na literatura, porém coerentes com estudos que utilizaram o mesmo ensaio para finalidades próximas. O método se mostra eficaz para a avaliação da tensão de aderência entre chapisco e substrato de concreto, porém carece de estudos mais precisos e em maiores amostras a fim de analisar outros fatores relevantes;
- Corpos de prova não armados e de elevada rigidez não se mostraram viáveis para a observação do descolamento da camada de revestimento, nesse sentido conclui-se que as placas de substrato-padrão apresentam um melhor desempenho ao possuírem um maior potencial de deformação;
- Há uma relação entre a tensão de aderência e a posição da malha de aço na placa que deve ser estudada com maior profundidade.

5.1 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

Tendo em vista algumas limitações dos equipamentos utilizados, além de surgirem questionamentos no decorrer dos ensaios que estavam fora do escopo original desse trabalho, abaixo encontram-se sugestões e propostas para próximas pesquisas:

- a) Repetir os ensaios em placas de substrato-padrão de argamassa utilizando uma prensa computadorizada, de modo a permitir a obtenção de um gráfico carga x deformação e avaliar a influência da deformabilidade da peça, de forma que valores mais precisos sejam registrados, além de utilizar uma amostra maior;
- b) Comparar efetivamente os resultados obtidos com o ensaio de arrancamento já normatizado;
- c) Avaliar a influência da geometria e da presença ou não de armadura com maior profundidade, utilizando corpos de prova com armaduras em posições padronizadas;
- d) Realizar o ensaio utilizando diferentes traços de concreto no substrato, variando também o traço da argamassa de chapisco, forma de aplicação e diferentes idades, cabendo também testar o método utilizando outras camadas de revestimento.

REFERÊNCIAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR NM 248**: Agregados – determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2003.

_____. **NBR 7200**: Execução de revestimentos de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – procedimento. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 1998.

_____. **NBR 7211**: Agregados para concreto – especificação. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2009.

_____. **NBR 8953**: Concreto para fins estruturais – classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2015.

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

_____. **NBR 13281**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - requisitos. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2005.

_____. **NBR 13528**: Revestimento de paredes de argamassas inorgânicas - determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2019.

_____. **NBR 13529**: Revestimentos de paredes e tetos de argamassas inorgânicas: terminologia. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2013.

_____. **NBR 13749**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2013.

_____. **NBR 14081-2**: Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas – parte 2: execução do substrato-padrão e aplicação da argamassa para ensaios. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2015.

_____. **NBR 15258**: Argamassa para revestimento de paredes e tetos – determinação da resistência potencial de aderência à tração. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2021.

_____. **NBR 16697**: Cimento Portland - requisitos. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2018.

_____. **NBR 16916**: Agregado miúdo - Determinação da densidade e da absorção de água. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2021.

_____. **NBR 16972**: Agregados - Determinação da massa unitária e do índice de vazios. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2021.

ALVES, N. J. D. **Avaliação dos aditivos incorporadores de ar em argamassas de revestimento**. 2002. 175 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília. Brasília, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). **Manual de Revestimentos de Argamassa**. 104 f. São Paulo, 2002.

BECKER, F.A.; ANDRADE, J.J.O. **Avaliação da influência do substrato de concreto na resistência de aderência à tração de diferentes tipos de chapisco.** Revista Matéria, Volume 22, Número 04, 2017.

CAMPOS, M. O. **Estudo da resistência de aderência à tração e ao cisalhamento de revestimentos de argamassa em substratos de concreto.** 2014. 231 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2014.

CANDIA, M. C. **Contribuição ao estudo das técnicas de preparo da base no desempenho dos revestimentos de argamassa.** 1998. 198 f. Tese (Doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

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

CARASEK, H. Argamassas. In: Livro **Materiais de Construção Civil e princípios da ciência e engenharia de materiais.** Vol. 2. G.C. ISAIA. 1. ed. São Paulo, IBRACON, 2007.

CARASEK, H.; CASCUDO, O.; JUCÁ, T. **Estudo de caso de descolamento de revestimento de argamassa aplicado sobre estrutura de concreto.** Anais... SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, IV, 2005, Florianópolis. p. 551-561.

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

CARASEK, H.; SCARTEZINI, L. M. **Evolução da resistência de aderência dos revestimentos de argamassa mista.** Anais... SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, III, 1999, Vitória.

CARASEK, H.; VAZ, F. H. B. **Resistência de aderência de revestimentos de argamassa: contribuição por meio do mapeamento e revisão sistemática de literatura para futuras pesquisas no tema.** Cerâmica [online], vol.65, n.374, 2019. p.303-318.

CARASEK, H; et al. **Avaliação em obra da resistência superficial de revestimentos de argamassa.** Revista ALCONPAT, Volume 1, Número 2, 2011. p. 115-135.

CARVALHO JR. A. N. **Avaliação da aderência dos revestimentos argamassados: uma contribuição à identificação do sistema de aderência mecânico.** 2005. 306 f. Tese (Doutorado). Engenharia Metalúrgica e de Minas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.

CEOTTO, L. H.; BANDUK, R. C.; NAKAKURA, E. H. **Recomendações técnicas habitare – volume 1, revestimentos de argamassas: boas práticas em projeto, execução e avaliação.** Porto Alegre, 2005.

CINCOTTO, M.A.; SILVA, M.A.C, CARASEK, H. **Argamassas de revestimento: características, propriedades e métodos de ensaio.** São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas (publicação IPT 2378), 1995, 118 p. Boletim técnico 68 IPT.

COSTA, E.B.C. **Análise de parâmetros influentes na aderência de matrizes cimentícias**. 2014. 156f. Tese (Doutorado). Escola Politécnica USP. São Paulo, 2014.

COSTA, E.B.C. **Investigação do método de ensaio de determinação da resistência de aderência de revestimentos de argamassa**. 2007. 205 f. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2007.

COSTA, M. R. M. M; KUDLANVEC JR, V. L; RIEKE, G. T. **Utilização do ensaio de tração na flexão para avaliação de aderência de argamassas de reparo em substrato de concreto**. CONGRESSO TÉCNICO CIENTÍFICO DA ENGENHARIA E DA AGRONOMIA, 2016, Foz do Iguaçu, PR.

FERREIRA, B.B.D. **Tipificação de patologias em revestimentos argamassados**. 2010. 192 f. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, 2004.

FIORITO, A. J. S. I. **Manual de argamassas e revestimentos: estudos e procedimentos de execução** / 2. ed. São Paulo, SP: Pini, 2009. 232 p.

GASPERIN, J. **Aderência de revestimentos de argamassa em substrato de concreto: influência da forma de aplicação e composição do chapisco**. 2011. 189 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

GONÇALVES, S. R. C. **Variabilidade e fatores de dispersão da resistência de aderência nos revestimentos em argamassa** – Estudo de caso. 2004. 148f. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília. Brasília, 2004.

MEHTA, P. K; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais** / 2. ed. São Paulo, SP: Pini, 2014. 782 p.

MOREIRA, A. R. C. *et al.* **Avaliação da aderência da argamassa no substrato de concreto estrutural, a partir de diferentes tipos de aplicação de chapisco**. Revista Científica Semana Acadêmica. Fortaleza, 2018, N°. 000144.

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. 232 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

MULLER, A. A. **Avaliação da aderência dos diferentes tipos de chapisco sobre substrato de concreto**. 2010. 74 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

NASCIMENTO, O. **Estudo do comportamento de aderência de argamassas de chapisco para revestimentos sobre superfícies de concreto de cimento Portland CPMIII**. 2005. 277 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2005.

PAES, I.N.L. **Avaliação do transporte de água em revestimento de argamassa nos momentos iniciais pós-aplicação**. 2004. 245 f. Tese (Doutorado) – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília. Brasília, 2004.

PRETTO, M. E. J. **Influência da rugosidade gerada pelo tratamento superficial do substrato de concreto na aderência do revestimento de argamassa.** 2007. 261 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

SCARTEZINI, L.M.B. **Influência do tipo e preparo do substrato na aderência dos revestimentos de argamassa: estudo da evolução ao longo do tempo, influência da cura e avaliação da perda de água da argamassa fresca.** 2002. 262 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2002.

SILVA, I. J. **Contribuição ao estudo dos concretos de elevado desempenho:** propriedades mecânicas, durabilidade e microestrutura. 2000. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

SILVEIRA, V. **Aderência de chapiscos em concretos estruturais:** melhoria da microestrutura da zona de interface pela adição da sílica da casca de arroz. 2004. 229 f. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2004.

SUGO, H. O., PAGE, A. W., LAWRENCE, S.J. *The development of mortar/unit bond.* CANADIAN MASONRY SYMPOSIUM, 9th, Fredericton. Department of Civil Engineering – University of New Brunswick, 2001.

WU, S. **Polymer interface and adhesion.** M. Dekker: New York, 1982

APÊNDICE A – POSIÇÃO DA MALHA DE AÇO NAS PLACAS

(Continua)

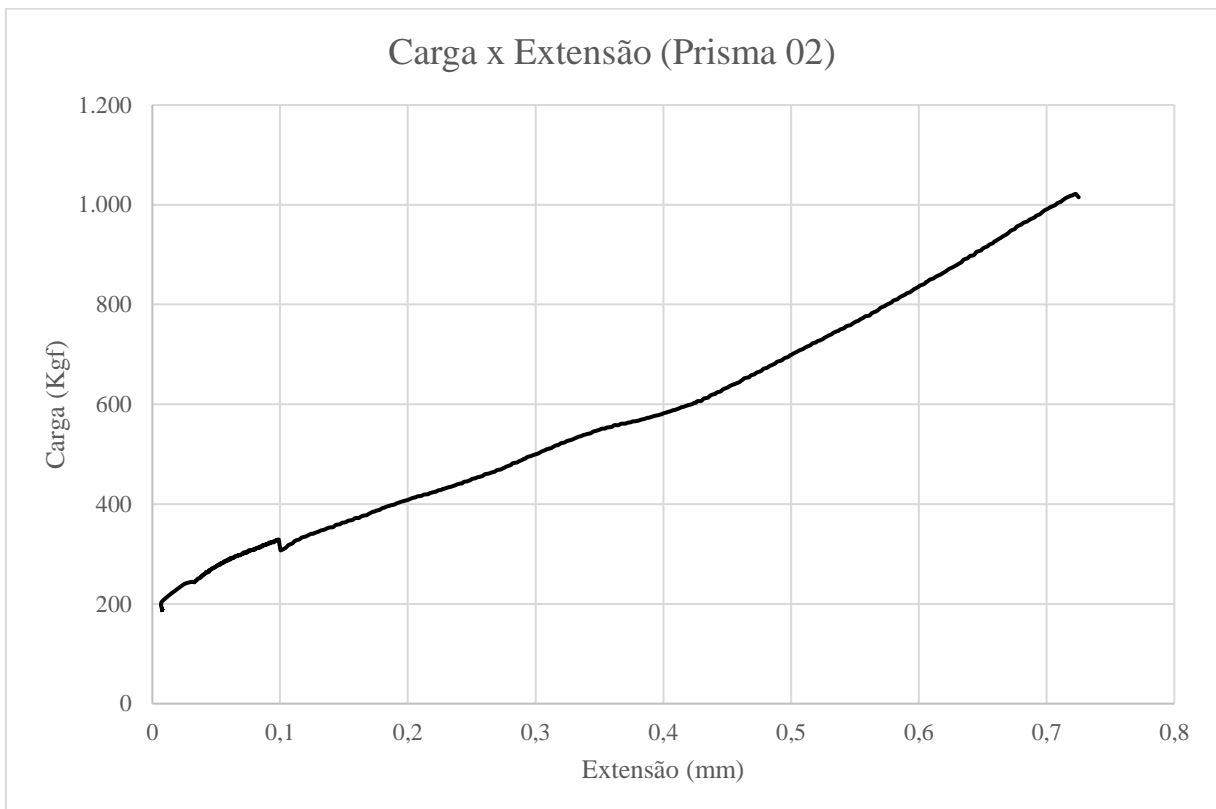
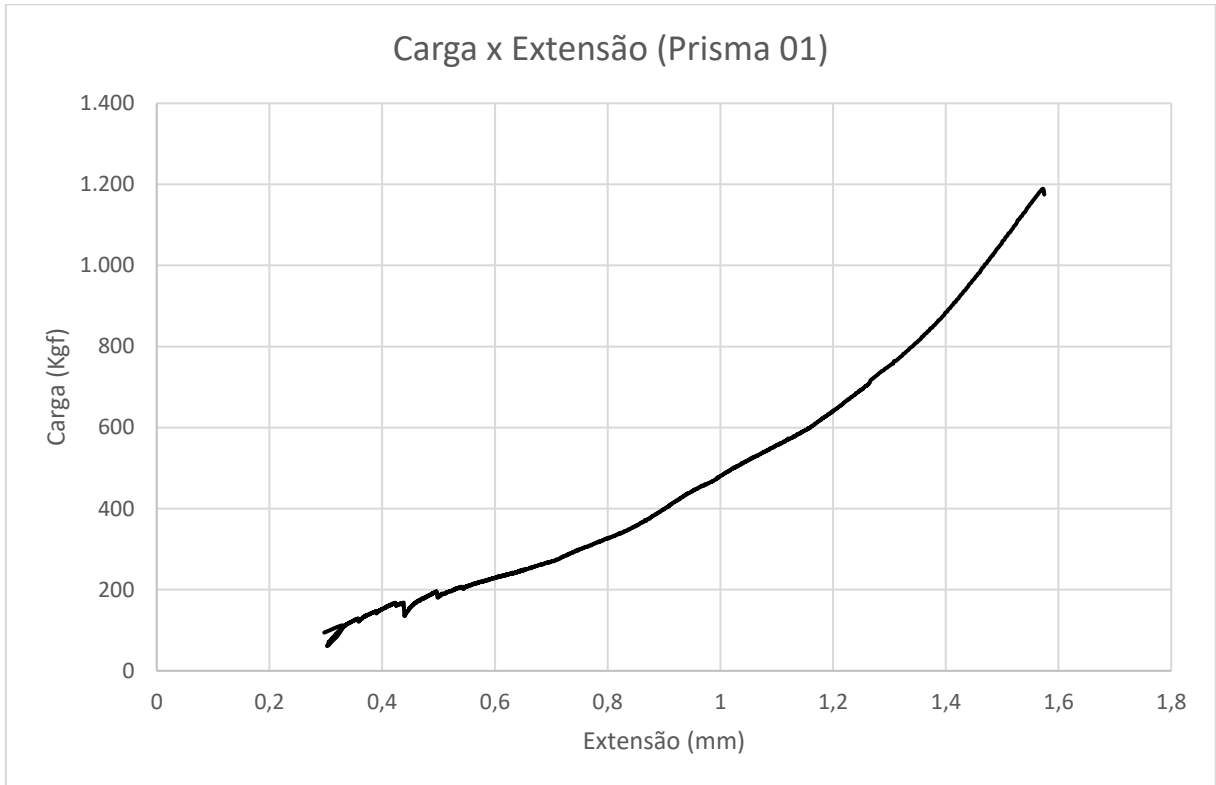
Placa 01							
L1	46,11	HB1	21,96	hsupB1	9,09	hinfB1	12,87
L2	47,32	HB2	22,01	hsupB2	8,60	hinfB2	13,41
L3	50,30	HB3	21,94	hsupB3	7,50	hinfB3	14,44
L4	47,29	HB4	21,75	hsupB4	6,83	hinfB4	14,92
L5	52,36	HB5	21,64	hsupB5	6,47	hinfB5	15,17
L6	51,88	HB6	21,73	hsupB6	5,82	hinfB6	15,91
L7	49,26	HB7	21,50	hsupB7	5,08	hinfB7	16,42
L8	45,97						
Placa 02							
L1	47,41	HB1	21,69	hsupB1	4,87	hinfB1	16,82
L2	48,53	HB2	21,63	hsupB2	5,73	hinfB2	15,90
L3	52,43	HB3	21,80	hsupB3	6,11	hinfB3	15,69
L4	51,67	HB4	22,43	hsupB4	6,72	hinfB4	15,71
L5	46,94	HB5	22,22	hsupB5	7,48	hinfB5	14,74
L6	50,66	HB6	22,15	hsupB6	7,62	hinfB6	14,53
L7	47,82	HB7	21,94	hsupB7	8,42	hinfB7	13,52
L8	46,76						
Placa 03							
L1	50,09	HB1	20,62	hsupB1	11,43	hinfB1	9,19
L2	51,68	HB2	20,31	hsupB2	11,68	hinfB2	8,63
L3	47,83	HB3	20,66	hsupB3	11,41	hinfB3	9,25
L4	48,04	HB4	20,94	hsupB4	11,54	hinfB4	9,40
L5	51,51	HB5	20,96	hsupB5	10,98	hinfB5	9,98
L6	51,64	HB6	21,39	hsupB6	10,70	hinfB6	10,69
L7	48,09	HB7	21,19	hsupB7	9,76	hinfB7	11,43
L8	43,49						
Placa 04							
L1	44,09	HB1	21,19	hsupB1	10,06	hinfB1	11,13
L2	47,28	HB2	21,00	hsupB2	10,63	hinfB2	10,37
L3	51,75	HB3	21,18	hsupB3	11,06	hinfB3	10,12
L4	50,43	HB4	20,64	hsupB4	10,95	hinfB4	9,69
L5	48,47	HB5	20,73	hsupB5	11,11	hinfB5	9,62
L6	48,28	HB6	20,62	hsupB6	11,72	hinfB6	8,90
L7	51,46	HB7	20,25	hsupB7	11,51	hinfB7	8,74
L8	49,31						
Placa 05							
L1	44,91	HB1	20,66	hsupB1	10,35	hinfB1	10,31
L2	50,65	HB2	20,93	hsupB2	10,50	hinfB2	10,43
L3	47,24	HB3	20,95	hsupB3	10,87	hinfB3	10,08
L4	48,65	HB4	21,41	hsupB4	11,73	hinfB4	9,68
L5	49,12	HB5	21,37	hsupB5	11,60	hinfB5	9,77

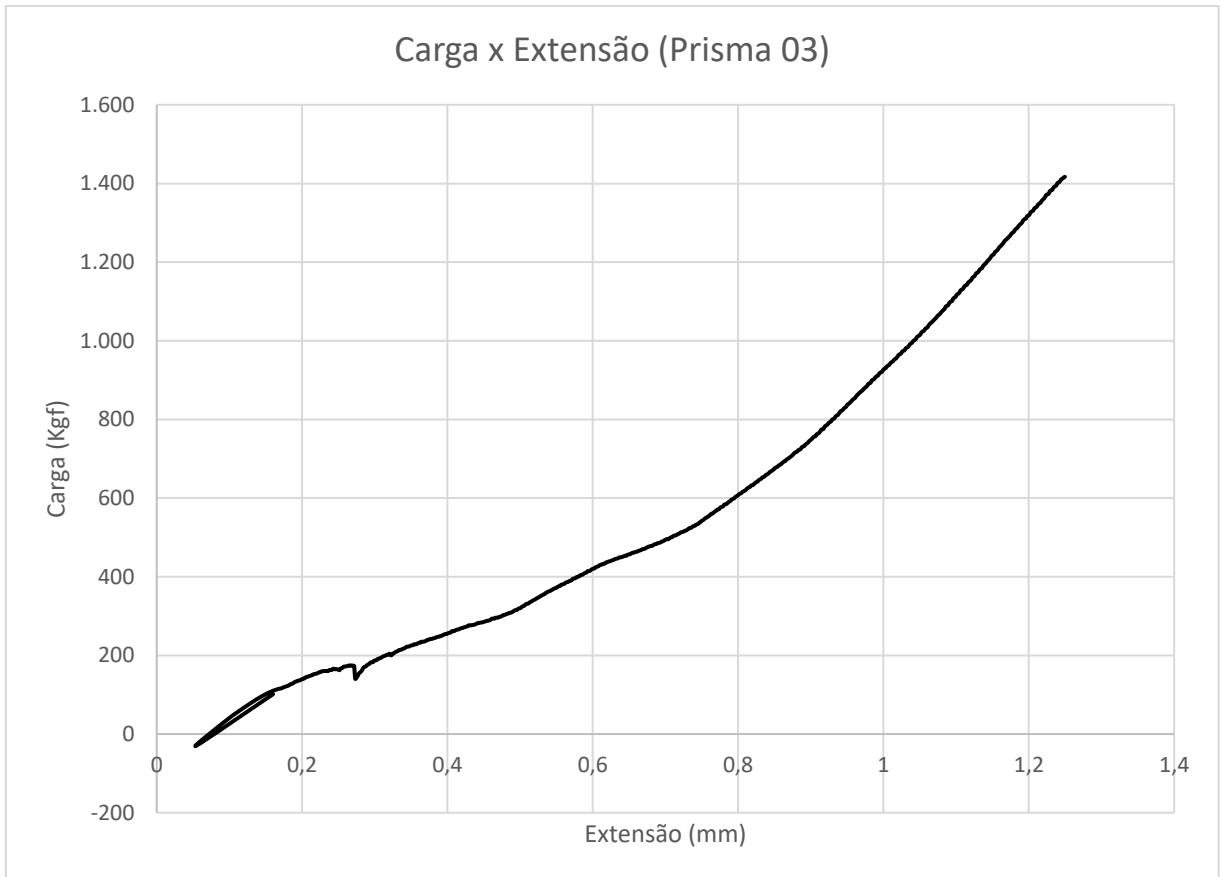
(Conclusão)

L6	53,84	HB6	21,62	hsupB6	12,77	hinfB6	8,85
L7	48,28	HB7	21,29	hsupB7	12,16	hinfB7	9,13
L8	47,76						
Placa 06							
L1	43,02	HB1	22,21	hsupB1	6,29	hinfB1	15,92
L2	51,62	HB2	21,86	hsupB2	4,33	hinfB2	17,53
L3	47,79	HB3	22,04	hsupB3	4,43	hinfB3	17,61
L4	48,54	HB4	21,29	hsupB4	4,53	hinfB4	16,76
L5	49,88	HB5	21,93	hsupB5	4,53	hinfB5	17,40
L6	51,17	HB6	21,45	hsupB6	4,77	hinfB6	16,68
L7	50,06	HB7	21,02	hsupB7	4,63	hinfB7	16,39
L8	45,80						
Placa 07							
L1	46,88	HB1	21,26	hsupB1	5,47	hinfB1	15,79
L2	49,67	HB2	21,90	hsupB2	4,91	hinfB2	16,99
L3	51,93	HB3	21,73	hsupB3	4,89	hinfB3	16,84
L4	49,55	HB4	21,88	hsupB4	4,39	hinfB4	17,49
L5	48,28	HB5	21,55	hsupB5	4,87	hinfB5	16,68
L6	49,03	HB6	21,87	hsupB6	4,74	hinfB6	17,13
L7	51,15	HB7	22,47	hsupB7	4,76	hinfB7	17,71
L8	43,00						
Placa 08							
L1	49,85	HB1	21,14	hsupB1	13,10	hinfB1	8,04
L2	47,83	HB2	21,00	hsupB2	12,11	hinfB2	8,89
L3	53,47	HB3	21,22	hsupB3	11,70	hinfB3	9,52
L4	48,08	HB4	21,10	hsupB4	11,14	hinfB4	9,96
L5	49,15	HB5	21,05	hsupB5	10,96	hinfB5	10,09
L6	46,80	HB6	20,76	hsupB6	10,15	hinfB6	10,61
L7	51,49	HB7	20,96	hsupB7	10,38	hinfB7	10,58
L8	45,36						

APÊNDICE B – TENSÃO DE ADERÊNCIA EM PRISMAS

Prisma 01				Prisma 02							
F =	11.748,26	N		F =	10.149,33	N					
F =	1198,80	Kgf		F =	1035,65	Kgf					
R =	599,40	Kgf		R =	517,82	Kgf					
Seção				Seção							
B =	0,10	m	I =	8,3E-06	m ⁴	B =	0,10	m	I =	8,3E-06	m ⁴
H =	0,10	m				H =	0,10	m			
Momento Atuante				Momento Atuante							
M =	71,93	Kgf.m		M =	62,14	Kgf.m					
Tensão				Tensão							
T =	431568,70	Kgf/m ²		T =	372832,38	Kgf/m ²					
T =	43,16	Kgf/cm ²		T =	37,28	Kgf/cm ²					
T =	4,23	Mpa		T =	3,66	Mpa					
Carga Atuante				Carga Atuante							
F =	14.169,62	N		F =	722,94	N					
F =	1445,88	Kgf		F =	722,94	Kgf					
R =	722,94	Kgf		R =	722,94	Kgf					
Seção				Seção							
B =	0,10	m	I =	8,3E-06	m ⁴	B =	0,10	m	I =	8,3E-06	m ⁴
H =	0,10	m				H =	0,10	m			
Momento Atuante				Momento Atuante							
M =	86,75	Kgf.m		M =	86,75	Kgf.m					
Tensão				Tensão							
T =	520516,58	Kgf/m ²		T =	520516,58	Kgf/m ²					
T =	52,05	Kgf/cm ²		T =	52,05	Kgf/cm ²					
T =	5,10	Mpa		T =	5,10	Mpa					

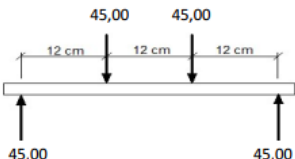
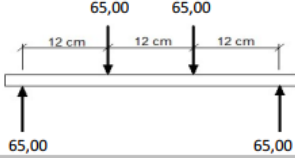
APÊNDICE C – CURVA CARGA X EXTENSÃO EM PRISMAS

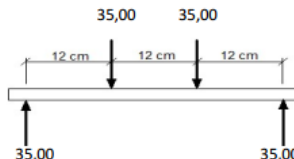
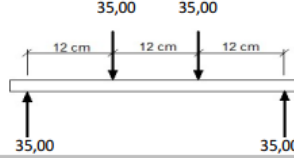


APÊNDICE D – TENSÃO DE ADERÊNCIA NAS PLACAS

Placa 01	
Carga Atuante	
F = 100,00 Kgf R = 50,00 Kgf	
Seção	
B = 0,125 m H = 0,02 m	I = 8,3E-08 m ⁴
Momento Atuante	
M = 6,00 Kgf.m	
Tensão	
T = 720000,00 Kgf/m ² T = 72,00 Kgf/cm ² T = 7,06 Mpa	
Placa 03	
Carga Atuante	
F = 70,00 Kgf R = 35,00 Kgf	
Seção	
B = 0,125 m H = 0,02 m	I = 8,3E-08 m ⁴
Momento Atuante	
M = 4,20 Kgf.m	
Tensão	
T = 504000,00 Kgf/m ² T = 50,40 Kgf/cm ² T = 4,94 Mpa	

Placa 02	
Carga Atuante	
F = 120,00 Kgf R = 60,00 Kgf	
Seção	
B = 0,125 m H = 0,02 m	I = 8,3E-08 m ⁴
Momento Atuante	
M = 7,20 Kgf.m	
Tensão	
T = 864000,00 Kgf/m ² T = 86,40 Kgf/cm ² T = 8,47 Mpa	
Placa 04	
Carga Atuante	
F = 60,00 Kgf R = 30,00 Kgf	
Seção	
B = 0,125 m H = 0,02 m	I = 8,3E-08 m ⁴
Momento Atuante	
M = 3,60 Kgf.m	
Tensão	
T = 432000,00 Kgf/m ² T = 43,20 Kgf/cm ² T = 4,24 Mpa	

Placa 05	
Carga Atuante	
F = 90,00 Kgf	
R = 45,00 Kgf	
Seção	
B = 0,125 m	I = 8,3E-08 m4
H = 0,02 m	
Momento Atuante	
M = 5,40 Kgf.m	
Tensão	
T = 648000,00 Kgf/m ²	
T = 64,80 Kgf/cm ²	
T = 6,35 Mpa	
Placa 07	
Carga Atuante	
F = 130,00 Kgf	
R = 65,00 Kgf	
Seção	
B = 0,125 m	I = 8,3E-08 m4
H = 0,02 m	
Momento Atuante	
M = 7,80 Kgf.m	
Tensão	
T = 936000,00 Kgf/m ²	
T = 93,60 Kgf/cm ²	
T = 9,18 Mpa	

Placa 06	
Carga Atuante	
F = 70,00 Kgf	
R = 35,00 Kgf	
Seção	
B = 0,125 m	I = 8,3E-08 m4
H = 0,02 m	
Momento Atuante	
M = 4,20 Kgf.m	
Tensão	
T = 504000,00 Kgf/m ²	
T = 50,40 Kgf/cm ²	
T = 4,94 Mpa	
Placa 08	
Carga Atuante	
F = 70,00 Kgf	
R = 35,00 Kgf	
Seção	
B = 0,125 m	I = 8,3E-08 m4
H = 0,02 m	8,33E-06
Momento Atuante	
M = 4,20 Kgf.m	
Tensão	
T = 504000,00 Kgf/m ²	
T = 50,40 Kgf/cm ²	
T = 4,94 Mpa	