

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA**  
**PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**DESENVOLVIMENTO DE MÉTODO DE ENSAIO  
DE ADERÊNCIA AO CISALHAMENTO DE PEÇAS  
CERÂMICAS DE REVESTIMENTO**

**DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À UNIVERSIDADE FEDERAL DE  
SANTA CATARINA PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE  
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL**

**ANDRÉ MATTE SAGAVE**

**Florianópolis, setembro de 2001**

**DESENVOLVIMENTO DE MÉTODO DE ENSAIO DE  
ADERÊNCIA AO CISALHAMENTO DE PEÇAS CERÂMICAS DE  
REVESTIMENTO**

**ANDRÉ MATTE SAGAVE**

**Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de**

**MESTRE EM ENGENHARIA**

**Especialidade ENGENHARIA CIVIL e aprovada em sua forma final  
pelo programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.**



**Prof. Humberto Ramos Roman. Ph.D.**

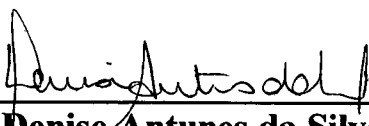
**(orientador)**



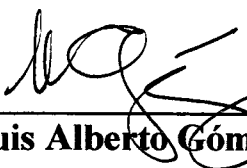
**Prof. Jucilei Cordini**

**(coordenador do curso)**

**COMISSÃO EXAMINADORA**



**Prof. Denise Antunes da Silva, Dr. (UFSC)**



**Prof. Luis Alberto Gómez, Dr. (UFSC)**



**Prof. Vanderley Moacyr John, Dr. (USP)**

Dedico este trabalho aos meus pais Darci e Loreni, ao meu irmão Marcelo, minha esposa Silvana e minha filha Inaiara.

## AGRADECIMENTOS

Ao prof. Humberto pela orientação crítica durante todo o processo de desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus pais e irmão pelo apoio e incentivo para a realização de mais esta etapa da minha vida.

À minha esposa Silvana pelo apoio e compreensão durante os momentos difíceis da realização deste trabalho.

Ao prof. Luis Gómez pela colaboração e ensinamentos dispensados durante o curso.

Aos amigos Almir Barros, Eduardo Rizzatti, Gihad Mohamad, Geralcy Silva, Romsom Romagna, Leslie Roman, Silvia Santos, Helga Martins e Flávio Santos.

Aos bolsistas de iniciação científica Alisson e Marcelo Cechinel pelo auxílio na realização dos ensaios.

Ao prof. Jose A. do N. Pinto, pelo estímulo à pesquisa e incentivo ao desenvolvimento de estudos de pós-graduação.

Aos laboratoristas Luis Henrique e Renato Lapa pelo apoio durante a realização dos ensaios.

À Irizete Menezes da Coordenadoria da Pós-Graduação.

À CAPES pelo auxílio através da bolsa de estudos.

À CEUSA pelo fornecimento das cerâmicas destinadas aos ensaios.

## SUMÁRIO

---

<b>Dedicatória</b> .....	<b>iii</b>
<b>Agradecimentos</b> .....	<b>iv</b>
<b>Sumário</b> .....	<b>v</b>
<b>Lista de Figuras</b> .....	<b>viii</b>
<b>Lista de Tabelas</b> .....	<b>xii</b>
<b>Lista de Símbolos</b> .....	<b>xiv</b>
<b>Resumo</b> .....	<b>xv</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>xvi</b>

## Capítulo 1 - Introdução

---

<b>1.1 Generalidades</b> .....	<b>1</b>
<b>1.2 Objetivos</b> .....	<b>4</b>
<b>1.2.1 Objetivos Gerais</b> .....	<b>4</b>
<b>1.2.2 Objetivos específicos</b> .....	<b>4</b>
<b>1.3 Estrutura do trabalho</b> .....	<b>5</b>

## Capítulo 2 - Revisão Bibliográfica

---

<b>2.1 Sistema Físico de revestimentos cerâmicos</b> .....	<b>7</b>
<b>2.1.1 Cerâmicas para revestimento</b> .....	<b>8</b>
<b>2.1.2 Classificação das cerâmicas</b> .....	<b>9</b>
<b>2.1.3 Argamassas adesivas</b> .....	<b>10</b>
<b>2.1.4 Substrato</b> .....	<b>10</b>
<b>2.2 Mecanismo de Aderência de Revestimentos Cerâmicos</b> .....	<b>11</b>
<b>2.3 Desempenho dos revestimentos</b> .....	<b>12</b>
<b>2.4 Tensões impostas aos revestimentos</b> .....	<b>19</b>
<b>2.5 Causas de separação das camadas de revestimento</b> .....	<b>21</b>
<b>2.5.1 Expansão por Umidade (EPU)</b> .....	<b>22</b>
<b>2.5.2 Retração Hidráulica</b> .....	<b>22</b>
<b>2.5.3 Movimentos da camada de suporte</b> .....	<b>23</b>
<b>2.5.4 Sobrecargas</b> .....	<b>24</b>
<b>2.5.5 Ação da temperatura</b> .....	<b>25</b>

<b>2.6 Ensaio de aderência</b> .....	<b>30</b>
<b>2.7 Resistência de aderência ao cisalhamento</b> .....	<b>32</b>
<b>2.7.1 ASTM C482-81 - Método de ensaio para determinação da tensão de aderência de argamassas de cimento Portland para revestimentos cerâmicos</b> .....	<b>33</b>
<b>2.7.2 MR-14 "Determinação da resistência de revestimentos pelo método de cisalhamento"</b> .....	<b>35</b>
<b>2.7.3 MR-20 "Determinação da resistência de revestimentos pelo método de cisalhamento por torção"</b> .....	<b>36</b>
<b>2.7.4 Norma técnica ANSI - 118.4 - F5 "Resistência ao cisalhamento para revestimentos cerâmicos"</b> .....	<b>39</b>
<b>2.7.5 Método proposto por REED (1992)</b> .....	<b>43</b>
<b>2.7.6 Estudos desenvolvidos por FRANCO e COLLANTES (2000)</b> .....	<b>45</b>
<b>2.7.7 Estudos desenvolvidos por H. ERA et. al. (1998)</b> .....	<b>47</b>

## **Capítulo 3 - Metodologia**

---

<b>3.1 Desenvolvimento do método de ensaio</b> .....	<b>49</b>
<b>3.1.1 Generalidades</b> .....	<b>49</b>
<b>3.2 Metodologia de execução do ensaio</b> .....	<b>51</b>
<b>3.2.1 Confecção do substrato para ensaios e forma dos corpos-de-prova</b> .....	<b>51</b>
<b>3.2.2 Confecção de suporte para substrato</b> .....	<b>54</b>
<b>3.3 Desenvolvimento de metodologia para aplicação de carga ao corpo-de-prova</b> .....	<b>58</b>
<b>3.4 Ensaio Realizados</b> .....	<b>61</b>
<b>3.5 Preparação das amostras</b> .....	<b>62</b>
<b>3.6 Ensaio desenvolvidos</b> .....	<b>65</b>

## **Capítulo 4 – Análise experimental**

---

<b>4.1 Sensibilidade dos ensaios em substratos submetidos a ciclos climáticos</b> .....	<b>69</b>
<b>4.1.1 Análise estatística do comportamento dos ensaios</b> .....	<b>72</b>
<b>4.1.2 Avaliação da sensibilidade do método de ensaio frente ao envelhecimento por ciclos climáticos</b> .....	<b>74</b>
<b>4.1.3 Análise de correlação dos ensaios</b> .....	<b>76</b>
<b>4.2 Sensibilidade do ensaio de cisalhamento para diferentes idades e tipos de argamassas</b> .....	<b>77</b>

4.2.1 Análise do comportamento dos ensaios .....	80
4.2.2 Comparação dos ensaios de cisalhamento com os ensaios de arrancamento .....	82
4.2.3 Avaliação da reprodutibilidade dos ensaios .....	83
4.2.4 Avaliação da sensibilidade dos ensaios comparando-se argamassas diferentes, ensaiadas em diferentes idades .....	84
4.2.5 Avaliação dos coeficientes de variação dos ensaios .....	85
4.2.6 Análise de correlação dos ensaios .....	86
4.3 Avaliação da influência da geometria dos corpos-de-prova no ensaio de cisalhamento .....	87
4.3.1 Análise do comportamento dos ensaios .....	89
4.3.2 Comparação dos ensaios de cisalhamento com as diferentes geometrias	90
4.3.3 Avaliação da repetibilidade dos ensaios .....	92
4.3.4 Avaliação dos coeficientes de variação dos ensaios.....	93
4.3.5 Análise de correlação dos ensaios .....	93
4.4 Análise das incertezas das resistências dos ensaios de cisalhamento e tração direta .....	96
4.5 Estimativa do tamanho da amostra .....	104

## **Capítulo 5 - Conclusão**

---

Conclusões .....	106
------------------	-----

## **Referências Bibliográficas**

---

Referências Bibliográficas .....	110
----------------------------------	-----

## LISTA DE FIGURAS

---

### Capítulo 1 - Introdução

---

- Figura 1** - Produção Brasileira de Revestimentos cerâmicos Fonte: PASCHOAL E MENEGAZZO (1999) ..... 2

### Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica

---

- Figura 2.1** - Esquema do sistema de revestimento cerâmico com argamassa colante ..... 8
- Figura 2.2** - Partes do revestimento cerâmico..... 8
- Figura 2.3** - Esquema de painel isolado para ensaio de peças por cisalhamento e tração (GUAN et. al., 1997) ..... 15
- Figura 2.4** - Resistência à tração de peças submetidas a ciclos climáticos. (GUAN et. al. 1997) ..... 16
- Figura 2.5** - Resistência ao cisalhamento de peças submetidas a ciclos climáticos. (GUAN et. al. 1997) ..... 16
- Figura 2.6** - Resistência a tração de ciclos climáticos e variação do tempo em aberto (GUAN et al. 1997)..... 17
- Figura 2.7** - Resistência à tração com influência de ciclos climáticos e variação da extensão de aderência (GUAN et al. 1997) ..... 18
- Figura 2.8** - Resistência à tração com influência de ciclos climáticos e variação da pressão exercida durante o assentamento (GUAN et al. 1997)..... 18
- Figura 2.9** - Sistema usual de revestimentos cerâmicos ..... 20
- Figura 2.10** - Esquema de tensões de cisalhamento impostas ao revestimento devido às movimentações da camada de suporte (CARRIÒ, 1993)..... 24
- Figura 2.11** - Fissuras por esforços de tração, decorrentes do cisalhamento de um revestimento aplicado sobre uma junta de assentamento (JOISEL, 1981) ..... 24
- Figura 2.12** - Expansão de diferentes materiais, sob ação de calor ..... 26
- Figura 2.13** - Deformação diferencial devido ao gradiente térmico no interior de um único material ..... 27
- Figura 2.14** - Esquema de variação de temperatura entre as camadas do revestimento cerâmico ..... 28
- Figura 2.15** - Tensões e deformações durante um processo simplificado de contração em um sistema de revestimento cerâmico ..... 28



<b>Figura 2.16</b>	- Efeito da expansão e contração térmica em um sistema de revestimento cerâmico (CARRIO, 1993) .....	29
<b>Figura 2.17</b>	- Esquema do dispositivo para aplicação de carga, pelo processo manual, para ensaios de arrancamento .....	31
<b>Figura 2.18</b>	- Dispositivo de ensaio proposto pela ASTM C482-81 .....	33
<b>Figura 2.19</b>	- Esquema de desvios na moldagem dos corpos de prova .....	34
<b>Figura 2.20</b>	- Esquema do ensaio de cisalhamento por compressão proposto pela RILEM (1982) MR-14 .....	35
<b>Figura 2.21</b>	- Esquema do ensaio de cisalhamento por torção proposto pela RILEM (1982) MR-20 .....	37
<b>Figura 2.22</b>	- Esquema demonstrativo da aplicação de carga com $P \neq F$ .....	38
<b>Figura 2.23</b>	- Esquema do aparato para ensaio de cisalhamento apresentado pela ANSI 118.4 .....	39
<b>Figura 2.24</b>	- Esquema de forças resultantes quando é utilizada inclinação da peça cerâmica .....	40
<b>Figura 2.25</b>	- Esquema de esforços resultantes em ensaio de cisalhamento .....	41
<b>Figura 2.26</b>	- Zona de aderência entre as cerâmicas, de acordo com o ensaio proposto por ANSI 118-4.....	42
<b>Figura 2.27</b>	- Esquema de ensaio de cisalhamento in loco .....	43
<b>Figura 2.28</b>	- Esquema de proposto por REED (1992) para ensaio de cisalhamento em superfície padrão .....	44
<b>Figura 2.29</b>	- Aparelho para medir a resistência de aderência ao cisalhamento (COLLANTES e FRANCO, 2000).....	46
<b>Figura 2.30</b>	- Dente (ranhura) proposto para redução da concentração de tensões em ensaio de cisalhamento.....	48
<b>Figura 2.31</b>	- Imagens de fotoelasticidade. (a) corpo-de-prova sem carregamento; (b) corpo-de-prova com carregamento e sem ranhura; (c) corpo-de-prova com carregamento e com a ranhura proposta. (H. ERA et. al., 1998).....	48

### **Capítulo 3 – Metodologia**

---

<b>Figura 3.1</b>	- Substrato padrão com cerâmicas coladas para ensaios de cisalhamento e arrancamento .....	53
<b>Figura 3.2</b>	- Esquemas estudados para a aplicação de carga no ensaio de cisalhamento .....	54
<b>Figura 3.3</b>	- Equipamento utilizado para ensaios de tração direta e cisalhamento .....	55
<b>Figura 3.4</b>	- Equipamento para aquisição de dados, programação do ensaio e controle de aplicação de carga .....	55

<b>Figura 3.5</b>	- Detalhe do tripé, demonstrando o pistão, os pés reguláveis e o anel metálico para auxílio no nivelamento do equipamento.....	<b>56</b>
<b>Figura 3.6</b>	- Esquema da fixação do substrato padrão no suporte metálico .....	<b>57</b>
<b>Figura 3.7</b>	- Suporte metálico para ensaio de cisalhamento .....	<b>57</b>
<b>Figura 3.8</b>	- Detalhe do dispositivo de fixação superior do painel ao suporte ...	<b>58</b>
<b>Figura 3.9</b>	- Dispositivo de fixação e tripé posicionados no suporte .....	<b>58</b>
<b>Figura 3.10</b>	- Dispositivo para execução do ensaio de cisalhamento .....	<b>59</b>
<b>Figura 3.11</b>	- Detalhe do caixilho para execução do ensaio de cisalhamento em peças com dimensões de 50 x 50mm .....	<b>60</b>
<b>Figura 3.12</b>	- Detalhe da polia utilizada para reduzir problemas de torção .....	<b>61</b>
<b>Figura 3.13</b>	- Esquema para assentamento das peças cerâmicas destinadas ao ensaio de cisalhamento .....	<b>63</b>
<b>Figura 3.14</b>	- Substrato fixado ao suporte, pronto para o ensaio.....	<b>64</b>
<b>Figura 3.15</b>	- Substrato fixado ao suporte, com caixilho metálico posicionado na cerâmica de teste.....	<b>64</b>
<b>Figura 3.16</b>	- Esquema demonstrativo do correto posicionamento do caixilho em relação à face esmaltada da cerâmica.....	<b>65</b>
<b>Figura 3.17</b>	- Posicionamento dos substratos-padrão em câmara climática .....	<b>66</b>

## **Capítulo 4 – Análise experimental**

---

<b>Figura 4.1</b>	- Comportamento das resistências de aderência para argamassa tipo I, em função do número de ciclos climáticos .....	<b>71</b>
<b>Figura 4.2</b>	- Comportamento das resistências de aderência para argamassa tipo II, em função do número de ciclos climáticos .....	<b>71</b>
<b>Figura 4.3</b>	- Comparação dos coeficientes de variação para ensaios de arrancamento e cisalhamento – Argamassa Tipo I.....	<b>75</b>
<b>Figura 4.4</b>	- Comparação dos coeficientes de variação para ensaios de arrancamento e cisalhamento – Argamassa Tipo II .....	<b>76</b>
<b>Figura 4.5</b>	- Correlação dos ensaios de arrancamento e cisalhamento .....	<b>77</b>
<b>Figura 4.6</b>	- Correlação dos ensaios de arrancamento e cisalhamento .....	<b>77</b>
<b>Figura 4.7</b>	- Evolução das resistências, considerando os substratos ensaiados com idade de 40 dias e argamassa Tipo II .....	<b>80</b>
<b>Figura 4.8</b>	- Evolução das resistências, considerando os substratos ensaiados com idade de 50 dias e argamassa Tipo I .....	<b>81</b>
<b>Figura 4.9</b>	- Evolução das resistências, considerando os substratos ensaiados com idade de 60 dias e argamassa tipo III .....	<b>81</b>
<b>Figura 4.10</b>	- Comparação dos coeficientes de variação considerando cisalhamento com peças 4x8 .....	<b>85</b>
<b>Figura 4.11</b>	- Comparação dos coeficientes de variação considerando cisalhamento com peças 5x5 .....	<b>85</b>

<b>Figura 4.12</b>	- Correlação entre as resistências de aderência dos ensaios de cisalhamento 4x8 com os ensaios de arrancamento .....	<b>86</b>
<b>Figura 4.13</b>	- Resistência de aderência dos ensaios com idade de 28 dias.....	<b>90</b>
<b>Figura 4.14</b>	- Coeficientes de variação dos ensaios da terceira etapa .....	<b>93</b>
<b>Figura 4.15</b>	- Correlação entre os ensaios de cisalhamento – terceira etapa .....	<b>94</b>
<b>Figura 4.16</b>	- Correlação entre os ensaios de cisalhamento descartando substrato 3.3 – terceira etapa .....	<b>94</b>
<b>Figura 4.17</b>	- Correlação de cisalhamentos 4x8 com 5x5 considerando as resistências apresentadas na tabela 4.16 .....	<b>95</b>
<b>Figura 4.18</b>	- Análise da incerteza dos resultados considerando-se três tipos de argamassas e idades de ensaio variadas (referentes à segunda etapa – item 4.2).....	<b>102</b>
<b>Figura 4.19</b>	- Análise da incerteza dos resultados considerando-se um único tipo de argamassa e ensaios realizados com a mesma idade (referentes à terceira etapa – item 4.3).....	<b>103</b>

## LISTA DE TABELAS

---

### Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica

---

<b>Tabela 2.1</b>	- Classificação dos revestimentos cerâmicos quanto à absorção de água .....	<b>9</b>
<b>Tabela 2.2</b>	- Número de cerâmicas por ensaio - fonte ASTM C482-81 .....	<b>34</b>

### Capítulo 3 – Metodologia

---

<b>Tabela 3.1</b>	- Quantidade de ciclos climáticos a que foram submetidos os painéis.....	<b>67</b>
-------------------	--	-----------

### Capítulo 4 – Análise experimental

---

<b>Tabela 4.1</b>	- Resumo dos valores das resistências dos ensaios, por painel.....	<b>70</b>
<b>Tabela 4.2</b>	- Teste F: duas amostras para variâncias – substrato TI – referência	<b>73</b>
<b>Tabela 4.3</b>	- Teste t: comparação de duas amostras presumindo variâncias diferentes – substrato TI – referência. ....	<b>73</b>
<b>Tabela 4.4</b>	- Resumo da comparação resistências dos ensaios de cisalhamento com os ensaios de arrancamento para cada substrato.....	<b>74</b>
<b>Tabela 4.5</b>	- Resumo do teste de ANOVA, avaliando a sensibilidade dos ensaios frente às condições de envelhecimento.....	<b>75</b>
<b>Tabela 4.6</b>	- Resumo dos dados para o comportamento dos ensaios considerando as diferentes idades de cura e tipos de argamassas – substratos com cisalhamento de peças com geometria 4x8 cm .....	<b>79</b>
<b>Tabela 4.7</b>	- Resumo dos dados para o comportamento dos ensaios considerando as diferentes idades de cura e tipos de argamassas – substratos com cisalhamento de peças com geometria 5x5 cm .....	<b>79</b>
<b>Tabela 4.8</b>	- Resumo da comparação das resistências dos ensaios de cisalhamento com os ensaios de arrancamento em cada substrato..	<b>82</b>
<b>Tabela 4.9</b>	- Resumo de análise – ANOVA – comparando-se a reprodutibilidade dos ensaios.....	<b>83</b>
<b>Tabela 4.10</b>	- Resumo de análise – ANOVA – comparando-se a sensibilidade dos ensaios frente a diferentes argamassas com idades diferentes.	<b>84</b>
<b>Tabela 4.11</b>	- Resumo de dados dos ensaios referentes à terceira etapa para as diferentes geometrias de ensaio utilizando argamassa colante tipo II.....	<b>88</b>
<b>Tabela 4.12</b>	- Resumo de dados dos ensaios referentes à terceira etapa para as diferentes geometrias de ensaio utilizando argamassa mista.....	<b>89</b>

<b>Tabela 4.13</b>	- Resumo de ANOVA; Comparação das resistências de cisalhamento 4x8 com as resistências ao cisalhamento 5x5 em cada substrato padrão.....	<b>91</b>
<b>Tabela 4.14</b>	- Resumo da comparação entre ensaios do mesmo tipo, variando-se o substrato de ensaio.....	<b>92</b>
<b>Tabela 4.15</b>	- Resumo da comparação entre ensaios do mesmo tipo, variando-se o substrato de ensaio e descartando-se o substrato nº3.....	<b>92</b>
<b>Tabela 4.16</b>	- Tabela resumo de resistências para os ensaios de cisalhamento 4x8 e 5x5 em duas etapas do trabalho.....	<b>95</b>
<b>Tabela 4.17</b>	- Resumo de dados para cálculo das incertezas; ensaios de cisalhamento referentes à argamassas e idades variadas (item 4.4).	<b>99</b>
<b>Tabela 4.18</b>	- Resumo dos parâmetros e resultados das incertezas das resistências – ensaios de cisalhamento referentes à argamassas e idades variadas (item 4.4).....	<b>100</b>
<b>Tabela 4.19</b>	- Resumo de dados para cálculo das incertezas; ensaios de arrancamento referentes à argamassas e idades variadas (item 4.4).....	<b>100</b>
<b>Tabela 4.20</b>	- Resumo dos parâmetros e resultados das incertezas das resistências – ensaios de arrancamento referentes à argamassas e idades variadas (item 4.4).....	<b>100</b>
<b>Tabela 4.21</b>	- Resumo de dados para cálculo das incertezas; ensaios de cisalhamento referentes aos ensaios sem variação de idade e tipos de argamassas (item 4.5).....	<b>101</b>
<b>Tabela 4.22</b>	- Resumo dos parâmetros e resultados das incertezas das resistências – ensaios de cisalhamento referentes aos ensaios sem variação de idade e tipos de argamassas (item 4.5).....	<b>101</b>
<b>Tabela 4.23</b>	- Resumo de dados para cálculo das incertezas; ensaios de cisalhamento (5x5) referentes aos ensaios sem variação de idade e tipos de argamassas (item 4.5).....	<b>101</b>
<b>Tabela 4.24</b>	- Resumo dos parâmetros e resultados das incertezas das resistências – ensaios de cisalhamento (5x5) referentes aos ensaios sem variação de idade e tipos de argamassas (item 4.5).....	<b>101</b>
<b>Tabela 4.25</b>	- Resumo de dados para cálculo das incertezas; ensaios de arrancamento referentes aos ensaios sem variação de idade e tipos de argamassas (item 4.5).....	<b>102</b>
<b>Tabela 4.26</b>	- Resumo dos parâmetros e resultados das incertezas das resistências – ensaios de arrancamento referentes aos ensaios sem variação de idade e tipos de argamassas (item 4.5).....	<b>102</b>
<b>Tabela 4.27</b>	- Estimativa do tamanho da amostra considerando valores críticos ..	<b>104</b>
<b>Tabela 4.28</b>	- Estimativa do tamanho da amostra considerando valores médios ..	<b>104</b>

## LISTA DE SÍMBOLOS

---

$\Delta l_a$	Varição de comprimento para argamassa;
$\Delta l_c$	Varição de comprimento para cerâmica;
T	Temperatura;
Q	Fonte de Calor;
P; F	Carga aplicada no ensaio em N;
$\tau$	Resistência ao cisalhamento em $N/mm^2$ ;
$\alpha$	Ângulo de inclinação;
L	Unidade de comprimento;
r	Coefficiente de correlação linear de Pearson;
$E_{ai}$	Erro aleatório da i-ésima indicação;
$l_i$	Valor da i-ésima indicação individual;
$MI$	Média das indicações;
$Re$	Faixa de dispersão dentro da qual se situa o erro aleatório para a probabilidade de 95%;
t	Coefficiente de Student;
s	Desvio padrão experimental da amostra;
$u_x$	Incerteza padrão de cada fonte de incerteza;
$K_{95}$	Fator de abrangência par o nível de confiança de 95%;
$Re$	Faixa de dispersão dentro da qual se situa o erro aleatório para a probabilidade de 95%;
$u(R)$	Incerteza padrão combinada para a resistência;
$u(A)$	Incerteza padrão relativa à área dos corpos-de-prova;
$U(C)$	Incerteza padrão relativa à carga aplicada nos ensaios;
A	Área média dos corpos-de-prova;
C	Carga média aplicada nos ensaios;
R	Resistência média calculada;
$U_{95\%}$	Incerteza expandida para o nível de confiança de 95%;
$K_{95}$	Fator de abrangência para o nível de confiança de 95%;
$u(R)$	Incerteza padrão combinada para a resistência;
ef	Número de graus de liberdade efetivo;
a	grau de liberdade relativo a área dos corpos-de-prova;
c	grau de liberdade relativo a carga dos corpos-de-prova;

# CAPITULO 1

## INTRODUÇÃO

### 1.1. Generalidades

A cerâmica é um material de uso muito antigo cujo processo de produção vem incorporando tecnologia através dos séculos. Sua utilização pela civilização teve início em objetos, ou utensílios de uso diário (pratos, jarras, copos, taças, e outros). Posteriormente, foram desenvolvidas técnicas que permitiram a utilização do material em outras situações do cotidiano, evoluindo até a sua utilização como material de construção. O primeiro uso das cerâmicas com fins estéticos data do século VI a.C., na civilização Babilônica. Sua presença em épocas posteriores foi também observada em banhos Romanos, construídos há quase 2.000 anos.

Sua aceitação pelo mercado consumidor foi crescendo com o passar dos anos devido às suas características de diferencial estético e propriedades específicas como facilidade de limpeza e baixa absorção de água. Assim, a cerâmica como material de revestimento foi se incorporando às diversas culturas em todo o mundo. Atualmente, seu uso encontra-se totalmente disseminado, fazendo-se presente constantemente nas edificações modernas.

Com a evolução tecnológica em todas as etapas do processo produtivo, desde o preparo da matéria prima, mistura de argilas a fim de buscar melhor desempenho, aperfeiçoamento dos equipamentos participantes do processo de fabricação das cerâmicas e desenvolvimento estético do produto acabado, as cerâmicas tem ganhado força e ocupado espaço antes preferido a outros materiais.

Formando um ciclo, a evolução do setor cerâmico origina o desenvolvimento de novos produtos que venham melhorar seu desempenho durante a aplicação e período de uso. As novas técnicas de assentamento facilitantes para a utilização dos revestimentos cerâmicos fazem com que este material ganhe cada dia mais espaço junto a engenheiros, arquitetos e consumidor final, gerando um aumento na sua utilização. Da mesma forma, com o aumento da utilização do produto, aumentam os interesses econômicos envolvidos neste setor, desencadeando uma necessidade de aumento da produção, com

# RESUMO

As tensões de cisalhamento são de grande influência no desempenho de um sistema de revestimento, tendo em vista que a maior parte dos esforços a que estão sujeitos é de origem cisalhante. Entretanto, a normalização brasileira prevê, para a determinação da aderência dos revestimentos cerâmicos, ensaios pelo método de tração direta.

Neste trabalho, foram discutidos artigos e normas (nacionais e internacionais) sobre ensaios de aderência de revestimentos cerâmicos e que serviram de base para o desenvolvimento de um método para ensaio de cisalhamento de revestimentos cerâmicos colados em substratos-padrão de concreto.

Os ensaios foram desenvolvidos utilizando como variáveis, os tipos de argamassas (argamassas colantes para interiores e para fachadas e argamassa mista de cimento, cal e areia), as idades dos ensaios, o envelhecimento do sistema através de exposição dos substratos a ciclos higrotérmicos em câmara climática e variação da geometria dos corpos-de-prova para o método desenvolvido.

Através das análises os ensaios foram avaliados de forma individual e através de comparações entre os ensaios de cisalhamento versus arrancamento e cisalhamento versus cisalhamento (geometrias diferentes). Após, o trabalho apresenta uma avaliação da incerteza dos resultados dos ensaios, demonstrando o erro embutido nas medições, permitindo a conclusão de que o método desenvolvido apresenta resultados significativamente mais precisos, quando comparados com os ensaios de arrancamento sugeridos pela normalização vigente.



# ABSTRACT

The adherence of a ceramic tile system depends on both shear and tensile strength. However, Brazilian code only specified the direct tensile (pull-off) test to determine the tile bond strength. A shear bond strength test method was developed in this work. The scientific bases for the method were research works and standard codes (national and international).

Tiles were bonded to concrete substrates by adhesive mortar. To analyze the influence of mortars on shear strength, different types of mortars were used. The durability of the system was also investigated by using a weathering chamber. The panel was placed in the chamber and the system was exposed to cyclic variation of temperature and humidity. The influence of the specimen geometry was also investigated.

Test results were analyzed by using statistical methods. Comparisons between shear and tensile strength tests were made, and the conclusions are presented in this work. The errors relative to the test method were also evaluated and compared to those related to the pull-off standard test method. The results have shown that the designed method can be used to predict the bond strength of a ceramic tile system.

redução de custos e melhor desempenho do produto acabado, onde prevalecerá sobre as outras a indústria que apresentar produtos de maior beleza e desempenho diferenciado.

Neste aspecto, pode-se observar que as inovações tecnológicas são, atualmente, uma questão de sobrevivência para a indústria cerâmica. Os estudos relativos a esta área tornam-se a cada dia mais importantes, senão fundamentais para a continuidade da aceitação do produto pelo mercado consumidor.

No Brasil, a evolução vem acompanhando as tendências mais modernas de produção das cerâmicas para revestimento de paredes e pisos. Até o ano de 1999, ocupava a posição de quarto produtor mundial, apresentando uma produção anual de 383,3 milhões de metros quadrados dos 3,0 bilhões fabricados em todo o mundo, estando atrás somente de China, Itália e Espanha, os quais, juntamente com o Brasil respondem por 60 % da produção mundial, PASCHOAL e MENEGAZZO (1999).

Observa-se, no entanto, que, apesar do crescimento da indústria cerâmica no país, visualizado na Figura 1, e da grande evolução tecnológica no que tange o assunto revestimento cerâmico, a incidência de manifestações patológicas neste processo construtivo não decresce na mesma velocidade em que ocorrem estes avanços, sendo freqüente a perda de desempenho nas edificações, gerando descolamento e queda destes revestimentos.

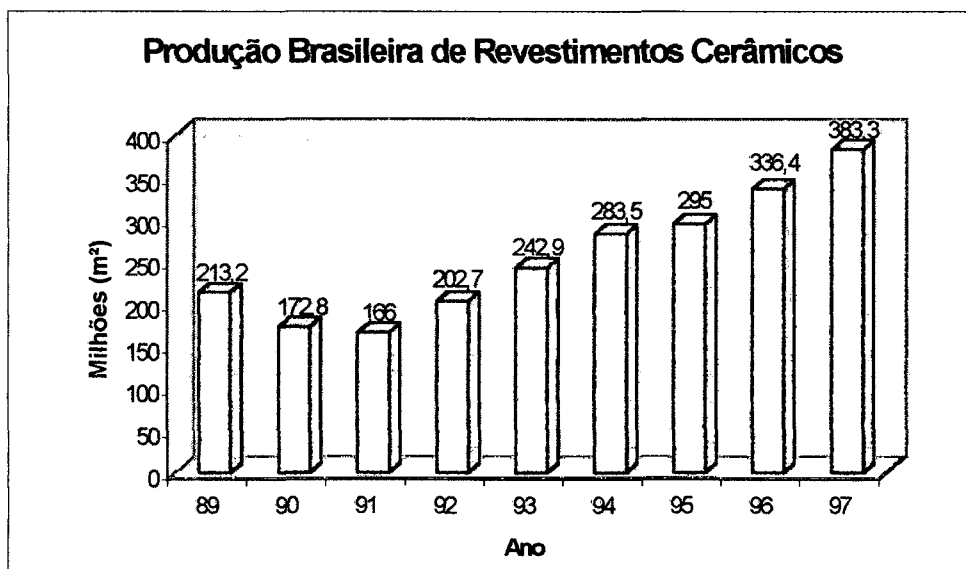


Figura 1 - Produção Brasileira de Revestimentos cerâmicos Fonte: PASCHOAL e MENEGAZZO (1999).

Entre as manifestações patológicas presentes nestes revestimentos, a que traz maior grau de preocupação é, sem dúvida, o destacamento e queda das cerâmicas em função dos riscos de acidentes com pessoas, nas áreas adjacentes à superfície revestida, principalmente em fachadas de edifícios. Segundo PÓVOAS et. al. (1999) “um levantamento realizado pelo IPT demonstra que o descolamento de revestimentos é uma das formas mais comuns de patologia em conjuntos habitacionais”.

O desempenho destes revestimentos está ligado, no entanto, a um grande número de parâmetros que influenciam sua aderência com o substrato, entre eles, o tipo de adesivo utilizado, tipo de substrato, características do material cerâmico, condições de exposição, formação do tardo e qualidade da mão-de-obra. Dessa forma, a cerâmica utilizada não pode ser considerada como única responsável pelas manifestações patológicas que se apresentam nas edificações.

Muitos adesivos (argamassas colantes) têm sido desenvolvidos e lançados ao mercado consumidor, apresentando diversas características e diferentes desempenhos frente às condições de exposição dos revestimentos cerâmicos.

A qualidade destes adesivos pode minimizar a ação dos efeitos adversos à aderência, causados pelas condições acima descritas, desde que garantam um processo de aderência diferenciado, principalmente devido às movimentações cíclicas (geradoras do efeito da fadiga nos materiais) que ocorrem nos sistemas de revestimento.

O tema aderência de revestimentos tem sido, em função do grau de importância para o desempenho do sistema cerâmico, objeto de estudo de diversos pesquisadores e, não são raras as conclusões de que o processo da fadiga da aderência entre a peça cerâmica e a argamassa colante, como uma das principais causas do descolamento dos revestimentos, sobretudo em paredes. Neste caso, observa-se que as tensões dominantes no sistema são de origem cisalhante.

Entretanto, a normalização vigente no Brasil descreve como parâmetro determinante da resistência de aderência dos revestimentos cerâmicos, o ensaio de arrancamento (aderência por tração direta) e, por isto mesmo, raras são as bibliografias encontradas onde são desenvolvidos estudos relativos à aderência através da sua ruptura por cisalhamento, apesar desta ser a forma de maior comprometimento da ancoragem dos mesmos à base de sustentação.

Nesse trabalho são discutidos os motivos de perda de aderência que causam o destacamento de peças cerâmicas, procurando enfatizar a ação das tensões de cisalhamento impostas ao sistema, as quais levarão à sua fadiga e conseqüente ruptura.

Em função disso é apresentada uma análise comparativa dos ensaios de aderência por tração com o de cisalhamento, executado através do método desenvolvido, demonstrando a existência de uma alta dispersão de resultados para o método normalizado e valores de dispersão bastante baixos para o método de aderência ao cisalhamento.

Neste contexto, busca-se trazer uma colaboração ao entendimento do processo de aderência de revestimentos cerâmicos através do desenvolvimento de um método de ensaio que permita a quantificação da resistência de aderência pelo método de cisalhamento.

## **1.2 Objetivos**

O desempenho do processo de aderência das argamassas colantes destinadas ao assentamento de revestimentos cerâmicos é um tema ainda carente de estudos que possam garantir uma melhor confiabilidade do sistema.

Visando contribuir para o desenvolvimento deste tema, foi desenvolvido este trabalho, fundamentado em três pontos básicos, identificados nos objetivos gerais.

### **1.2.1 Objetivos Gerais**

- 1 Desenvolvimento de um aparato e metodologia de ensaio de cisalhamento para estudo da aderência de argamassas colantes destinadas ao assentamento de revestimentos cerâmicos.
- 2 Avaliação da sensibilidade do ensaio de cisalhamento desenvolvido.
- 3 Comparação dos resultados obtidos através do método desenvolvido com ensaios de resistência à tração.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- 1 Avaliação da aderência por cisalhamento, utilizando o método desenvolvido, em revestimentos cerâmicos assentados com argamassas colantes.
- 2 Avaliação de ensaios de aderência por tração direta em revestimentos cerâmicos assentados com argamassas colantes.
- 3 Avaliação do desempenho dos métodos de ensaio estudados.
- 4 Avaliação da influência do formato do corpo-de-prova no ensaio de cisalhamento.
- 5 Avaliação da aderência de argamassas colantes industrializadas envelhecidas por ciclos higrotérmicos em câmara climática.

### 1.3 Estrutura do trabalho

Este trabalho está estruturado em cinco capítulos, distribuídos da seguinte forma:

O capítulo 1 descreve uma breve introdução ao tema a ser desenvolvido, bem como define os objetivos gerais e específicos do trabalho.

O capítulo 2 aborda os aspectos gerais do sistema de revestimentos cerâmicos, descrevendo as principais características dos materiais utilizados com maior frequência neste tipo de revestimento. Trata também dos fatores influentes no desempenho dos revestimentos cerâmicos durante o período de utilização de uma habitação. É também demonstrada a importância do desenvolvimento de um método de ensaio de cisalhamento, em virtude das tensões que realmente atuam no sentido de descolamento dos revestimentos durante seu período de utilização. O capítulo é concluído descrevendo e discutindo os principais métodos utilizados para avaliação da resistência de aderência por tração direta e por cisalhamento, fornecendo alguns resultados obtidos por pesquisadores que utilizaram tais métodos.

O capítulo 3 aborda a metodologia utilizada para o desenvolvimento dos ensaios, explicando as variáveis a serem utilizadas para o desenvolvimento dos mesmos. Está incluída, neste capítulo, a descrição dos materiais utilizados, metodologias para confecção dos substratos onde são coladas as pastilhas cerâmicas destinadas aos ensaios de aderência; são descritos os equipamentos utilizados nos ensaios e é explicado como

foi desenvolvido o equipamento para o ensaio de cisalhamento proposto, apresentando o equipamento na sua forma final.

No capítulo 4, as variáveis de ensaio são definidas e os tipos de ensaios desenvolvidos estão descritos, bem como os materiais utilizados em todas as etapas do trabalho. Foram aqui feitas, também, as considerações sobre cuidados com o desenvolvimento dos ensaios e posicionamento final do equipamento em relação ao corpo-de-prova. São, por fim apresentados os resultados das análises estatísticas referentes a cada etapa do trabalho, avaliando-se o método de ensaio por cisalhamento desenvolvido, o qual é também comparando com o ensaio de aderência por cisalhamento. O capítulo é finalizado com a apresentação de uma análise da incerteza das medições, ou seja, uma análise do erro embutido nos ensaios.

No capítulo 5, é feita a conclusão do trabalho, abordando, de forma sintética, as informações principais, obtidas ao longo do desenvolvimento deste; é verificado também se o objetivo principal foi atingido, apresentando considerações, ou sugestões para trabalhos futuros com o uso do equipamento e procedimento de ensaio desenvolvido.

# CAPITULO 2

## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Sistema Físico de revestimentos cerâmicos

Como já dito anteriormente, os revestimentos cerâmicos atualmente têm ampla utilização na construção civil, tanto em paredes, como em pisos, tendo como principais finalidades, a redução da absorção de água pela superfície em que está aplicado, proteção da base contra agentes agressivos, de natureza química ou não, e fornecer beleza estética ao ambiente.

O sistema de revestimento cerâmico em paredes é composto, na grande maioria das construções, por:

- Base: superfície plana de paredes, sobre o qual é aplicada argamassa colante, para assentamento das placas cerâmicas (NBR 13754, 1996). As bases podem ser constituídas por alvenarias de tijolos maciços, blocos cerâmicos ou de concreto, concreto armado ou pré-moldado, placas de gesso, entre outras.
- Substrato: geralmente é o emboço; tem a finalidade de promover o nivelamento da superfície, permitindo adequada ligação com a camada posterior de argamassa colante.
- Argamassa colante ou adesiva: tem a função de promover a ligação da peça cerâmica com o substrato.
- Peça cerâmica: material de revestimento com o corpo poroso e uma das superfícies esmaltadas.
- Rejunte: argamassa de preenchimento das juntas de assentamento (NBR 13754, 1996).

A Figura 2.1 ilustra, esquematicamente, um sistema de revestimento cerâmico.

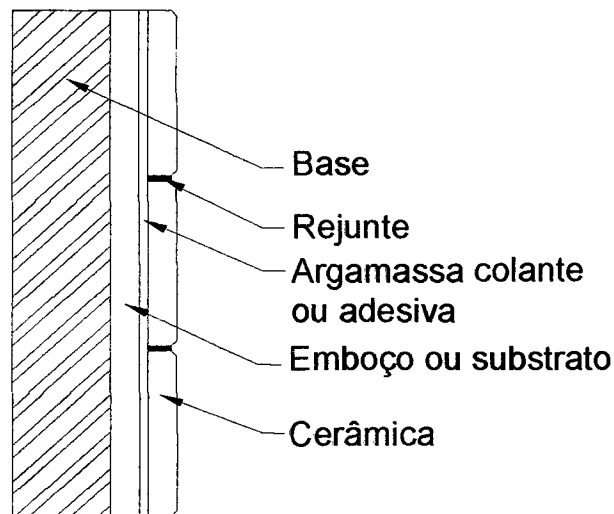


Figura 2.1 - Esquema do sistema de revestimento cerâmico com argamassa colante

### 2.1.1 Cerâmicas para revestimento

Tecnicamente, os revestimentos cerâmicos podem ser definidos como placas finas obtidas por uma mistura de argilas e outras matérias primas inorgânicas que são extrudadas ou prensadas, passando, posteriormente, por um processo de secagem e queima em altas temperaturas.

O revestimento cerâmico é composto, normalmente, por três partes, conforme ilustra a Figura 2.2.

1. Face – Cobertura vitrificada impermeável (forma mais comum, mas existem variações).
2. Biscoito – Corpo do revestimento
3. Tardoz – Superfície posterior do revestimento, destinada à atender as exigências de aderência com o substrato.

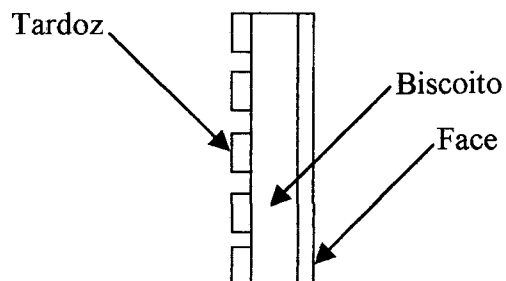


Figura 2.2 - Partes do revestimento cerâmico



### 2.1.2 Classificação das cerâmicas para revestimento

Um dos principais parâmetros utilizados para a classificação das cerâmicas é a absorção de água, a qual é diretamente relacionada à sua porosidade e, por consequência, à sua resistência mecânica.

A absorção poderá determinar, também, um melhor ou pior desempenho da aderência do material cerâmico frente à argamassa colante, em função da taxa de sucção, ou seja, a existência de alta sucção inicial, pode causar falta de água na argamassa, na região da interface de aderência, necessária para a hidratação dos compostos cimentícios.

Conforme a ISO 10545 que trata da terminologia, classificação, especificação e métodos de ensaios aplicáveis a peças cerâmicas, os grupos de absorção de água são classificados da seguinte forma:

Tabela 2.1 – Classificação dos revestimentos cerâmicos quanto à absorção de água.

Absorção de água (% em peso)				Grupo	Denominação
De	0	a	0,5	Grupo Ia	Porcelana
De	0,5	a	3	Grupo Ib	Grês
De	3	a	6	Grupo IIa	Semi-Grês
De	6	a	10	Grupo IIb	Semi-poroso
	+	de	10	Grupo III	Poroso

A classificação dos revestimentos não se limita, no entanto, apenas à absorção de água, existindo também classificações quanto à:

- Classe de abrasão (Resistência ao desgaste da superfície devida ao movimento de pessoas e objetos);
- Resistência às manchas;
- Resistência ao ataque químico;
- Resistência química residencial;
- Resistência química industrial;
- Análise visual;
- Gretagem.

### 2.1.3 Argamassas adesivas

A norma técnica NBR 8214 (1983) recomenda dois tipos distintos de argamassas para assentamento de placas cerâmicas:

1. Processo convencional de assentamento com argamassa, onde é utilizada argamassa mista, preparada em canteiro de obra.
2. Processo de assentamento com produtos pré-fabricados (adesivos à base de cimento), hoje denominados de argamassas colantes.
3. Pode-se utilizar também, argamassas dosadas em obra e aditivadas com produtos químicos.

Destas, as mais utilizadas na atualidade são as argamassas colantes que, conforme a NBR 13754 (1996), são compostos de aglomerantes hidráulicos, agregados minerais e aditivos. Segundo SILVA et. al. (1999), possuem composição aproximada de 24% de cimento Portland, 73% de material inerte (areias) e até 3% de outros constituintes (resinas vinílicas e celulósicas). A preferência por este tipo de argamassa se deve ao fato da sua facilidade de preparo, aplicação e aparente desempenho superior às demais, quando corretamente utilizada.

A argamassa colante terá uma espessura final variando entre 2 e 5 mm, conforme tamanho da peça cerâmica a ser colada.

As principais propriedades das argamassas colantes são:

- Trabalhabilidade;
- Adesão inicial;
- Aderência;
- Tempo em aberto;

### 2.1.4 Substrato

A espessura dos revestimentos argamassados (argamassa de emboço), conforme NBR 13749 (1996), deverá estar compreendido entre 5 e 20 mm para revestimentos internos e entre 20 e 30 mm para revestimentos externos.

A composição dos traços das argamassas deve ser planejada conforme as exigências do local onde serão aplicadas. No Brasil, a variabilidade dos traços utilizados é bastante extensa. Segundo CINCOTTO et al (1995) os traços mais comumente

utilizados, com composição de cimento, cal e areia são: 1:1:3; 1:1:5,5; 1:3:7; 1:2:9 e 1:2:11 (proporções em volume).

## 2.2 Mecanismo de Aderência de Revestimentos Cerâmicos

A aderência tem papel fundamental no desempenho dos revestimentos cerâmicos e poderá determinar, juntamente com as propriedades físicas dos materiais, uma maior ou menor durabilidade do sistema.

Segundo CINCOTTO (1988), a aderência entre as camadas do revestimento irá ocorrer pela penetração da nata do aglomerante nos poros da base. GALLEGOS (1995) explica o processo da seguinte forma:

- Quando a argamassa entra em contato com o componente, este irá absorver água, em quantidades variáveis que dependem da porosidade do material;
- Esta água irá transportar materiais cimentícios, os quais começarão a ocupar espaços capilares;
- ao cristalizar, este material cimentício irá proporcionar o travamento entre as unidades.

Segundo DOMINGUEZ (1993), o fenômeno de penetração da pasta de aglomerante na rede capilar dos materiais é favorecido pela porosidade da base, sendo mais difícil em superfícies pouco absorventes. O travamento entre o material cimentante e os poros da base é denominado então de aderência mecânica.

Dessa forma, cada componente do sistema de revestimento cerâmico ficará mecanicamente aderido aos outros devido ao material cimentante. A força desta adesão, segundo GALLEGOS (1995), será resultante do produto entre a tensão de aderência e a extensão da área de contato.

A aderência da cerâmica estará, então, diretamente ligada ao grau de penetração dos compostos hidratados do cimento no tardo cerâmico, fato que é determinado pelas propriedades de sucção do material e também pelo grau de ancoragem que depende de suas características superficiais, como rugosidade e porosidade. São também de grande importância as características de retenção de água dos materiais cimentantes a fim de que a água retirada destes pela cerâmica não venha a interferir na hidratação do cimento contido nos materiais adesivos.

Assim, o processo de aderência pode ser considerado um fenômeno essencialmente mecânico devido à ancoragem da argamassa ao substrato e depende da associação de três características da interface revestimento / base de aplicação:

1. Resistência de aderência à tração
2. Resistência de aderência ao cisalhamento
3. Extensão da aderência (corresponde à razão entre a área de contato efetivo e a área total possível de ser unida).

Dessa forma, conforme TRISTÃO (1995), o conceito mais usado de aderência é a capacidade da argamassa resistir a tensões normais ou tangenciais ao plano da interface entre camadas, ou seja, é a capacidade mecânica de resistir a esforços normais de tração, ou tangenciais de cisalhamento.

### **2.3 Desempenho dos revestimentos**

Segundo CARASEK (1991), uma das maiores razões de falha no desempenho das argamassas de revestimento está relacionada com a perda ou com a falta de aderência ao substrato. Este conceito pode, no entanto, também ser aplicado a outros materiais de revestimento, como as cerâmicas.

O desempenho satisfatório da ancoragem depende de diversos fatores incidentes na superfície onde o revestimento está assentado. Entre eles, pode-se citar sobrecarga ou processo de fadiga, causado por variações de umidade e temperatura.

Para um desempenho adequado do revestimento cerâmico, não bastará, portanto, entender o fenômeno de aderência e buscar a utilização de adesivos com características desejáveis, visto que outros fatores, além dos citados, como a qualidade do material cimentante, porosidade da cerâmica, formação do tardez e rugosidade da base, trazem grande influência para o desempenho do revestimento cerâmico.

Alguns autores falam ainda, sobre a influencia da mão-de-obra no desempenho dos revestimentos cerâmicos. FIORITO (1994) cita que as partes do revestimento terão maior ou menor grau de aderência em função dos cuidados dispensados pela mão-de-obra na preparação das superfícies que irão receber as camadas subsequentes.

ZHAO e ZHANG (1997) testaram a influência da mão-de-obra sobre a aderência de peças cerâmicas através de ensaios de tração direta. Três variáveis, ou defeitos decorrentes do processo de assentamento por falha da mão-de-obra, foram simulados.

1. Uso de diferentes pressões (pesos) sobre as cerâmicas para sua fixação: reproduz a variabilidade da força aplicada pela mão do assentador ou por objetos usados para o nivelamento e esmagamento dos cordões da argamassa colante, como martelo de borracha, por exemplo.
2. Remoção do adesivo do centro da peça cerâmica, simulando a falta deste durante o assentamento (em alguns casos ocorre a falta de argamassa em algum ponto do tardo da peça cerâmica, seja por aplicação insuficiente de adesivo, ou por empenamento da peça, o que causa o não esmagamento dos cordões de cola durante o processo de assentamento);
3. Exposição do adesivo por diferentes intervalos de tempo: variação do tempo em aberto; simula atividades reais do cotidiano das obras de engenharia, onde normalmente existe uma grande variabilidade do tempo de exposição das argamassas, antes do assentamento das cerâmicas. Isto pode determinar um melhor ou pior desempenho do sistema, devido às características físicas e químicas das argamassas colantes.

Os resultados obtidos demonstram que:

- Quando se reduz o carregamento (pressão insuficiente no assentamento), ocorre uma redução na resistência de aderência;
- Existe uma tendência a redução da aderência proporcional à redução da extensão de adesivo no tardo das cerâmicas;
- O aumento do tempo de exposição da argamassa após o período de espalhamento (em função do tempo recomendado pelos fabricantes) causa uma redução da resistência de aderência.

Em estudo complementar, os autores simularam a influência combinada dos três fatores. Os resultados encontrados confirmam as influências individuais, apresentando valores semelhantes aos encontrados naqueles casos.

GUAN et. al. (1997) <sup>[24]</sup> avaliaram o desempenho de revestimentos cerâmicos em substratos de concreto submetidos a condições climáticas predominantes nas regiões tropicais.

Foram utilizadas, neste trabalho, diferentes tipos de argamassas e consideradas as influências da radiação solar (influência sobre cerâmicas com diferentes colorações),

variação da temperatura, umidade e chuvas incidentes. Para simulação destas condições, utilizaram câmara climática, onde painéis construídos em alvenaria e revestidos com cerâmicas sofreram a influência destas variáveis em diferentes combinações, em conjuntos de 56 e 112 ciclos.

Após, foram feitos os ensaios de aderência à tração (equipamento com aplicação de carga manual) e ensaios de aderência por cisalhamento, onde não houve detalhamento dos procedimentos utilizados, sendo somente citada a utilização de um macaco hidráulico com acionamento manual e leitura de carga feita com célula de carga acoplada em computador.

Os autores observaram que as resistências de aderência das diversas argamassas, medidas pelos ensaios de arrancamento e cisalhamento, foram, de uma maneira geral, maiores que aquelas observadas em painéis não submetidos aos ciclos climáticos.

Com os resultados apresentados pelos autores, não é viável a comparação dos métodos de ensaios. Entretanto, através da associação destes métodos, os autores concluíram que os efeitos climáticos estudados não afetam de forma significativa os revestimentos.

Supõe-se, entretanto, que em uma exposição a uma quantidade maior de ciclos climáticos, os efeitos destes sobre a aderência devem começar a se manifestar, reduzindo as resistências de aderência.

Em trabalho posterior, GUAN et. al. (1997) <sup>[25]</sup> usaram as mesmas variáveis descritas por ZHAO e ZHANG (1997), para avaliação da influência da mão-de-obra. Entretanto, utilizaram uma câmara climática para estudar o efeito do envelhecimento, através de ciclos de temperatura e umidade aplicados nos revestimentos.

No estudo completo, GUAN et. al. (1997) confeccionaram oito painéis idênticos, compostos por três conjuntos de nove peças cerâmicas. Cada conjunto foi assentado com um tipo diferente de argamassa: um com argamassa colante industrializada, outro com argamassa de cimento com polímero e outra com argamassa de cimento e epóxi.

Destes oito painéis, a resistência de aderência das cerâmicas de um deles foi determinada com idade de 28 dias, sendo os outros sete submetidos a conjuntos de 56 ciclos climáticos (em câmara climática) com duração de 3 horas (cada ciclo). Desta forma, ensaiaram painéis com 56, 112, 168, 224, 280, 336 e 392 ciclos.

Estes painéis, após a ciclagem, foram cortados, isolando individualmente cada conjunto de nove peças cerâmicas assentadas com os diferentes tipos de argamassa e a seguir, ensaiados por tração direta e por cisalhamento, conforme indica a Figura 2.3.

O ensaio de cisalhamento utilizado, novamente não foi claramente definido pelos autores.

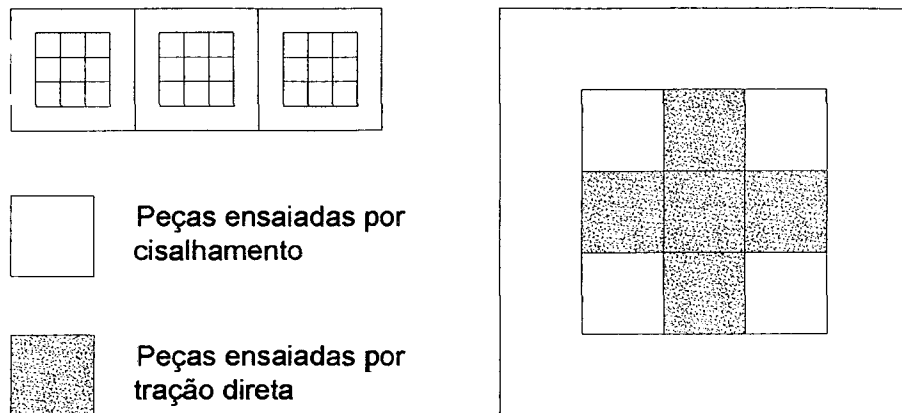


Figura 2.3 - Esquema de painel isolado para ensaio de peças por cisalhamento e tração (GUAN et.al., 1997).

Observaram que apenas a argamassa de cimento obteve uma melhora no desempenho após os processos de ciclagem, justificado segundo os autores por uma melhora no processo de hidratação do cimento devido aos incrementos de temperatura e umidade (Figura 2.4).

A numeração 1 até 4 e 1' até 4' indica a seqüência de montagem dos painéis. Nos quatro primeiros, os autores constataram uma maior dificuldade no processo de assentamento da argamassa com epóxi, por motivo de desconhecimento do material pela pessoa que executou o trabalho. Nos quatro seguintes, os autores perceberam uma melhora no processo de assentamento, a qual foi justificada pelo efeito da aprendizagem.

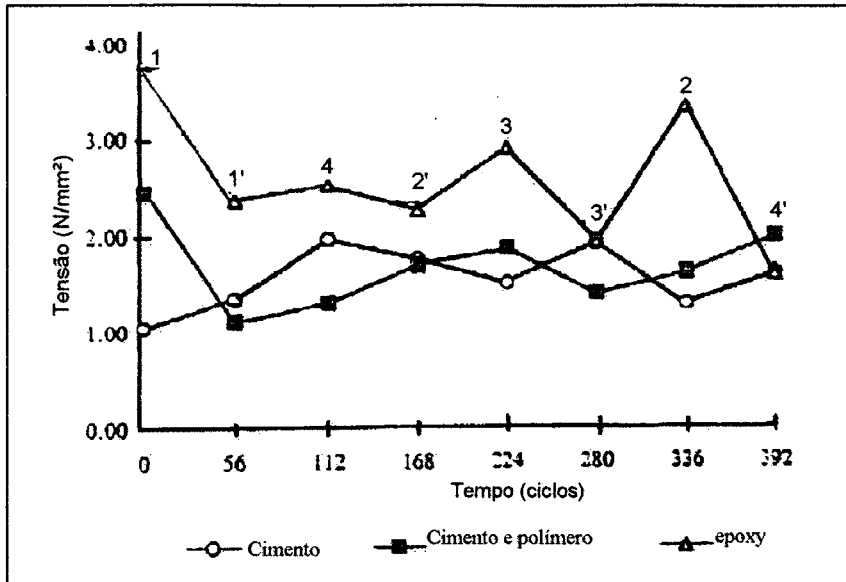


Figura 2.4 – Resistência à tração de peças submetidas a ciclos climáticos.  
(GUAN et. al. 1997)

Nos ensaios de cisalhamento, ocorreu comportamento semelhante, porém com curvas menos acentuadas (Figura 2.5).

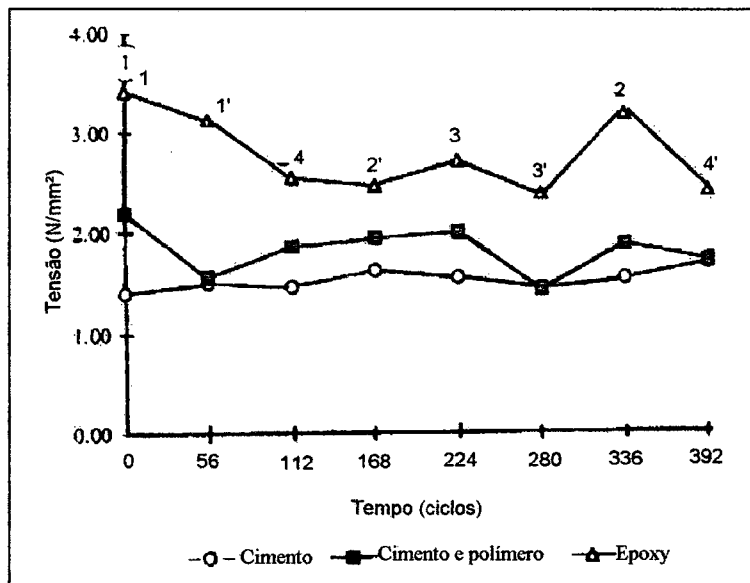


Figura 2.5 – Resistência ao cisalhamento de peças submetidas a ciclos climáticos.  
(GUAN et. al. 1997)

Para a avaliação da influência da mão-de-obra, os painéis foram confeccionados utilizando apenas argamassa com polímero e peças cerâmicas de 10 cm de lado, submetidos a seqüências de 112 e 224 ciclos. Foram testadas as influências do tempo



em aberto, da extensão da aderência e das pressões impressas às peças durante o processo de assentamento.

Para a determinação do tempo em aberto, foram seguidas as informações do fabricante do produto e, posteriormente, ensaiadas com tempos relativos a 16%, 50%, 100%, 150% e 200% daquele tempo determinado. Os resultados são demonstrados na Figura 2.6, onde se pode observar a redução da resistência de aderência, tanto para o aumento do tempo em aberto, como para o aumento do número de ciclos climáticos.

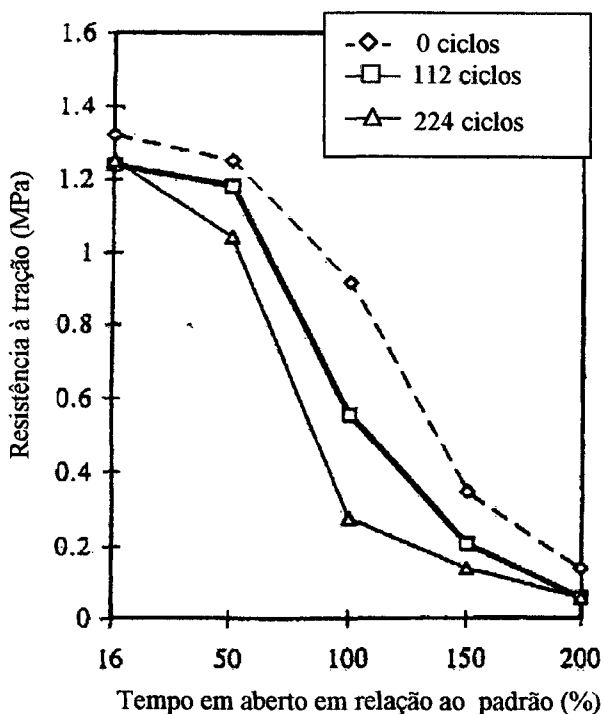


Figura 2.6 – Resistência à tração de ciclos climáticos e variação do tempo em aberto (GUAN et al. 1997).

No ensaio de extensão da aderência foram confeccionadas peças com redução de 10% até 60% da cobertura do tardez com argamassa. Nestas condições, os resultados apresentam-se também com redução significativa da resistência à medida que se reduz a extensão da aderência e aumenta-se o número de ciclos (Figura 2.7).

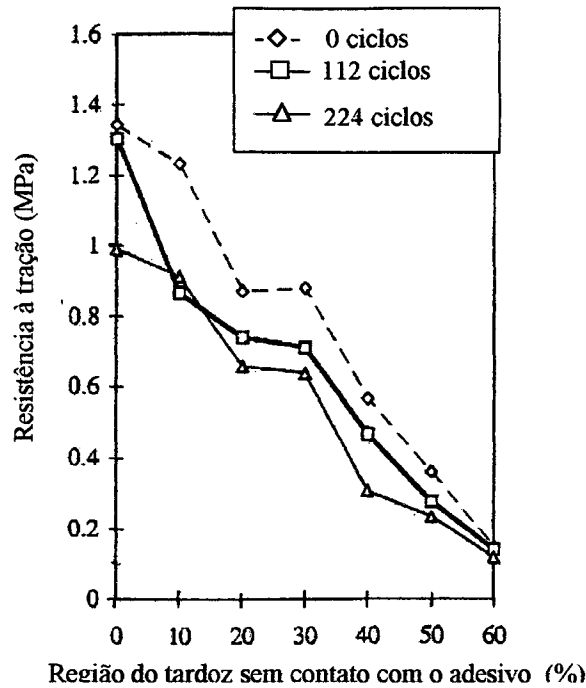


Figura 2.7 – Resistência à tração com influência de ciclos climáticos e variação da extensão de aderência (GUAN et al. 1997).

Nos ensaios onde foi variada a pressão exercida para a fixação da cerâmica, com procedimento semelhante ao descrito por ZHAO e ZHANG (1997), os autores observaram, também, a ocorrência de redução da aderência de forma semelhante ao apresentado pelas outras influências (Figura 2.8).

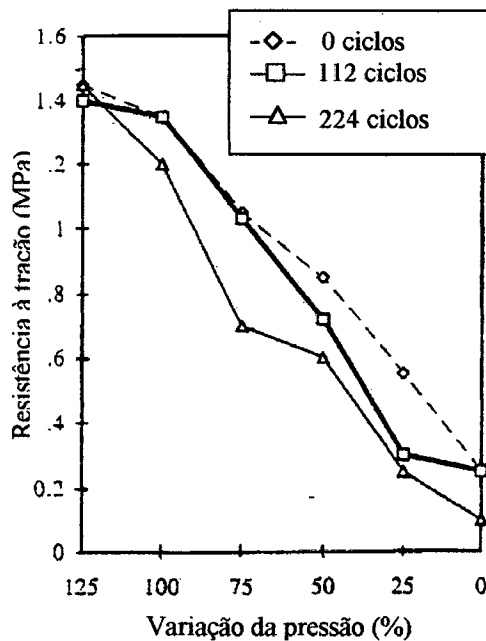


Figura 2.8 – Resistência à tração com influência de ciclos climáticos e variação da pressão exercida durante o assentamento (GUAN et al. 1997).

Fica também, comprovada, de acordo com o trabalho apresentado por GUAN et al. (1997), a influência da qualidade da mão-de-obra no desempenho dos revestimentos cerâmicos, que é, segundo os autores, drástica quando associada às influências climáticas.

Por outro lado, além da mão-de-obra, o próprio sistema de revestimento cerâmico usual, pelas suas características de sistema compósito, contribui para o surgimento de tensões que tendem a separar as camadas de revestimento.

Como as camadas estão ligadas entre si, através do fenômeno da aderência, qualquer deformação manifestada numa destas camadas será transferida para as outras subseqüentes, resultando em tensões atuantes nas interfaces dos materiais (zonas de aderência). Estas tensões podem se manifestar de diversas formas.

## **2.4 Tensões impostas aos revestimentos**

O sistema de revestimento cerâmico composto, como descrito anteriormente, por base ou substrato, emboço, adesivo e cerâmica, tem um conjunto heterogêneo de materiais. Este sistema sofre diversas influências que poderão afetar seu desempenho, sendo as principais: fatores climáticos, movimentações estruturais e fatores relacionados com a forma de assentamento e condições de uso do local.

Um sistema completo e usual de uma alvenaria revestida com materiais cerâmicos pode ser visualizado na Figura 2.9.

Como pode ser observado, considerando-se a existência de chapisco nas duas faces da parede, existem oito camadas de diferentes materiais, com diferentes espessuras e distintas propriedades. Estes materiais poderão sofrer maior ou menor influência das variações climáticas, dependendo da posição em que se encontram no sistema, ou seja, mais próximos à face interna da habitação ou mais próximos à face externa. Neste último caso, o sistema estará também sujeito a ações de incidência de chuva, radiação solar direta e variações bruscas de temperatura.

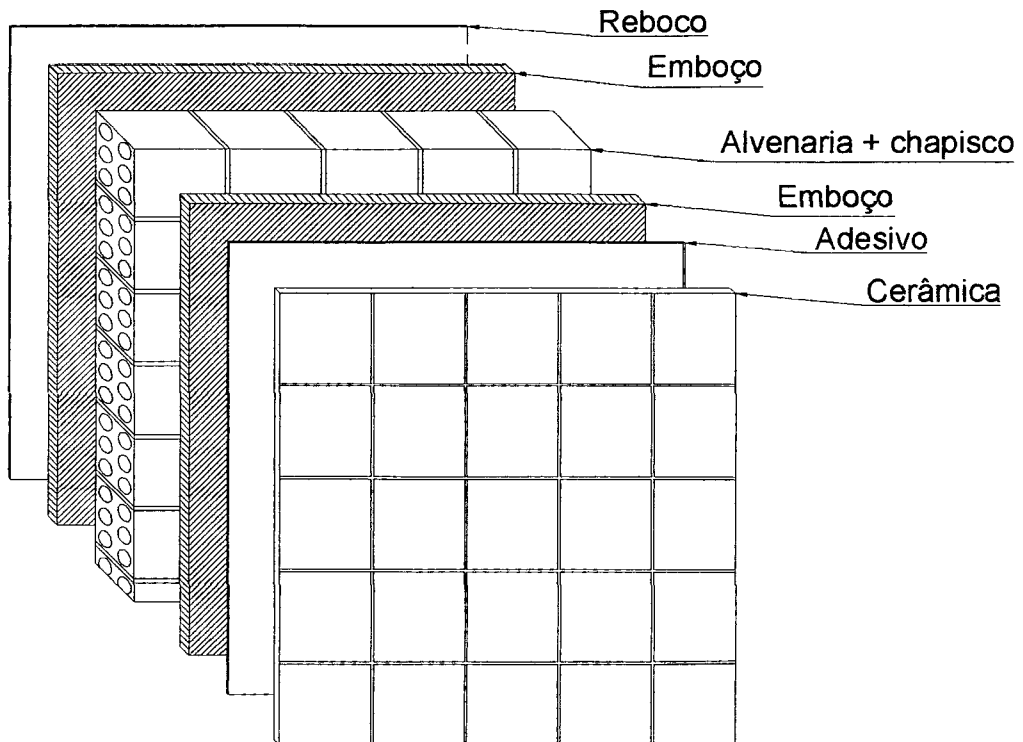


Figura 2.9 – Sistema usual de revestimentos cerâmicos.

De forma geral, a tendência destes materiais, sob as ações a eles impostas, é a de sofrerem movimentações que irão atuar no sentido de provocar descolamentos e produzir fissurações, com diferentes níveis de intensidade, conforme as características do material e grau de exposição a agentes agressivos.

As camadas de diferentes materiais que compõem o sistema cerâmico apresentam variadas resistências, módulos de elasticidade, capacidades de deformação e coeficientes de dilatação térmica e, quando expostas às ações externas, irão determinar variações dimensionais do conjunto. As variações de temperatura produzem deformações diferenciais entre as camadas que, impedidas pela ligação das interfaces, levam ao surgimento de tensões. Estas tensões poderão causar o aparecimento de fissuras internamente em cada material e nas interfaces de aderência entre as diversas camadas.

As fissuras, no entanto não se limitam somente a origens térmicas. Segundo DOMINGUES (1993), somam-se a estas, as origens mecânicas, higroscópicas e químicas.

Entretanto, em uma situação idealizada, a fissuração pode ser evitada caso os materiais que compõem um sistema construtivo tenham a tendência a se deformar numa mesma ordem de grandeza pois, desta forma, não haverá deformações diferenciais e

não surgirão tensões nas interfaces. Assim, o movimento do conjunto não irá afetar a durabilidade da edificação. Caso contrário, existindo uma desarmonia entre os materiais (situação real), será praticamente impossível evitar a influência de solicitações externas na durabilidade do sistema.

Ainda sobre fissuras, CINCOTTO et al (1995), explicam que a ocorrência das mesmas “decorre da elasticidade e resistência à tração inadequada diante das tensões de tração resultantes da retração de secagem, retração térmica ou ações externas ao revestimento”.

Os autores complementam, explicando que “a resistência ao cisalhamento da interface base/argamassa condiciona o espaçamento entre fissuras, sendo que diante do aumento desse espaçamento, cresce o risco de descolamento”.

## 2.5 Causas de separação das camadas de revestimento

O destacamento das peças cerâmicas irá ocorrer, segundo CARRIO (1993)<sup>[15]</sup>, quando as movimentações romperem as ligações físicas produzidas pelo fenômeno de aderência, tanto por tensões de tração, como por esforço de cisalhamento.

PINTO (1996) descreve como causas principais da separação entre as camadas do revestimento os seguintes fatores:

1. Variação de temperatura interna e externa entre os elementos componentes do revestimento;
2. Retração hidráulica das argamassas de fixação ou de regularização;
3. Variação da umidade relativa do ar;
4. Existência de sobrecargas, inclusive com vibrações de baixa frequência.

Pode-se acrescentar o recalque das fundações às causas de perda de desempenho dos revestimentos, a expansão por umidade (movimento irreversível) e, ainda, conforme CINCOTTO et al (1995) “movimentos higroscópicos diferenciados entre as várias camadas gerando tensões de cisalhamento na interface”.

Supõe-se que os fatores acima descritos agem sobre os revestimentos ao longo do tempo, podendo causar uma redução das forças de aderência por ação da ruptura gradual das ligações entre as camadas, com posterior propagação de trincas e destacamento dos revestimentos cerâmicos.

Movimentações diferenciais nas diversas interfaces do sistema construtivo podem surgir pelas várias causas acima citadas, as quais podem atuar isoladas, combinadas simultaneamente ou sucessivamente, e geram tensões no sentido de separar uma camada da camada seguinte, pelo efeito de cisalhamento nas interfaces.

### **2.5.1 Expansão por Umidade (EPU)**

A produção das cerâmicas passa por um processo de queima a altas temperaturas, o que determina um baixo teor de umidade para as peças recém produzidas. No instante em que são retiradas do forno, entrando em contato com o ambiente externo, estas começarão a absorver umidade de forma gradual, ocorrendo uma expansão rápida nos primeiros dias e de forma lenta e reduzida em idades avançadas, podendo durar, diversos anos.

A expansão por umidade será menor para cerâmicas com absorção reduzida, podendo ser nula em alguns casos. A expansão, segundo HOSKING e HUEBER, citados por FIORITO (1994) varia normalmente entre 0,03 a 0,07 % após 2 anos de exposição ao ar.

Esta expansão irá gerar tensões na interface de aderência da cerâmica com a argamassa adesiva ao longo dos anos e, dependendo das características do sistema e dos materiais (resistência de aderência, porosidade, etc.) poderá determinar sua perda de eficiência que, associado a outros fatores, causará o desprendimento da peça.

### **2.5.2 Retração Hidráulica**

Durante o processo de endurecimento das argamassas em ambientes com umidade inferior a 100% ocorre o processo de retração hidráulica, que tem papel fundamental no desempenho da argamassa no estado endurecido.

De forma geral, a retração gera tensões internas que, quando superam a resistência à tração do material, produzem fissuras que facilitarão a penetração de umidade, favorecendo sua expansão por movimentação higroscópica.

O processo de retração é também influenciado pelos materiais utilizados na argamassa, podendo variar segundo o tipo e teor de aglomerantes e quantidade de água

da mistura, entre outros. RAGSDALE e RAYNHAM, citados por CINCOTTO (1995), complementam informando que a retração poderá variar de acordo com as características da areia, entre 0,04% e 0,11%.

Segundo TROXELL et al, citados por METHA & MONTEIRO (1994) houve a constatação através de estudos em concretos com diversas dosagens, tipos de agregados e condições ambientais que, tomando como referência um período de utilização destes concretos igual a 20 anos, 20 a 35% da retração total aconteceu em 2 semanas, 50 a 60% em 3 meses e 75 a 80% em 1 ano.

Normalmente, no processo construtivo convencional, o revestimento cerâmico é aplicado sobre argamassas que estão em processo de retração. A norma técnica NBR 7200 recomenda que sejam aguardados 21 dias antes da execução de camadas de acabamento decorativo sobre a camada de emboço, o que pode resultar em tensões na interface de aderência devido aos efeitos de retração.

Sabe-se, entretanto, que a eliminação da retração dos materiais cimentantes né praticamente inviável. Por outro lado, as fissuras geradas por retração podem ser minimizadas com a utilização de sistema de cura adequado ou com a adição de materiais inibidores deste processo, como a cal em argamassas. Ainda, a utilização de granulometria adequada dos agregados ajudará a limitar a retração.

É fato, porém, que esta tendência de movimentação das argamassas por meio da retração gera movimentações diferenciais em relação às cerâmicas de revestimento. Existindo deformações diferenciais entre as camadas de revestimento, surgem tensões de cisalhamento nas interfaces de aderência dos materiais.

### **2.5.3 Movimentos da camada de suporte**

Define-se camada de suporte como a superfície na qual está assente o revestimento cerâmico.

A movimentação do suporte pode ocorrer por diversos motivos, entre os quais, movimento estrutural por efeito de incorreto dimensionamento de pilares, vigas ou fundações e movimentação por efeitos térmicos, efeitos de vento, entre outros (figura 2.10).

A movimentação estrutural, como em casos de recalque diferencial de fundações, poderá produzir esforços em toda a estrutura. Estes esforços podem causar

tensões nas paredes que provoquem separação dos componentes do sistema de revestimento. (Figura 2.11)



Figura 2.10 - Esquema de tensões de cisalhamento impostas ao revestimento devido às movimentações da camada de suporte (CARRIO, 1993) <sup>[15]</sup>

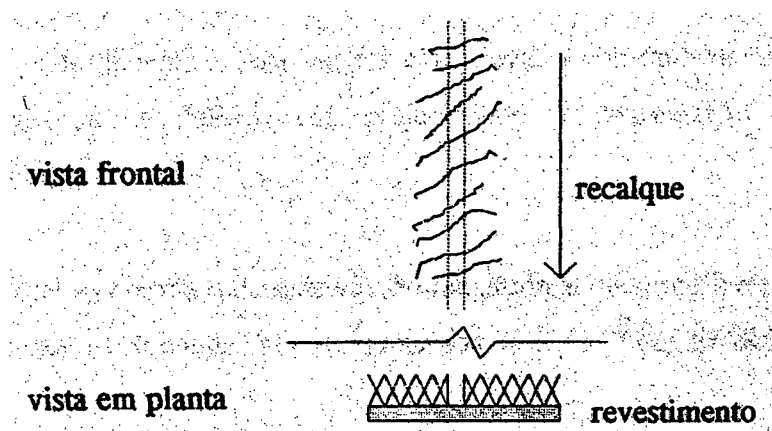


Figura 2.11- Fissuras por esforços de tração, decorrentes do cisalhamento de um revestimento aplicado sobre uma junta de assentamento (JOISEL, 1981)

#### 2.5.4 Sobrecargas

Conforme SOUZA e RIPPER (1998), as sobrecargas podem ser consideradas quando, apesar de os projetos terem sido desenvolvidos com corretas considerações de carregamentos e em função das recomendações de Normas Técnicas, as estruturas são submetidas a sobrecargas superiores às de projeto. Como exemplo destas situações, os autores citam os casos de mudança de propósito funcional de edifícios ou substituição de máquinas ou equipamentos por outros de maior peso.

De maneira simplificada, qualquer carregamento produz movimentações estruturais. Porém, o excesso de cargas não previstas sobre uma estrutura poderá gerar deformações nas estruturas, em ordem de grandeza superior ao previsto em cálculo. Em



algumas situações, estas deformações se transferem para as alvenarias gerando tensões que podem atuar de forma isolada, em pontos do revestimento ou distribuída em toda a extensão do mesmo.

Nestas situações, podem ocorrer pequenos esmagamentos na alvenaria (argamassa de assentamento ou bloco) e na camada de emboço, gerando tensões diferenciais na interface de aderência argamassa-cerâmica, devido, principalmente, à grande diferença dos módulos de elasticidade destes materiais. As tensões atuantes neste caso são, também, de origem cisalhante.

### 2.5.5 Ação da temperatura

Sob a ação de acréscimo ou decréscimo de temperatura, os materiais que compõe o sistema de revestimento cerâmico sofrem efeitos de dilatação e contração, respectivamente.

As tensões geradas por movimentações diferenciais e os efeitos destas nos revestimentos cerâmicos por efeito da temperatura foram estudados por diversos pesquisadores. YOSHIKAWA e LITVAN (1984) investigaram e demonstraram a existência de deformações diferenciais no sistema cerâmico, as quais, por sua vez, também geram tensões diferenciais na interface dos materiais. Segundo GUAN et al. (1997) <sup>[24]</sup>, os fatores climáticos são causadores de substancial degradação de materiais e componentes da construção, especialmente daqueles posicionados no exterior da edificação.

Em regiões de clima tropical, os efeitos da degradação são mais acentuados. A maior parte dos desprendimentos dos revestimentos cerâmicos, sobretudo em fachadas, pode ser atribuída às variações climáticas intensas, sobretudo de temperatura, que ocorrem durante um mesmo dia.

Conforme visualizado na Figura 2.9, o sistema de revestimento cerâmico é composto por diversas camadas de materiais, com diferentes propriedades físicas. Assim, sob a incidência do calor em uma parede, ocorrerá uma tendência a variações volumétricas diferenciais entre cada camada do sistema que se encontra restringido pela aderência do conjunto, gerando tensões diferenciais nas interfaces. A ordem de grandeza destas deformações está relacionada com o coeficiente de dilatação ou

contração térmica de cada componente. Por sua vez, as tensões geradas dependem ainda do módulo de elasticidade, coeficiente de Poisson e grau de aderência nas interfaces.

As argamassas podem apresentar um coeficiente de dilatação térmica na ordem de duas vezes ao dos revestimentos cerâmicos. ROMAN et al (2000) apresentam valores de  $4,6 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  para cerâmicas de revestimento e  $10 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  para as argamassas. Esses valores, no entanto, variam em função da extensa gama de materiais utilizados no Brasil, tanto para as argamassas, como para os tijolos e cerâmicas de revestimento.

Estas diferenças entre os valores do coeficiente de dilatação térmica podem trazer problemas aos sistemas de revestimentos devido ao efeito de variação volumétrica diferencial dos materiais, sobretudo nas regiões em que ocorrem variações bruscas de temperatura, o que acentua os efeitos de dilatação e contração térmica. Em algumas regiões, principalmente no sul do país, estas variações bruscas de temperatura são bastante frequentes, tendo sido constatadas variações de até  $23,2 \text{ } ^\circ\text{C}$  na temperatura do ar em um mesmo dia (GOULART et al, 1996).

CARRIO (1993) <sup>[15]</sup> explica que os esforços oriundos de movimentações geradas por dilatações ou contrações térmicas do revestimento e movimentos elásticos da camada de suporte podem chegar a ser superiores à resistência ao esforço de cisalhamento das interfaces, causando o seu rompimento e facilitando, assim, o seu desprendimento.

É importante salientar que durante a vida útil do revestimento, com o passar dos anos, aumenta a probabilidade de ocorrência de desprendimentos das cerâmicas, mesmo em locais onde tal problema ainda não tenha sido observado. Isto se deve ao processo de fadiga lenta e gradual decorrente das movimentações do sistema que poderá causar trincas dentro das argamassas, tanto do emboço como da argamassa adesiva, possibilitando que, num processo de variação brusca de temperatura, ocorra o descolamento do revestimento com a aderência já enfraquecida.

De maneira simplificada, a ação da temperatura no sistema cerâmico ocorre da seguinte forma:

Durante o processo de aquecimento de um material ocorre a expansão do mesmo, de acordo com as suas características físicas, conforme ilustra a Figura 2.12.

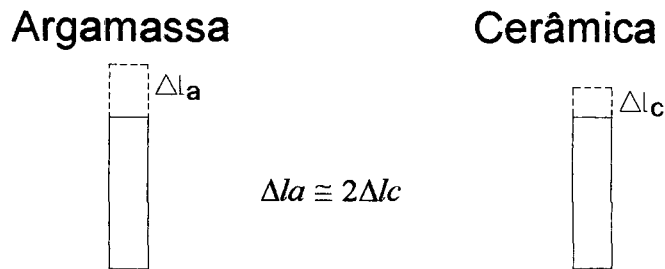


Figura 2.12 – Expansão de diferentes materiais, sob ação de calor

Observa-se que para os materiais isolados e livres, sob uma mesma variação de temperatura, ocorrerá, em um mesmo intervalo de tempo, uma maior dilatação da argamassa, comparativamente à cerâmica, o mesmo ocorrendo no processo de resfriamento (contração). Ocorrem, ainda, dentro de um mesmo material, deformações diferenciais devido ao gradiente térmico no interior do mesmo, como demonstra a Figura 2.13.

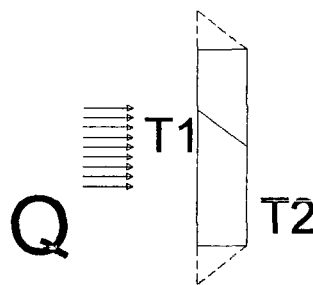


Figura 2.13 – Deformação diferencial devido ao gradiente térmico no interior de um único material

Quando se analisa o sistema de revestimento cerâmico com um todo, as deformações isoladas, conforme apresentados na Figura 2.12 estão restringidas pela aderência mecânica entre os materiais.

Neste caso, pelo efeito das restrições de movimentos impostas pela aderência das camadas, surgem tensões de cisalhamento nas interfaces do conjunto.

Analisando-se o conjunto de forma simplificada, têm-se as seguintes situações:

Considerando-se que nas interfaces dos componentes do sistema de revestimento cerâmico existe uma igualdade de temperatura para os materiais que compõem esta região (Figura 2.14). Surgem tensões cisalhantes, durante o aquecimento, pela maior tendência de deformação da argamassa em relação à cerâmica, para uma mesma temperatura incidente em um mesmo intervalo de tempo. Isto pode ser explicado pelo

maior coeficiente de dilatação térmica da argamassa e pela grande diferença dos módulos de elasticidade destes materiais.

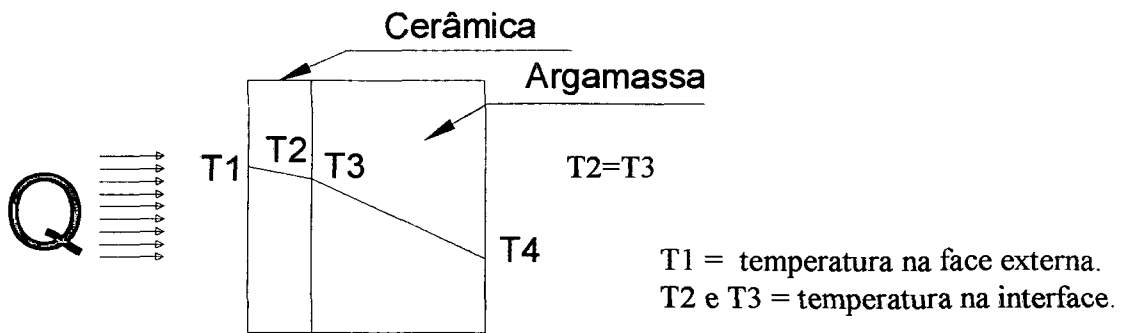


Figura 2.14 – Esquema de variação de temperatura entre as camadas do revestimento cerâmico.

Entretanto, o maior nível de tensões surgirá durante o processo de resfriamento, (Figura 2.15), visto que a argamassa tenderá a atingir sua dimensão inicial (anterior ao aquecimento) em tempo diferente ao que a cerâmica leva para atingir esta mesma dimensão. Por outro lado, estando os dois materiais aderidos, haverá uma mesma deformação para ambos, sobrepondo a tendência de deformações diferentes na interface de aderência, gerando, como consequência, tensões de cisalhamento. Os ciclos de aquecimento e resfriamento geram então, o enfraquecimento gradual das ligações mecânicas de aderência, facilitando a ruptura e queda das cerâmicas por efeito de fadiga. Poderão também surgir tensões de compressão quando as juntas do revestimento cerâmico estiverem mal dimensionadas e/ou o rejunte for demasiadamente rígido para permitir a acomodação das peças durante o processo de movimentação térmica.

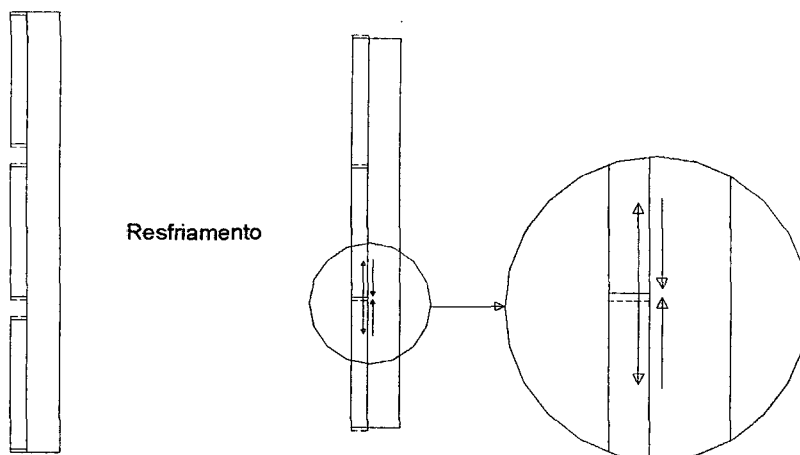


Figura 2.15 – Tensões e deformações durante um processo simplificado de contração em um sistema de revestimento cerâmico.

Observa-se ainda que, com igual importância, deve ser citado o efeito do choque térmico, o qual ocorre basicamente sob duas situações:

1. Em épocas onde se tem um longo período de frio (normalmente à noite) incidente em todo o sistema, seguido de uma forte incidência de fonte de calor,
2. A situação inversa, onde após um dia de forte calor, a temperatura cai rapidamente, como em casos de resfriamento brusco das superfícies pela ação da incidência de chuvas.

Essas situações podem gerar, devido às propriedades dos materiais, tensões de cisalhamento nas interfaces e tração no ponto de encontro de peças cerâmicas adjacentes, gerando tensões semelhantes ao apresentado na Figura 2.15, resultando em situações de descolamento do revestimento, conforme está ilustrado na Figura 2.16.

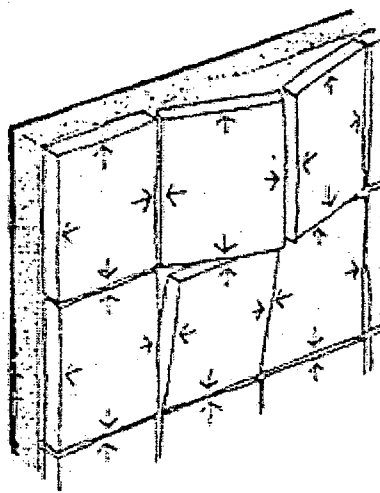


Figura 2.16 - Efeito da expansão e contração térmica em um sistema de revestimento cerâmico (CARRIO, 1993)<sup>[15]</sup>

NANIWA et. al. (1994), citados por BOWMAN e BANKS (1996) estudaram, pelo método de elementos finitos, a distribuição de tensões causadas por movimentações diferenciais em paredes externas revestidas com cerâmicas submetidas a ciclos de temperatura e umidade, e observaram a existência de tensões de cisalhamento nas interfaces do sistema estudado.

Entretanto, no sistema cerâmico não surgem tensões puras de cisalhamento e sim uma associação de esforços de tração e cisalhamento, conforme estudo apresentado por BOWMAN e BANKS (1996).

Em estudo feito através do método de elementos finitos por ROMAN et.al. (2000), simulando a incidência de variação climática em painéis de alvenaria revestidos

com peças cerâmicas, através de ciclos térmicos aplicados por câmara climática na superfície revestida, foram analisadas as tensões impostas à este sistema sob as ações de variação de temperatura e umidade. Nesse estudo, foi demonstrado que, durante o processo de variação térmica, surgem tensões de cisalhamento nas interfaces do sistema de revestimento. Segundo esse estudo, essas tensões estão associadas a tensões de tração, concentrados nas extremidades das peças cerâmicas próximos ao rejunte.

Observa-se então que, no sistema de revestimento cerâmico, normalmente surgem tensões de cisalhamento quando a ele são impostas ações de caráter interno ou externo. Associam-se a esta, tensões de tração.

As tensões que ocorrem no sistema de revestimento cerâmico levam à conclusão de que as tensões de cisalhamento devidas às movimentações diferenciais entre o revestimento cerâmico e a camada de suporte podem ser a principal causa do enfraquecimento da aderência dos revestimentos. Sendo assim, é importante o estudo e desenvolvimento de um método de ensaio para análise da aderência deste sistema construtivo.

## 2.6 Ensaio de aderência

No Brasil, a normalização vigente determina a avaliação da aderência dos revestimentos cerâmicos unicamente através de ensaios de tração direta, fato que se reflete no uso deste método de ensaio nas pesquisas desta área.

De forma semelhante, em outros países, a avaliação da aderência é também feita através de ensaios de aderência à tração. Entretanto, existem algumas normas que especificam a realização de ensaios por métodos de cisalhamento.

Os diversos ensaios de aderência por tração apresentam-se de forma semelhante, tanto em normas estrangeiras, como na brasileira, variando basicamente a forma e dimensões dos corpos-de-prova, número de ensaios e velocidade de aplicação da carga.

De acordo com a normalização brasileira, o ensaio de aderência por tração direta consiste na colagem de pastilhas metálicas sobre peças cerâmicas que, posteriormente, são arrancadas com dispositivo de ensaio que permita um controle da velocidade de aplicação da carga.

Segundo a norma brasileira, NBR 14084/98, “os ensaios de aderência devem ser executados em substratos padrão de concreto e as cerâmicas a serem testadas devem ter

superfície quadrada de lado igual a  $50 \pm 5$  mm". O arrancamento da peça cerâmica deve ser executado com dispositivo de ensaio similar ao da Figura 2.17, que permita uma velocidade de aplicação de carga uniforme de  $250 \pm 50$  N/s, até a ruptura.

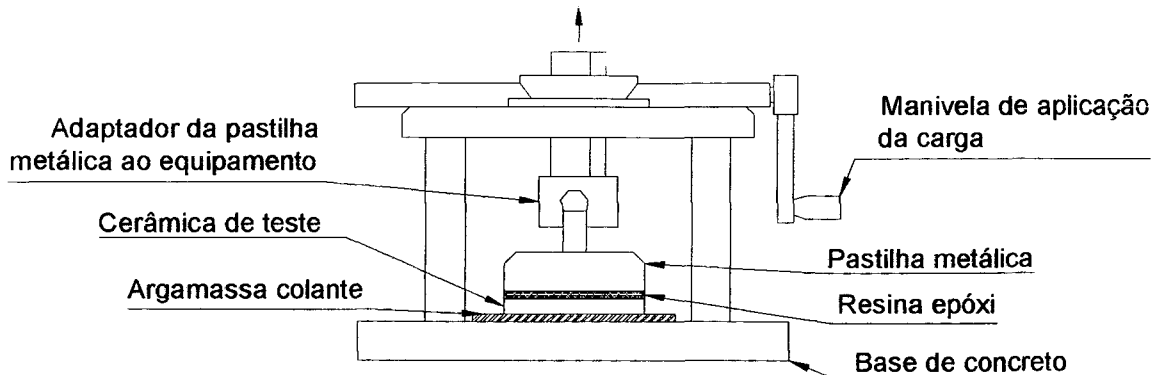


Figura 2.17 – Esquema do dispositivo para aplicação de carga, pelo processo manual, para ensaios de arrancamento.

A norma brasileira prevê, ainda, que deve ser executado o arrancamento de um número de 10 peças cerâmicas para cada série de ensaios, e que os resultados com afastamento maior que 20% da resistência média devem ser descartados.

Esse ensaio, entretanto, apresenta grandes dispersões de resultados, gerando alto coeficiente de variação. Em análise feita por CARASEK (1991), os coeficientes de variação dos ensaios de arrancamento ficaram em torno de 23%, necessitando, segundo suas conclusões, para uma amostra significativa, um número mínimo de doze corpos-de-prova para possibilitar o descarte dos valores que se afastem da média em mais de 20% e para que se tenha garantia de um número final de, no mínimo, cinco corpos-de-prova, exigidos pela norma técnica.

Em estudo semelhante, CARASEK e SELMO (1993), encontraram um coeficiente de variação na ordem de 26,6%, onde pela análise estatística não tendo sido constatados valores espúrios, e a distribuição foi considerada normal. Determinou-se, neste estudo, nas mesmas condições do anterior, um tamanho mínimo de quinze ensaios para que a amostra pudesse ser considerada significativa.

Para revestimentos cerâmicos, LORDSLEMM Jr. et. al. (1997), estudaram a aderência pelo método de tração direta (arrancamento), utilizando vários tipos de argamassas e diferentes tipos de cerâmicas. Obtiveram grande dispersão de resultados e coeficiente de variação desde 8% até 63%, com predominância da faixa entre 20 e 30%.

Esta variabilidade pode ser justificada na medida em que, como explicado pelos autores, foi utilizada grande quantidade de variáveis no estudo.

Conforme NANNI (1981), se os dados de uma amostra apresentarem um coeficiente de variação maior ou igual a 25%, a qualidade desta é considerada duvidosa. Entretanto, esta alta variabilidade é perfeitamente justificável, em função da ruptura das argamassas, quando solicitadas à tração, ser do tipo frágil.

A aceitação deste método de ensaio, apesar da alta variabilidade de resultados pode ser justificada pelo grande número de variáveis intervenientes no processo. Conforme explicam CARASEK E SELMO (1993), “a resistência de aderência é a medida da interação entre a argamassa e o substrato, dependendo assim, das características da argamassa, das propriedades do substrato (muito variável para um mesmo tipo de componente de alvenaria) e do processo de aplicação da carga”.

## **2.7 Resistência de aderência ao cisalhamento**

Conforme demonstrado nos itens 2.4 e 2.5, as principais tensões atuantes nos sistema de revestimento cerâmico, as quais irão gerar seu enfraquecimento e eventuais desprendimentos de peças, são de cisalhamento.

Desta forma, percebe-se que pode ser importante o estudo do cisalhamento para a compreensão do fenômeno da aderência e avaliação do desempenho das argamassas colantes rotineiramente utilizadas para a fixação das peças.

Apesar da grande importância destas tensões no desempenho deste sistema construtivo, são poucos os métodos normalizados para ensaio de aderência dos revestimentos cerâmicos pelo método de cisalhamento.

No Brasil não existe normalização que regulamente este tipo de ensaio.

Por outro lado, algumas normas internacionais tratam deste assunto, tendo como princípios, diferentes sistemas de montagem dos corpos-de-prova e variados métodos de aplicação de carga.

Observa-se, entretanto, que o ensaio de aderência por cisalhamento é tecnicamente difícil, visto que a obtenção de tensões puras de corte, facilmente visualizada pela teoria, não é de simples reprodução prática.

Deve-se então buscar alternativas que visem uma aproximação de uma situação ideal, procurando-se eliminar, sempre que possível, quaisquer variáveis que possam



intervir nos resultados dos ensaios, como concentração de tensões, variação de velocidade na aplicação de carga, torção, entre outras, a serem discutidas mais detalhadamente neste trabalho.

As principais especificações de ensaios de cisalhamento, encontradas na literatura, são descritas a seguir:

### 2.7.1 ASTM C482-81 - Método de ensaio para determinação da tensão de aderência de argamassas de cimento Portland para revestimentos cerâmicos.

Esta norma americana determina a construção de um substrato de argamassa, sobre o qual será colada a cerâmica de teste. A Figura 2.18 apresenta o dispositivo proposto para o ensaio.

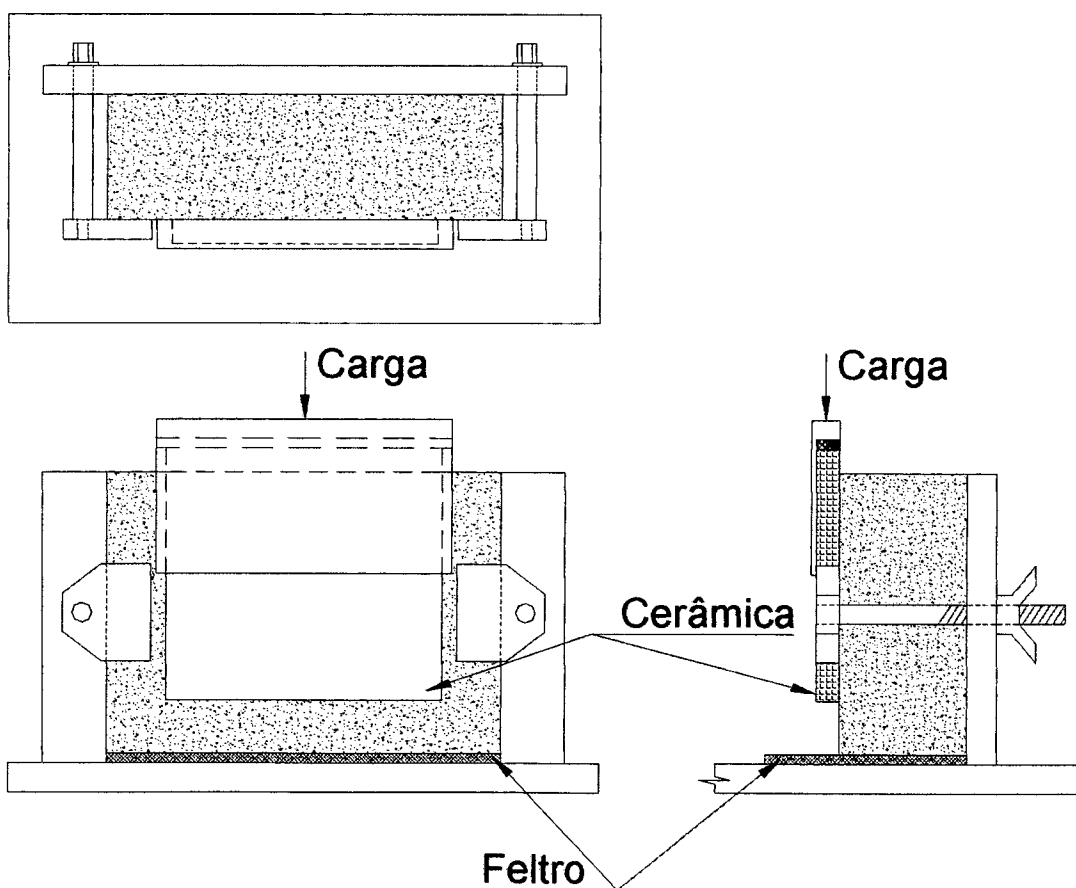


Figura 2.18 – Dispositivo de ensaio proposto pela ASTM C482-81

A norma permite uma variação do tamanho da cerâmica a ser ensaiada, a qual, no entanto, deverá ter face quadrada. O número de peças a serem ensaiadas é relacionado com o tamanho da face do corpo de prova, conforme a tabela 2.2.

Tabela 2.2 - número de cerâmicas por ensaio - fonte ASTM C482-81

Dimensões da face da cerâmica		
Maior que (mm)	Não maior que (mm)	Nº de peças por ensaio
.....	25	20
25	38	15
38	57	10
57	.....	5

A aplicação da carga se dá através de um dispositivo hidráulico, que permita um controle da velocidade de carregamento na ordem de  $1,4 \pm 0,1$  MPa/min, com precisão de  $\pm 1\%$ .

Este método de um ensaio utiliza para cada teste, um substrato diferente, ou seja, em cada substrato será moldado um corpo de prova. Esta característica pode configurar significativa dispersão de resultados, devido à prováveis diferenças existentes no processo de fabricação de cada substrato, não vindo a avaliar corretamente o potencial de aderência da cerâmica ou do adesivo testado.

O método de aplicação de carga se dá por compressão do conjunto, tendo como ponto de aplicação da carga, o topo da cerâmica e como reação, a base do substrato. Neste processo de carregamento, utiliza-se como rótula, o mesmo dispositivo utilizado nos ensaios de compressão axial. Outra deficiência deste tipo de ensaio está na possibilidade de ocorrência de algum desvio do paralelismo entre a cerâmica de teste e o substrato, e o conseqüente surgimento de tensões de tração ou compressão, conforme esquema da Figura 2.19, gerando dispersões de resultados.

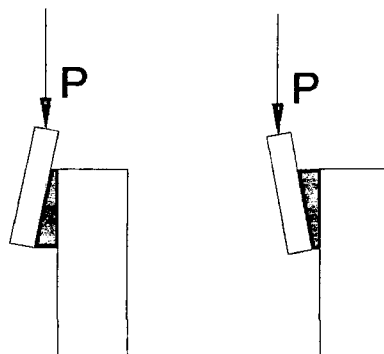


Figura 2.19 – Esquema de desvios na moldagem dos corpos de prova

Podem ainda surgir torções durante o processo de ensaio, à medida que a carga começa a ser aplicada, devido a pequenas acomodações da argamassa colante, gerando ou aumentando a excentricidade do sistema, podendo também causar dispersão de resultados.

### 2.7.2 MR-14 "Determinação da resistência de revestimentos pelo método de cisalhamento"

Esta norma estabelece um método de ensaio que foi desenvolvido inicialmente para ensaios de aderência ao cisalhamento de argamassas coladas sobre o tipo de substrato no qual esta será aplicada. Originalmente, são utilizadas duas chapas metálicas nas faces externas do dispositivo, montado conforme a Figura 2.20, as quais podem ser substituídas por duas peças cerâmicas de iguais dimensões, adaptando-o a este sistema de revestimento.

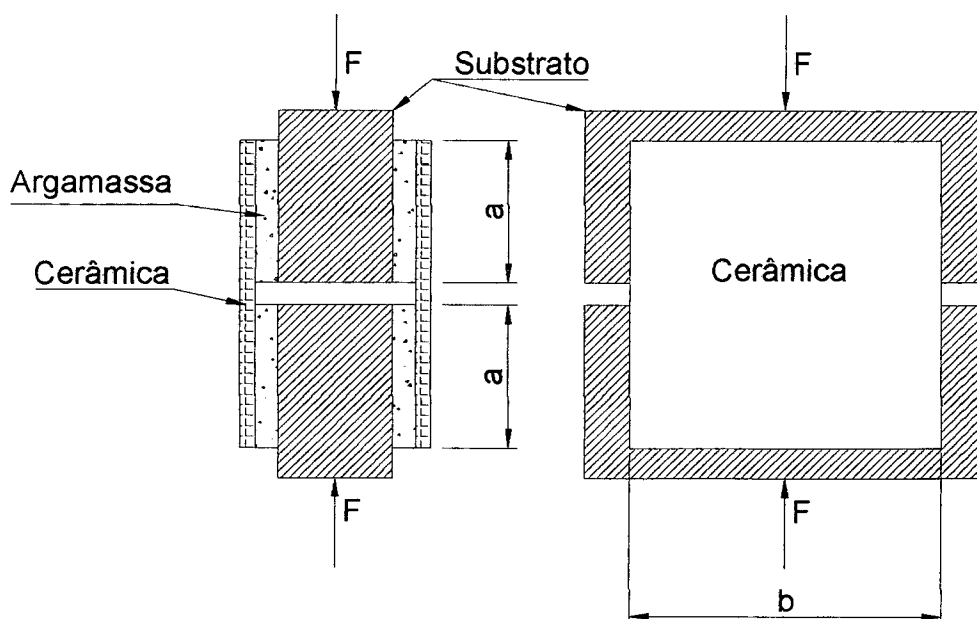


Figura 2.20 - Esquema do ensaio de cisalhamento por compressão proposto pela RILEM (1982) MR-14

O ensaio considera que a tensão é igualmente distribuída em ambas as faces do dispositivo e a carga é aplicada centradamente.

A tensão de cisalhamento será então calculada pela equação 2.

$$S = \frac{F}{2b} (N/mm) \quad (1)$$

$$\tau = \frac{S}{2a} (N/mm^2) \quad (2)$$

Onde:

$F$  = carga aplicada no ensaio em N;

$b$  = aresta inferior da peça cerâmica em mm;

$a$  = aresta lateral da peça cerâmica em mm;

$\tau$  = resistência ao cisalhamento em  $N/mm^2$ ;

$S$  = carga linear aplicada em cada face do substrato.

Observa-se, no entanto, grande dificuldade de construção do sistema, de forma que as quatro superfícies do tardo das cerâmicas sejam mantidas paralelas com a superfície do substrato após o processo de colagem, sendo grande a probabilidade de ocorrência de imperfeições desta condição.

Ocorrendo esta falta de paralelismo, haverá um erro na tensão máxima de cisalhamento calculada pela equação 2. De forma mais específica, o ensaio determina a tensão de cisalhamento de uma das quatro superfícies, caracterizada como a de menor aderência, com o maior número de falhas de execução, maior concentração de tensões ou pela associação de dois ou mais destes fatores.

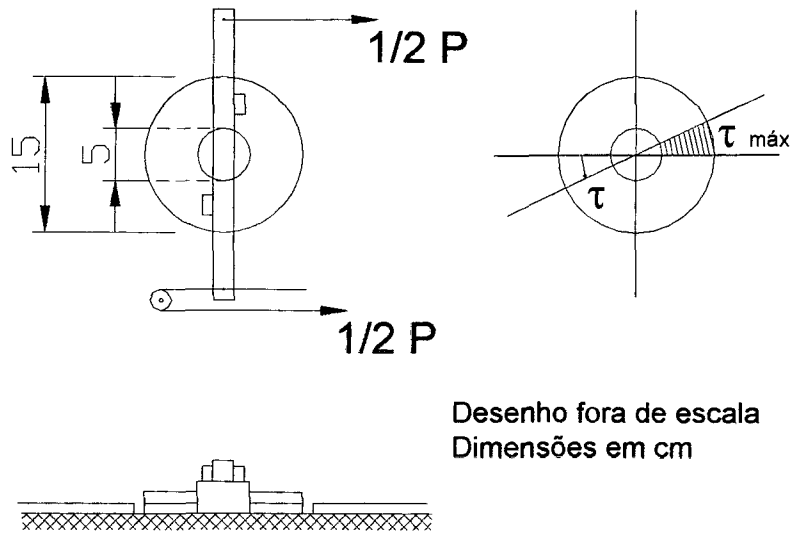
Soma-se a isto o fato de que qualquer excentricidade que venha a ocorrer durante o processo de aplicação da carga, implicará na distribuição desigual da carga nos dois lados do sistema, gerando uma leitura de resistência que poderá não representar satisfatoriamente a tensão cisalhante real esperada pelo ensaio.

### **2.7.3 MR-20 "Determinação da resistência de revestimentos pelo método de cisalhamento por torção"**

Esta norma, especificada pela RILEM, procura aproximar o ensaio da teoria utilizada para explicar o cisalhamento puro, o qual ocorre somente quando o corpo de prova, de forma circular, é submetido a um esforço de torção.

Seguindo este princípio, a MR-20 descreve o procedimento de ensaio, determinando a execução de três corpos de prova, com seção circular vazada com diâmetros externo e interno apresentando, respectivamente, 150 mm e 50 mm. Sobre

este corpo de prova, devem ser coladas duas placas metálicas que servem como suporte para a aplicação da carga, conforme esquema da Figura 2.21.



Desenho fora de escala  
Dimensões em cm

Figura 2.21 - Esquema do ensaio de cisalhamento por torção proposto pela RILEM (1982) MR-20

A tensão de cisalhamento será então calculada pela expressão 3.

$$\tau = \frac{\frac{1}{2}P \times 2a}{A \times r} \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (3)$$

Onde,

P = máxima carga (N)

a = comprimento do braço de alavanca (mm)

A = área superficial do anel (mm<sup>2</sup>)

r = raio médio do anel (mm)

Observa-se neste método, entretanto, tratar-se de um ensaio de difícil execução, tendo em vista a grande dimensão da cerâmica de ensaio, necessitando de equipamento especial para o corte da peça nas dimensões especificadas.

As dificuldades de execução do ensaio, não se limitam somente à obtenção do corpo de prova, mas principalmente à metodologia da aplicação da carga, que de acordo

com o indicado na norma, necessita de um aparato bastante sofisticado, a fim de que não ocorram tensões diferentes da gerada pela torção da peça.

Assim, se não forem aplicadas as forças, como demonstra a Figura 2.21, gerando  $1/2 P$  em cada extremidade do braço de alavanca, caso típico de torquímetro manual, tem-se como resultante, uma combinação de esforços, gerando a torção (cisalhamento) e o arrasto da peça sobre a base de ensaio, conforme demonstrado na Figura 2.22.

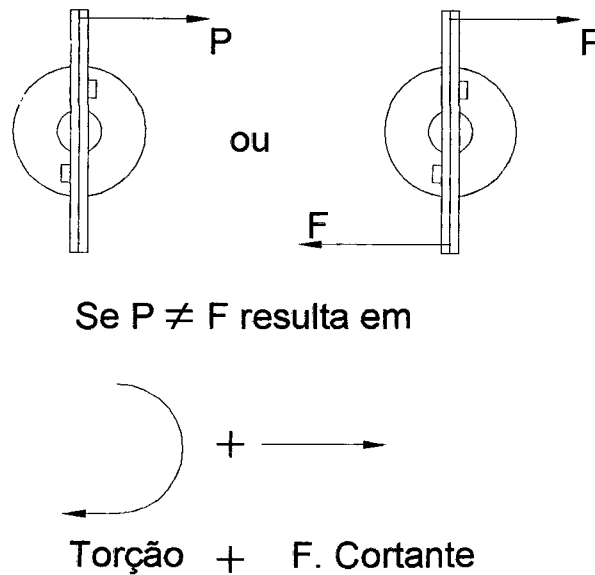


Figura 2.22 - Esquema demonstrativo da aplicação de carga com  $P \neq F$

Tem-se ainda que, se for adotado um equipamento de aplicação de carga por processo manual, como exemplo, um torquímetro, haverá uma outra importante perturbação na leitura das resistências do ensaio: a variação na velocidade de aplicação da carga, principalmente quando houver mudança de operador.

Supõe-se então, que o método é adequado para fornecer parâmetros de avaliação deste tipo de aderência, devido ao alto coeficiente de variação que poderá surgir durante processos de pesquisa que se utilizem do mesmo.

Em processo similar a esse, IOPPI (1995) usou o método da torção para determinar a aderência ao cisalhamento de argamassas de revestimento, valendo-se do uso de torquímetro manual. Em seus resultados, não pôde afirmar que os valores seguiam uma distribuição normal, segundo teste de Kolmogorov-Smirnov, mas o coeficiente de variação não atingiu a ordem de 25% que conforme o autor, é o

“percentual aceito em trabalhos estatísticos de experimentos com número elevado de variáveis intervenientes”.

#### 2.7.4 Norma técnica ANSI - 118.4 - F5 "Resistência ao cisalhamento para revestimentos cerâmicos"

Este método prevê a construção de um dispositivo de ensaio tal que a carga a ser aplicada na cerâmica estará inclinada em um ângulo de quatro graus em relação à face da mesma, como mostra a Figura 2.23.

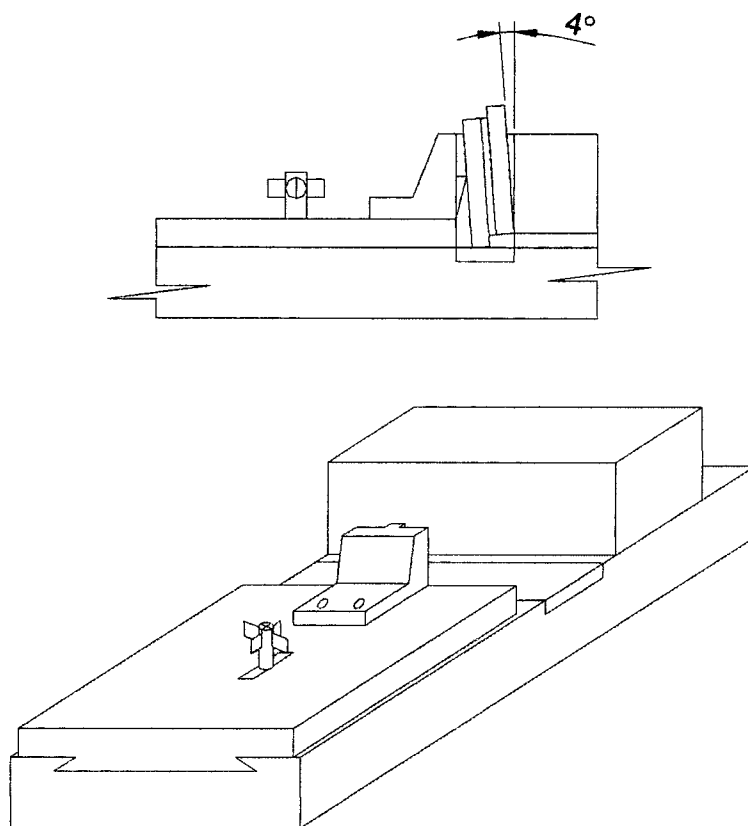


Figura 2.23 – Esquema do aparato para ensaio de cisalhamento apresentado pela ANSI 118.4

A montagem dos corpos de prova é feita utilizando-se uma barra de referência, utilizada como molde, que ajuda a manter sempre um mesmo padrão de forma nos corpos de prova.

O método prevê a execução de 4 ensaios para cada idade de cura do material, na qual se queira saber a resistência, normalmente, 7, 14 e 28 dias. Os resultados devem representar uma distribuição normal de valores, satisfazendo as seguintes condições:

1. Se  $\frac{x_2 - x_1}{x_4 - x_1} \geq 0,765$ , então o menor valor deverá ser descartado.
2. Se  $\frac{x_4 - x_3}{x_4 - x_1} \geq 0,765$ , então o maior valor deverá ser descartado.

Onde,  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$ , e  $x_4$ , são resistências ao cisalhamento em ordem crescente de valores.

Para obter estes valores, o método apresenta como cálculo, a carga  $P$  aplicada dividida pela área da seção colada.

Sabe-se, entretanto, que a inclinação proposta pelo método (quatro graus) irá gerar uma componente de forças de compressão e de cisalhamento, conforme demonstra a Figura 2.24.

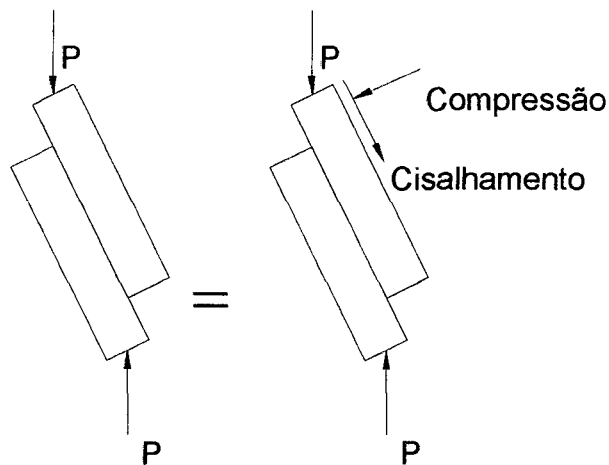


Figura 2.24 – Esquema de forças resultantes quando é utilizada inclinação da peça cerâmica.

Esta inclinação pode ser explicada pelo fato de que durante o processo de aplicação de carga em uma superfície vertical (sem a inclinação de 4 graus), surgem nos



pontos próximos ao local onde esta é aplicada, associados aos esforços de cisalhamento, esforços de tração, devido ao momento fletor gerado pelo braço de alavanca entre o ponto de aplicação do carregamento e o ponto de aderência da cerâmica com a argamassa colante, que tendem ao arrancamento da peça nestes pontos (Figura 2.25). A inclinação, portanto, tende a compensar esta tensão de tração gerada pelo momento fletor. Entretanto, esta perturbação se dá em uma zona muito pequena, bastante próxima aos limites do ponto de aplicação da carga na peça, devendo-se avaliar o grau de importância da mesma em relação ao valor final da tensão de cisalhamento.

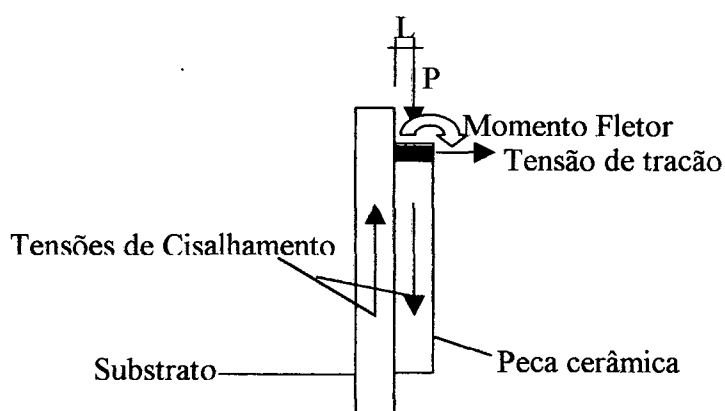


Figura 2.25 – Esquema de esforços resultantes em ensaio de cisalhamento.

Para a superfície estudada pela ANSI 118-4 e pela inclinação determinada (quatro graus), as tensões de compressão apresentam-se de forma reduzida, conforme dedução apresentada por NASH (1979), tomando-se como referência a Figura 2.26.

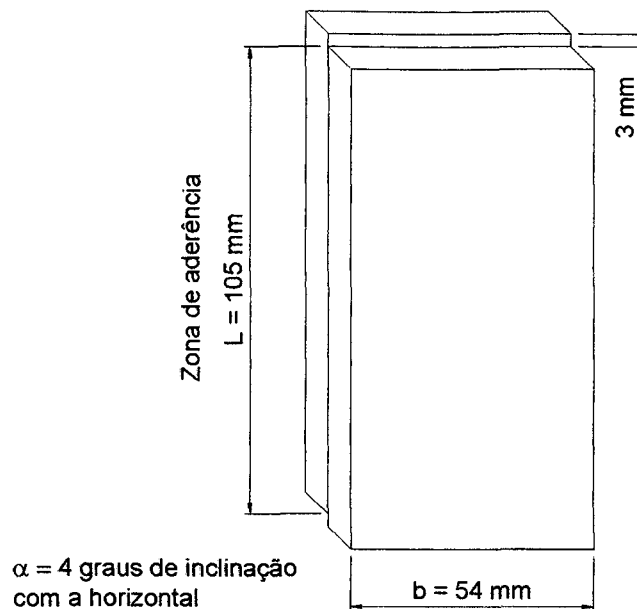


Figura 2.26 – Zona de aderência entre as cerâmicas, de acordo com o ensaio proposto por ANSI 118-4.

$$\tau \times l \times b \times \cos \alpha - \sigma \times l \times b \times \cos(90 - \alpha) = 0 \quad (4)$$

$$P - \tau \times l \times b \times \sin \alpha - \sigma \times l \times b \times \sin(90 - \alpha) = 0 \quad (5)$$

Utilizando-se os valores de l, b e  $\alpha$  nas equações 4 e 5, resultará em:

$$\tau = \frac{P}{54,67 \text{ cm}^2} \quad (6)$$

Observa-se que 54,67 cm<sup>2</sup> correspondem à área relativa do sistema devido à inclinação dada ao mesmo. Apesar do ângulo de inclinação ser pequeno, comparando-se este valor com a área real colada, conforme l e b (56,70cm<sup>2</sup>), tem-se que o ângulo utilizado no ensaio traz uma pequena diferença na área efetiva utilizada, ao substituí-lo na equação 6, o que pode gerar avaliações incorretas do real valor da resistência.

Entretanto, as perturbações pela angulação sugerida, não se limitam à área efetiva para o cálculo da tensão de cisalhamento e redução das tensões de tração. Esta inclinação pode trazer, principalmente, significativas perturbações na determinação correta da tensão de cisalhamento, de acordo com a formação do tardo da peça cerâmica e o grau de ancoragem possibilitado por esta, o qual pode variar em função da

inclinação sugerida, e ser aumentado de forma indeterminada, gerando erros nas leituras das tensões de cisalhamento.

### 2.7.5 Método proposto por REED (1992)

REED (1992), apresenta um método de ensaio desenvolvido para ser efetuado “in loco”. Os resultados do ensaio desenvolvido foram comparados com o método proposto pela norma ASTM C-482 81

O “In-place shear test”, sendo um método proposto para avaliação da aderência de revestimentos cerâmicos durante seu período de utilização nas habitações, consiste na remoção de peças cerâmicas da superfície a ser estudada, com auxílio de ponteiros ou talhadeiras metálicas e martelo, deixando isolada uma peça, que será removida por cisalhamento. A aplicação da carga é feita através de macaco hidráulico adaptado a um dispositivo que permita a leitura da tensão imposta à peça. Como superfície de reação (apoio) para o macaco, utiliza-se as cerâmicas que não foram retiradas da parede, como demonstra a Figura 2.27.

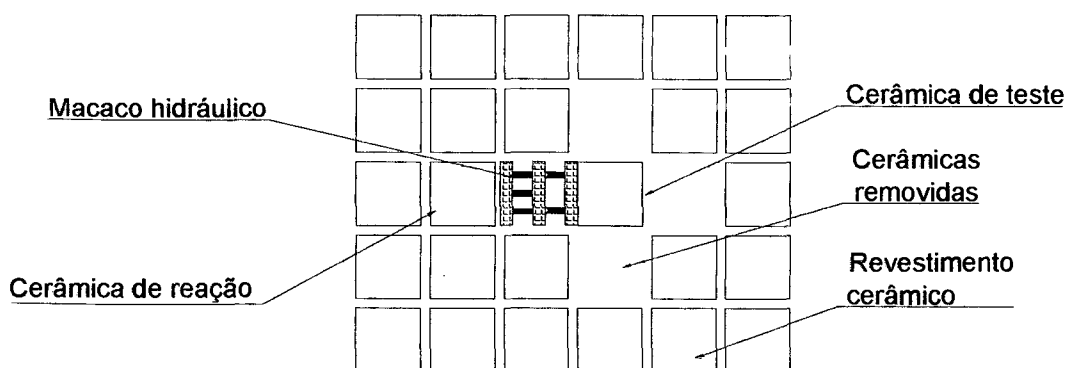


Figura 2.27 – Esquema de ensaio de cisalhamento in loco

Em laboratório, para a reprodução do ensaio, a fim de proporcionar a comparação com outro método, o autor substituiu a alvenaria por uma superfície horizontal caracterizada como uma base de concreto. Como superfície de reação, foi utilizada uma peça cerâmica de maiores dimensões do que a cerâmica de teste, como demonstrado na Figura 2.28.

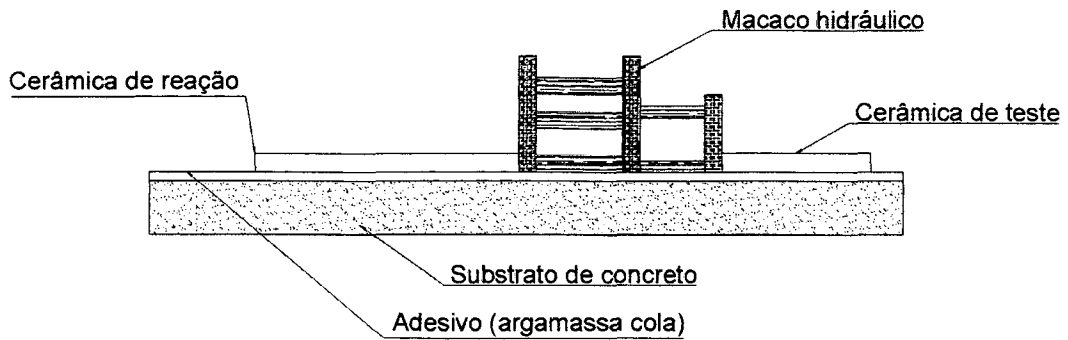


Figura 2.28 – Esquema de proposto por REED (1992) para ensaio de cisalhamento em superfície padrão.

A comparação entre o método proposto por REED (1992) com o já normalizado (ASTM C-482) se deu por análise estatística das tensões de cisalhamento observadas em ambos ensaios, em diferentes níveis de carregamento.

Segundo os experimentos deste autor, os ensaios do método por ele proposto, apresentaram resultados mais homogêneos do que o método da ASTM, ficando o primeiro (proposto) com coeficiente de variação na ordem de 28% e o segundo, na faixa de 44%. Salienta-se que esta alta variabilidade dos ensaios pode comprometer a análise da real tensão de aderência obtida pelos revestimentos.

O método proposto por REED, apesar de estar apresentando menores variações de resultados, ainda tem alta dispersão de valores, acima dos valores aceitáveis para ensaios com muitas variáveis, conforme explicado em 2.6.

Além disso, é um método que se apresenta extremamente rígido, não tendo qualquer sistema de rotulação previsto durante o processo de aplicação de carga, permitindo que pequenas acomodações, que ocorram no sistema durante o carregamento, venham a afetar os resultados do ensaio, ajudando a gerar os altos índices encontrados para o coeficiente de variação.

Soma-se a isto o fato de o tamanho da cerâmica estudada pelo método (10 x 10 cm) ser demasiadamente grande para este tipo de ensaio, em virtude da concentração de tensões que é gerada no ponto de aplicação da carga. Isso pode, como consequência, ocasionar uma propagação acentuada de fissuras que podem ser encontradas nesta região, enfraquecendo de forma desuniforme a aderência do sistema.

### 2.7.6 Estudos desenvolvidos por FRANCO e COLLANTES (2000)

Os autores desenvolveram um método para medir a resistência de aderência de revestimentos em superfícies verticais, denominado de alavanca de cisalhamento. As resistências obtidas pelo método foram comparadas com as resistências obtidas por ensaios de aderência à tração.

Neste trabalho, foram utilizados vários tipos de argamassas assentadas em substratos de concreto armado, alvenaria de blocos cerâmicos e de blocos de concreto, sobre os quais foram preparados diversos tipos de base (com chapisco comum ou rolado, sem chapisco, superfície seca ou úmida, entre outros).

Para cada combinação de variáveis os autores utilizaram dez corpos-de-prova destinados a cada tipo de ensaio.

A velocidade de aplicação dos carregamentos foi mantida na faixa de 10 a 80 segundos.

Os ensaios à tração foram, segundo os autores, executados através de dois métodos: alavanca de tração, desenvolvido pelo laboratório do CPqDCC (Centro de Pesquisas e Desenvolvimento de Construção Civil da EPUSP) e dinamômetro de tração, bastante utilizado na França e Bélgica.

O equipamento para o ensaio de cisalhamento foi descrito pelos autores com um dispositivo composto por quatro perfis metálicos fixados com quatro parafusos numa base metálica de grande peso que visa garantir a estabilidade do aparelho.

Nos quatro perfis, é apoiada uma plataforma metálica móvel que permite regular a altura do ensaio. A altura de fixação desta placa é mantida através de parafusos tipo borboleta, presos em cada perfil.

Sobre a plataforma, é colocada uma alavanca metálica reforçada, a qual dispõe de um nível que permite que esta seja mantida na horizontal antes do início da aplicação do carregamento.

Na extremidade da alavanca é utilizada uma rótula, sobre a qual é fixada uma chapa metálica com uma área maior do que a do corpo-de-prova, para garantir a distribuição uniforme do carregamento sobre a peça a ser ensaiada. (Figura 2.29).

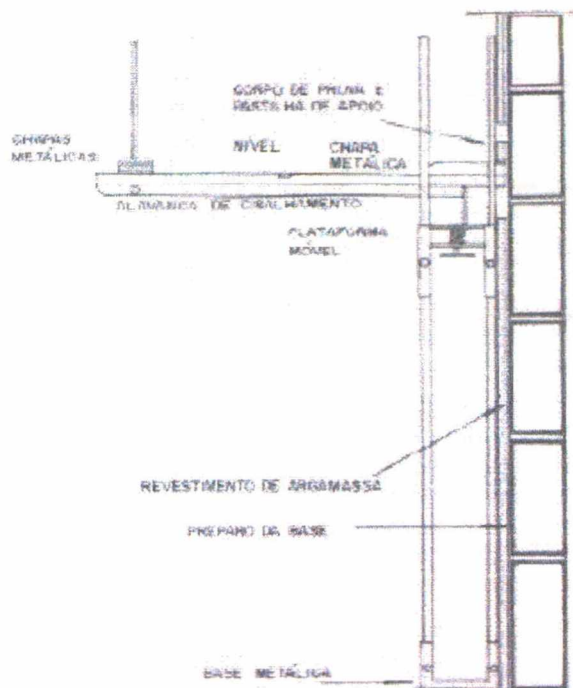


Figura 2.29 - Aparelho para medir a resistência de aderência ao cisalhamento (COLLANTES e FRANCO, 2000).

Como o método é proposto para medição “in loco”, a preparação do ensaio passa pelo corte da superfície, com serra diamantada, no tamanho necessário para o corpo-de-prova, sendo então retiradas as partes adjacentes ao material a ser ensaiado, em procedimento semelhante ao desenvolvido por REED (1992).

Nos resultados apresentados pelos autores, para os ensaios de arrancamento, o coeficiente de variação acima de 25% foi verificado em aproximadamente 70% dos ensaios, e acima de 30%, aproximadamente 50% dos resultados. Já para os ensaios de cisalhamento, foi verificado um coeficiente de variação acima de 25% em aproximadamente 65% dos valores e, acima de 30%, aproximadamente, 40% dos valores.

A análise final dos ensaios, entre outras, conforme os autores, foi de que o método desenvolvido para medir a resistência ao cisalhamento foi considerado satisfatório e que as resistências de aderência ao cisalhamento são, em média, aproximadamente 40% superiores às resistências de aderência à tração.

Observa-se que os métodos utilizados apresentam valores de resistências com coeficientes de variação bastante elevados. Deve-se levar em consideração que existem variáveis desfavoráveis à manutenção de baixo coeficiente de variação, como a variação do tipo de argamassa do emboço e agressões sofridas pelo processo de corte na preparação dos corpos-de-prova.

Em relação ao ensaio de cisalhamento, o processo utilizado para o carregamento e a obtenção do valor das resistências é bastante impreciso, visto que o processo de aplicação de carga é feito de forma manual, com o incremento de pequenas chapas metálicas colocadas na extremidade da “alavanca de cisalhamento”. A resistência final é determinada através de uma equação que transforma o peso das chapas metálicas em tensão de cisalhamento.

Este método, além da imprecisão apresentada pelo tipo de carregamento, soma-se uma grande variabilidade na velocidade de aplicação deste carregamento, mostrando-se não adequado a uma análise da resistência de aderência em procedimentos laboratoriais, podendo por outro lado, servir, como parâmetro de resistência, quando da avaliação “in loco”.

### **2.7.7 Estudos desenvolvidos por H. ERA et. al. (1998)**

Um dos grandes problemas que podem surgir durante o processo de aplicação de carga em um ensaio de cisalhamento é a concentração de tensões.

Com a finalidade de minimizar este problema, H. ERA et al (1998) estudaram o fenômeno para o ensaio de cisalhamento direto em revestimentos cerâmicos.

Os estudos desenvolvidos foram baseados nos métodos de elementos finitos e fotoelasticidade, através dos quais, inicialmente, comprovaram a existência destas tensões concentradas no ponto de aplicação de carga.

Para reduzir esta concentração de tensões, propuseram a utilização de uma ranhura semi-circular no substrato, posicionado na base de aplicação da carga, como demonstra a Figura 2.30.

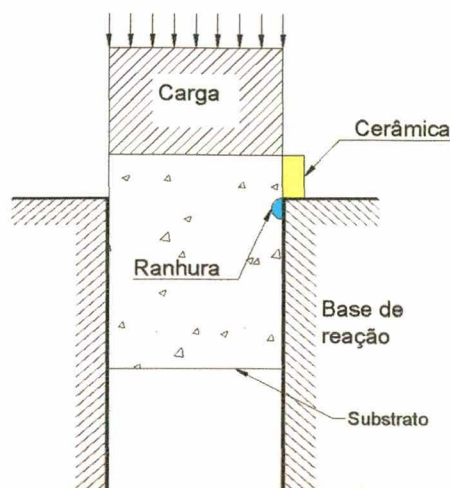


Figura 2.30 – Dente (ranhura) proposto para redução da concentração de tensões em ensaio de cisalhamento.

Nestes estudos, verificaram que a ranhura proposta reduz de forma significativa as tensões no ponto de aplicação da carga, como pode ser observado na Figura 2.31. Segundo os autores, esta constatação é sempre verdadeira quando o material de revestimento utilizado possui módulo de elasticidade com valor igual ou maior do que a base onde está assentado, sendo então, estes conceitos compatíveis com os revestimentos cerâmicos.

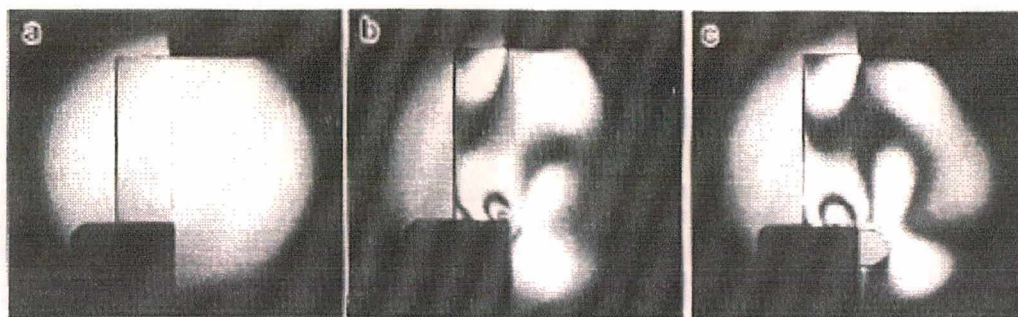


Figura 2.31 - Imagens de fotoelasticidade. (a) corpo-de-prova sem carregamento; (b) corpo-de-prova com carregamento e sem ranhura; (c) corpo-de-prova com carregamento e com a ranhura proposta. (H. ERA et. al., 1998).

Salienta-se, entretanto, que as dimensões da ranhura, segundo os autores, afetam no perfeito desempenho do ensaio, sendo portanto, necessário um estudo aprofundado das dimensões mais adequadas quando aplicado em ensaios com configurações diferentes do estudo original proposto por H. ERA et. al. (1998).



# CAPITULO 3

## METODOLOGIA

### 3.1 Desenvolvimento do método de ensaio - Generalidades

Busca-se quando é desenvolvido novo método de ensaio, melhorar características dos ensaios pré-existentes e/ou eliminar variáveis indesejáveis detectadas nos mesmos.

Seguindo este preceito, procedeu-se o desenvolvimento deste método de ensaio para estudo da aderência de revestimentos cerâmicos através do cisalhamento.

Tendo sido feita a análise prévia dos métodos de ensaio existentes, referentes ao tema “aderência de revestimentos cerâmicos”, concluiu-se sobre quais variáveis de maior expressão que podem resultar em interferência nos resultados, e que se pretende evitar no desenvolvimento do novo procedimento.

Observa-se, com base nas informações levantadas, que é de grande importância evitar situações adversas como:

1. Várias superfícies possíveis de cisalhamento para um corpo-de-prova, onde prevalece a ruptura da superfície com o maior número de falhas de execução, menor superfície de aderência, ou maior concentração de carga, conforme discutido no item 2.7.2.
2. Utilização de diferentes substratos para análise de uma amostra a ser ensaiada. Caracteriza uma variável que pode ser minimizada, utilizando-se um único substrato para uma sequência de ensaios de um mesmo material;
3. Tensões secundárias, como concentração de tensões de tração e/ou compressão durante o processo de aplicação de carga. Ocorre principalmente por falhas na execução da superfície de aplicação da carga, geralmente pelo não paralelismo desta com a superfície de reação, mas também por irregularidades na mesma, devido ao processo de corte do corpo-de-prova, podendo ocorrer também durante o processo de acomodação do corpo-de-prova durante o processo de carregamento. As tensões secundárias podem,

também, ser consequência do tipo de ensaio proposto e do arranjo de carregamento;

4. Dificil reprodução do ensaio, por necessidade de equipamentos muito específicos e com custo elevado, tanto para confecção de corpos-de-prova, como para a execução do próprio procedimento de ensaio.
5. Variação da velocidade de aplicação de carga durante o processo de execução do ensaio. Este problema aparece na maioria dos ensaios pesquisados, constituindo uma variável de grande importância, principalmente em ensaios onde existe a imprecisão devido a diversas outras variáveis, como as descritas nos itens 1, 2, 3 e 4;
6. Inclinações, propositais ou não, da superfície de cisalhamento, em relação ao sentido de aplicação da carga (não paralelismo entre sistema corpo-de-prova / aplicação de carga). Este procedimento leva à redução de tensões de tração, mas por outro lado, gera tensões de compressão, conforme descrito em 2.7.4, podendo gerar um erro na leitura das resistências, o qual pode ainda ser agravado, devido às variações de desenhos do tarsoz de peças cerâmicas, que podem ser mais ou menos favoráveis ao aumento da aderência quando utilizado este procedimento.

Busca-se controlar estas variáveis, seja pela eliminação das mesmas, ou pela redução da incidência no desenvolvimento de um novo método, a fim de garantir uma constância de valores, ou seja, uma uniformidade de resultados, gerando um menor coeficiente de variação. Isto permite a comparação dos valores da resistência de aderência de forma mais confiável para diferentes materiais.

Conforme já mencionado, no Brasil, inexistente uma norma específica para ensaios de aderência pelo método de cisalhamento de revestimentos cerâmicos. A determinação da resistência de aderência é feita pelo ensaio de aderência por tração direta, ou arrancamento, fato pelo qual, foram utilizados neste trabalho, conceitos e procedimentos semelhantes ao adotado pelas normas que regem este método.

No trabalho, comparou-se a eficiência dos resultados de aderência por tração e por cisalhamento.

## 3.2 Metodologia de execução do ensaio

### 3.2.1 Confecção do substrato para ensaios e forma dos corpos-de-prova

Iniciou-se a programação dos ensaios pela definição dos tipos de materiais a serem empregados, determinando as características dos substratos, forma de execução dos ensaios, forma de preparação dos corpos-de-prova e, por fim, planejamento e desenvolvimento de equipamentos.

Adotou-se o substrato padrão de concreto conforme indicado pela norma técnica para ensaios de aderência por tração, NBR 14082/1998 a qual prevê as seguintes condições, que foram rigorosamente atendidas:

1. Dimensões mínimas de 25 x 50 cm – Dimensão determinada pelo número mínimo de ensaios recomendados para uma amostra;
2. Espessura mínima de 15 mm – utilizado 35mm em função do tamanho adotado para a placa, a fim de garantir a indeformabilidade durante os processo de transporte e execução de ensaios;
3. Concreto dosado com brita zero;
4. Armadura com tela metálica galvanizada de malha quadrada com  $L = 5$  cm;
5. Absorção superficial inferior a  $0,5 \text{ cm}^3$  em 4 horas, determinada em 3 pontos diferentes do mesmo substrato;
6. Consumo mínimo de cimento: 400 kg – utilizado consumo de  $450 \text{ kg/m}^3$ ;
7. Areia média – situada na zona 3 da NBR 7211.

As dimensões adotadas para o substrato padrão foram calculadas em função do tamanho das peças cerâmicas a serem ensaiadas e do número de ensaios a serem realizados em cada conjunto.

A norma técnica NBR 14084/1998, sugere a preparação de 10 corpos-de-prova para cada série de ensaios, onde posteriormente, por critérios de avaliação, faz-se o descarte dos resultados que se afastam mais de 20% da média. É necessário, entretanto, restar pelo menos 5 corpos-de-prova para um cálculo da resistência média. Caso não se obtenha número igual ou superior aos cinco resultados, deve-se proceder à nova série de ensaios.

Tomando-se como base a bibliografia consultada para ensaios de tração direta, tem-se a indicação, segundo CARASEK (1991), em função da grande variabilidade

apresentada pelo método, de um número mínimo de 12 corpos-de-prova, superior ao recomendado pela norma técnica em vigor.

Neste sentido, como medida de segurança, e na inexistência de estudo piloto, adotou-se preliminarmente um número superior ao recomendado pelos estudos realizados por CARASEK (1991), utilizando-se um total de 15 corpos-de-prova (CP), para os ensaios de cisalhamento. Buscou-se com esta medida, obter-se uma margem de segurança de validação de resultados satisfatórios, a fim de que os mesmos fossem estatisticamente significantes e suficientes.

Quanto ao tamanho das cerâmicas a serem ensaiadas, adotou-se inicialmente, peças quadradas, com  $L=5$  cm e, posteriormente, peças retangulares com altura de 8 cm e largura de 4 cm, com a finalidade de estudar a influência da forma dos corpos-de-prova nos resultados dos ensaios de cisalhamento.

Estes tamanhos foram determinados, inicialmente, em função de buscar-se igualdade das dimensões das peças indicadas para o ensaio de tração direta (5,0 x 5,0 cm). As dimensões das peças retangulares foram determinadas porque, por hipótese levantada, em uma peça com altura superior à largura, é mais improvável o aparecimento de tensões de tração na junta a ser testada. Limitou-se as dimensões da amostra (corpo-de-prova) em função da capacidade de carga do equipamento destinado ao ensaio. Posteriormente, verificou-se a possibilidade de aumento da superfície cisalhante, em função das cargas atingidas durante os ensaios e da capacidade do equipamento em questão. Optou-se, entretanto, pelo estudo destas duas superfícies inicialmente planejadas.

De posse destes dados, planejou-se um substrato de concreto com dimensões suficientes para comportar um número de 15 peças cerâmicas destinadas ao ensaio de cisalhamento. Além disso, como se pretendia avaliar o método proposto, comparando-o com a variabilidade de resultados que ocorre no ensaio de aderência por tração e, verificar a existência de eventual correlação entre os métodos, optou-se pela confecção de um substrato que permitisse a realização simultânea e, em igualdade de condições de moldagem e cura, dos dois ensaios, ou seja, o substrato deveria comportar um número de 30 peças cerâmicas, 15 das quais destinadas ao teste de aderência à tração.

Para os ensaios de tração direta, utilizou-se peças circulares com diâmetro de 5,0 cm, em substituição às quadradas com lado igual a 5,0 cm previstas pela norma técnica NBR 14084/98, em virtude da disponibilidade de pastilhas metálicas previstas para

colagem na superfície das cerâmicas, que são utilizadas para conexão com o equipamento de tração, serem com superfície circular.

Em se tratando de forças normais à superfície da peça, considerou-se que o formato da mesma não viria influenciar de forma significativa a resistência de aderência determinada por ambos formatos, sendo desta forma, satisfatório para a utilização neste procedimento de ensaio. Observa-se ainda, que este formato circular, é também bastante utilizado em normas internacionais (DIN 18555, part 6, 1987; Cahier 2669-4 - CSTB, 1993; MR 21- RILEM, 1982), como demonstrado em IOPPI (1995).

É também recomendado pela norma brasileira, NBR 14084/98, que as peças cerâmicas estejam afastadas das laterais do substrato em pelo menos, 2,5 cm e entre peças consecutivas, 5,0 cm. Esta medida visa facilitar o processo de instalação do equipamento de tração para a execução do ensaio, de forma a não causar perturbações às peças ainda não ensaiadas. Para o ensaio de cisalhamento, entretanto, estas dimensões podem ser reduzidas para 2,0 a 2,5 cm entre peças, devido ao processo de aplicação de carga planejado. Na prática, adotou-se um espaçamento entre as peças, de aproximadamente 4,0 cm para os ensaios de tração direta e, superior a 2,0 cm para ensaios de cisalhamento.

Definidas estas condições, determinou-se como satisfatório, um substrato padrão com dimensões de 30 cm x 91 cm.

A disposição destas peças obedeceu as configurações demonstradas na Figura 3.1.

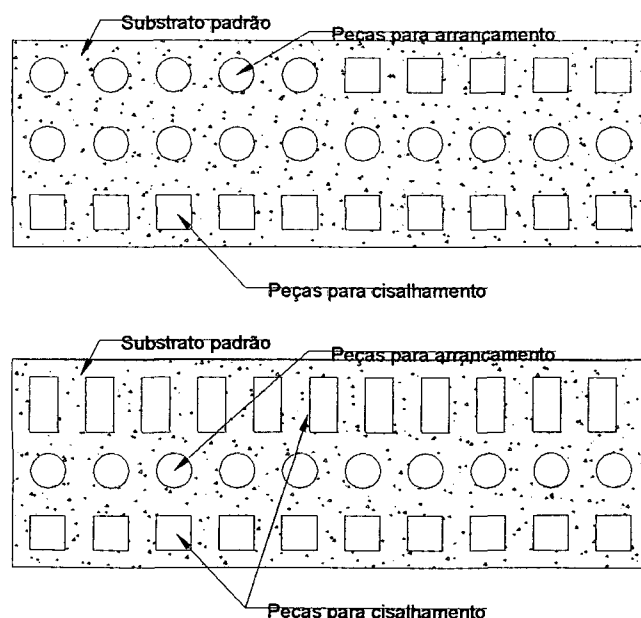


Figura 3.1 – substrato padrão com cerâmicas coladas para os ensaios de cisalhamento e tração direta.

### 3.2.2 Confeção de suporte para substrato

Inicialmente, foram cogitadas duas formas aparentemente adequadas à execução do ensaio de cisalhamento, demonstrados na Figura 3.2:

1. Aplicação de carga no topo do corpo-de-prova, com prensa comum, onde o carregador comprime a peça cerâmica paralelamente à superfície esmaltada, tendo como ponto de reação, a base do substrato.
2. Aplicação de carga na base do corpo-de-prova, no sentido oposto ao utilizado no ensaio de compressão. Neste caso, a superfície de reação é o topo do substrato.

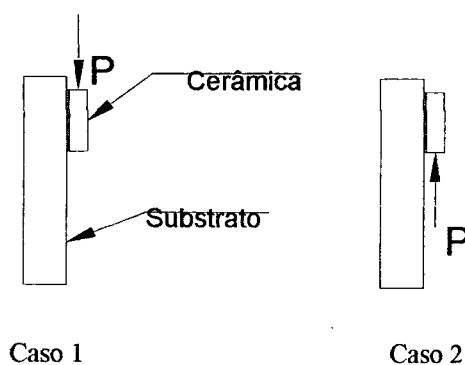


Figura 3.2 – Esquemas estudados para a aplicação de carga no ensaio de cisalhamento.

Basicamente, os dois métodos apresentam características semelhantes, modificando apenas o sentido de aplicação da carga e o tipo de equipamento a ser utilizado.

O ensaio utilizando o carregamento de cima para baixo (caso 1) foi descartado em função dos problemas de concentração de tensões anteriormente discutidas no item 2.7.4 e, problemas envolvendo sistemas de rotulação adequados, de forma a minimizar os efeitos secundários discutidos em 3.1.1, como torção e tração nos pontos de concentração de carregamento, ou de menor aderência.

Optou-se então por um sistema que mantivesse fixo o substrato onde o corpo-de-prova estivesse colado, aplicando-se uma carga que pudesse puxar de baixo para cima a cerâmica de teste. Neste sistema, planejou-se a utilização do mesmo equipamento utilizado nos ensaios de tração direta, conforme mostra a Figura 3.3. A base deste equipamento é formada por um tripé com altura regulável, que permite seu nivelamento em relação à superfície de ensaio. É ainda dotado de um pistão rotulado, o qual é

acionado hidráulicamente. O equipamento em questão tem a capacidade de aplicação de carga de até 12 kN e permite o controle da velocidade em que esta é aplicada, de forma automática, pela prévia programação do equipamento. A programação do ensaio e a leitura das cargas são feitas por um equipamento de aquisição de dados digital, ilustrado na Figura 3.4

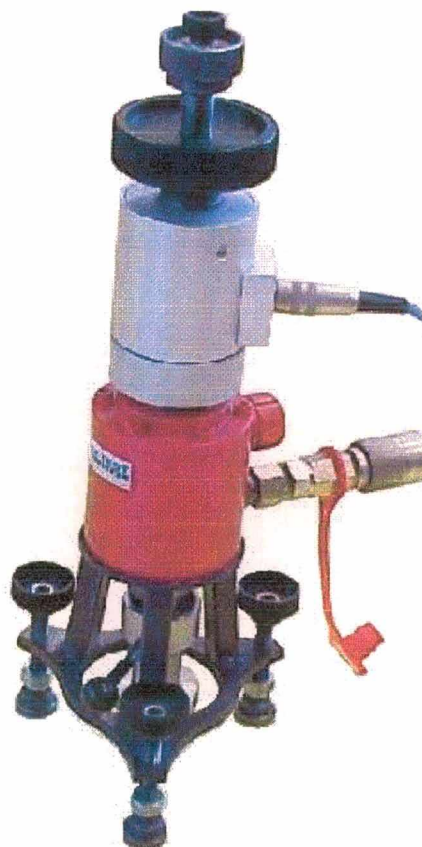


Figura 3.3 – Equipamento utilizado para ensaios de tração direta e cisalhamento.



Figura 3.4 – Equipamento para aquisição de dados, programação do ensaio e controle de aplicação de carga.

Para o nivelamento do equipamento, em relação ao corpo-de-prova ensaiado, utilizou-se o recurso oferecido pelo tripé do equipamento. Através dos pés com altura

regulável e um anel metálico, o operador possui uma forma de orientação quanto ao nível do aparelho em relação ao corpo-de-prova, independentemente da base onde o substrato encontra-se posicionado, estar nivelada. Após o posicionamento do aparelho de tração e conexão com o corpo-de-prova, estando o sistema nivelado, o anel deve possuir curso livre, encaixando e soltando-se livremente do pistão, como mostra a Figura 3.5. Nestas condições, a aplicação da carga se dará sempre perpendicular à superfície da peça a ser ensaiada, ou seja, perpendicular à superfície esmaltada no ensaio de tração direta e perpendicular ao topo da peça (equivalente ao paralelismo com a superfície esmaltada) no ensaio de cisalhamento.

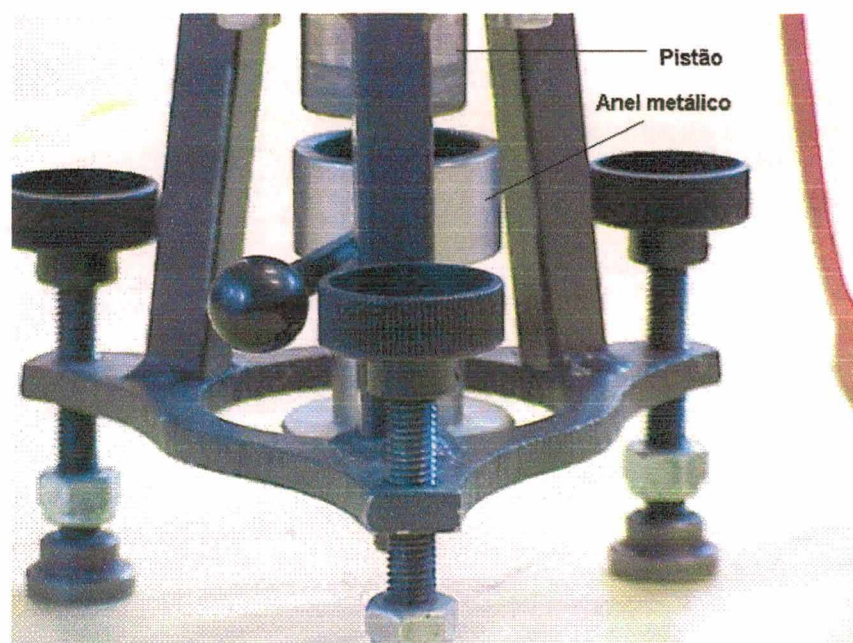


Figura 3.5 - Detalhe do tripé, demonstrando o pistão, os pés reguláveis e o anel metálico para auxílio no nivelamento do equipamento.

A utilização deste equipamento permite uma melhor comparação dos métodos aqui discutidos e, menores concentrações de tensão, em virtude do mesmo possuir um sistema de rotulação próprio. Permite também, uma menor dispersão de resultados, pelo controle automático de velocidade de aplicação da carga, que pode ser mantida constante.

Entretanto, para a utilização deste equipamento, no método de ensaio para cisalhamento, foi necessário o desenvolvimento de um suporte que mantivesse o substrato de concreto em posição vertical. Deveria ainda permitir a fixação do substrato



padrão de forma que o movimento do pistão da máquina de tração ocorresse em sentido paralelo à superfície de colagem da peça cerâmica sobre o substrato.

O suporte ainda deveria garantir a estabilidade do substrato durante o processo de aplicação da carga, impedindo sua movimentação em todas as direções, eliminando-se esta variável no método de ensaio, como mostram as Figuras 3.6 e 3.7.

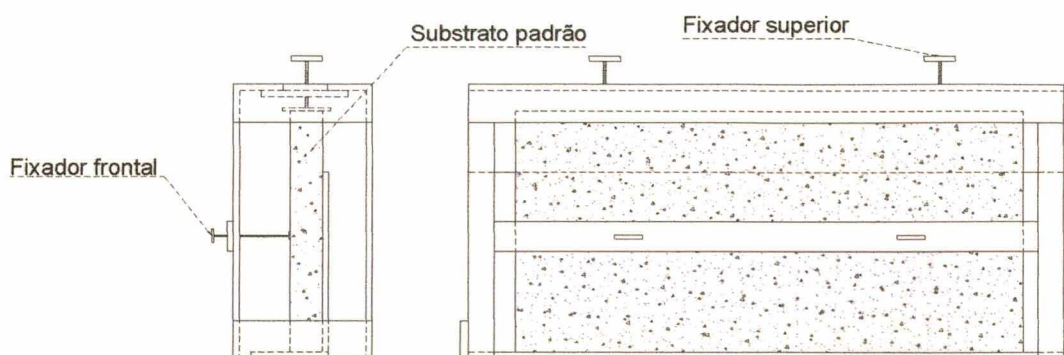


Figura 3.6 – Esquema da fixação do substrato padrão no suporte metálico

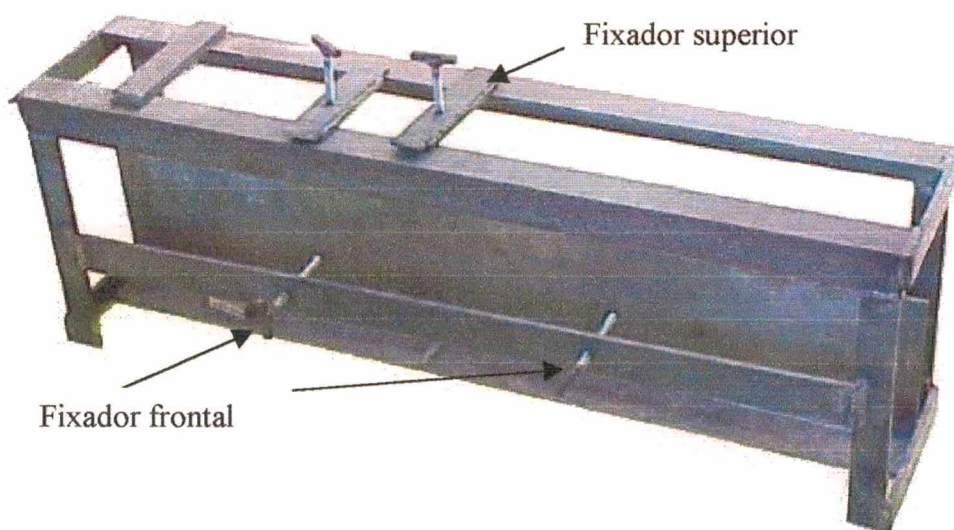


Figura 3.7 – Suporte metálico para ensaio de cisalhamento

O fixador superior é colocado entre o suporte de metal desenvolvido e o substrato padrão de concreto. Coloca-se na base do parafuso do fixador uma pastilha metálica para evitar o esmagamento do concreto durante a fixação ou durante o processo de aplicação de carga. Desta forma, o fixador (Figura 3.8) será posicionado como ilustram as Figuras 3.6 e 3.9.

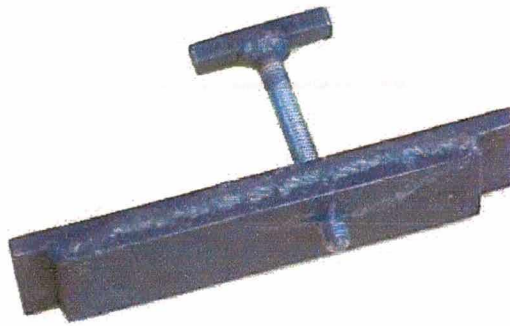


Figura 3.8 - Detalhe do dispositivo de fixação superior do painel ao suporte

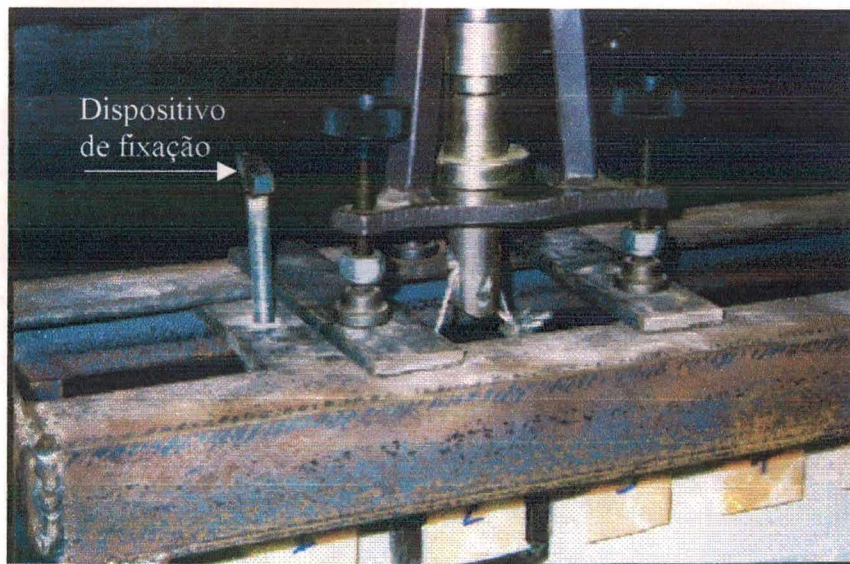


Figura 3.9 – Dispositivo de fixação e tripé posicionados no suporte

### 3.3 Desenvolvimento de metodologia para aplicação de carga ao corpo-de-prova

Determinado o tipo de substrato, o equipamento a ser utilizado para execução do ensaio e a maneira de fixação do substrato ao suporte desenvolvido, procedeu-se o desenvolvimento de método de aplicação da carga à peça cerâmica.

O procedimento inicial correspondeu ao desenvolvimento de um dispositivo de adaptação da peça cerâmica ao equipamento de tração, de forma similar ao proposto e desenvolvido para o ensaio de tração, ou seja, colando-se com adesivo epoxi, uma chapa metálica sobre a face superior da peça a ser ensaiada. Esta chapa foi conectada ao equipamento de tração através de um dispositivo adaptador (Figura 3.10).

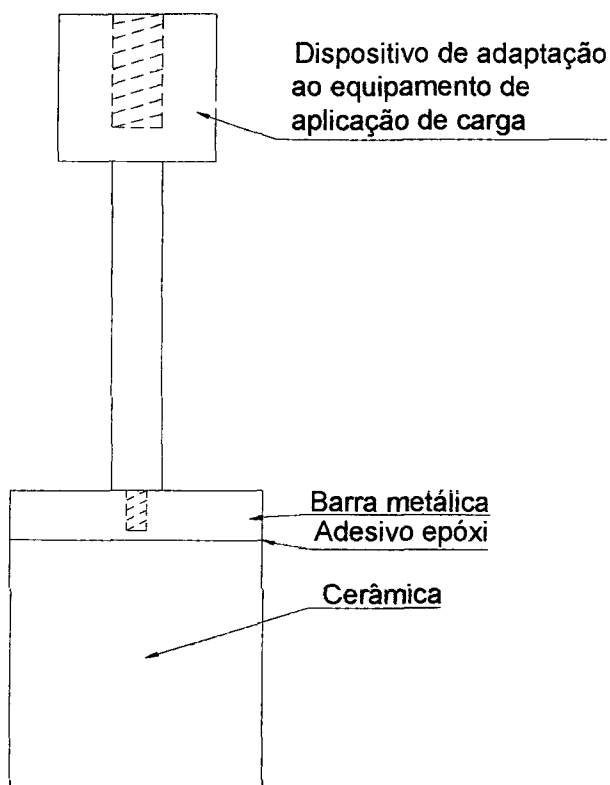


Figura 3.10 – Dispositivo para execução do ensaio de cisalhamento.

Este dispositivo, no entanto foi descartado, devido ao fato de ter sido verificado em ensaios preliminares, que a resistência de aderência ao cisalhamento das cerâmicas apresentava-se superior à resistência de aderência obtida pela colagem da chapa metálica sobre a superfície superior da cerâmica, ocasionando, invariavelmente, a ruptura na interface cerâmica-adesivo, inviabilizando este dispositivo de ensaio.

Buscando-se outra alternativa para a aplicação da carga ao corpo-de-prova, foi desenvolvido um caixilho metálico com dimensões levemente superiores ao tamanho da peça cerâmica.

Assim, para os corpos-de-prova com dimensões de 5 x 5 cm, foi confeccionado um caixilho com dimensões internas de 6 x 6 cm, o qual foi inicialmente conectado ao equipamento de tração pela mesma haste metálica prevista no modelo anterior.

É importante salientar que o processo de corte das cerâmicas permite que existam imperfeições nas faces da mesma. Pelo dispositivo indicado na Figura 3.11, existe então a possibilidade de concentração de tensões em pontos de maior imperfeição do corte (saliências) na peça, durante o processo de aplicação de carga. Poder-se-ia, então se utilizar dois artifícios para a regularização da base do corpo-de-prova:

1. Capeamento da superfície onde ocorre o encontro do caixilho com o corpo de prova. Este procedimento mostra-se, em virtude do formato da peça, ser de difícil execução, necessitando aparatos auxiliares para manter a peça na posição correta durante a cura do capeamento.
2. Utilização de uma camada fina de neoprene (flexível, pequena rigidez), de forma que durante o processo de aplicação da carga, a superfície se apresente de forma regular pelo esmagamento do material e preenchimento das irregularidades, permitindo uma adequada e uniforme distribuição do carregamento sobre toda a extensão da peça.

Por ser considerado mais vantajoso, adotou-se nos ensaios, a camada (película) de neoprene.

Outro problema a ser solucionado foi reduzir a rigidez do conjunto, diminuindo os efeitos de acomodações da argamassa colante durante o processo de aplicação de carga. Isto foi obtido, substituindo-se a haste metálica visualizada na Figura 3.10, por um cabo de aço preso ao adaptador do caixilho ao equipamento de tração através de uma polia, como ilustram as Figuras 3.11 e 3.12

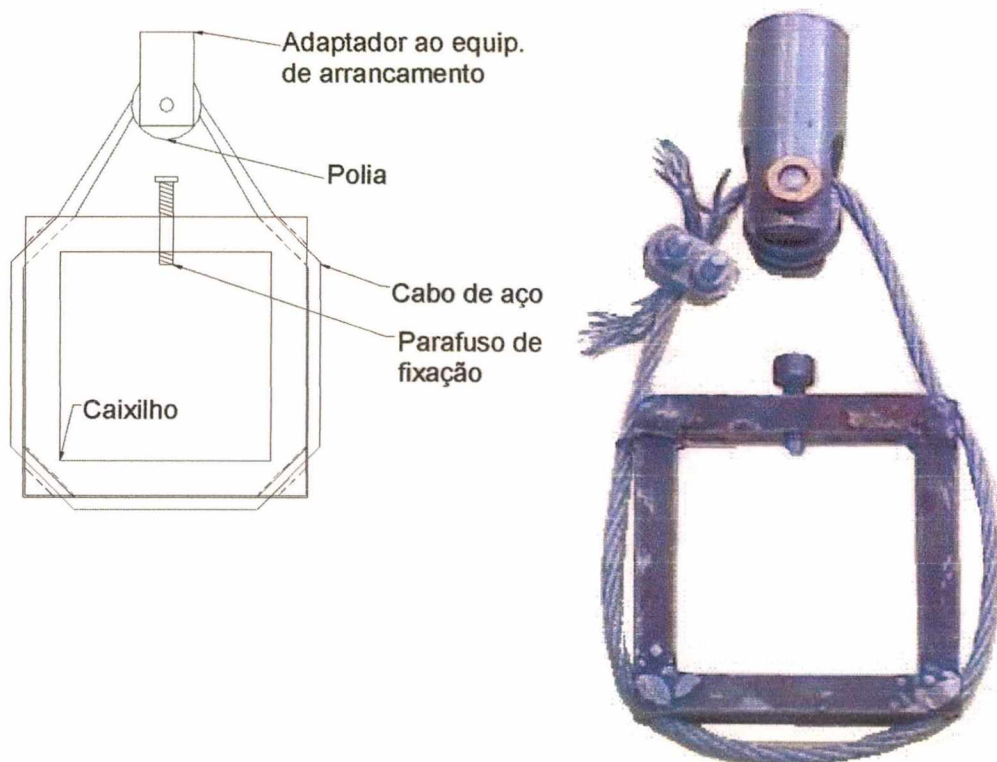


Figura 3.11 – Detalhe do caixilho para execução do ensaio de cisalhamento em peças com dimensões de 50 x 50mm

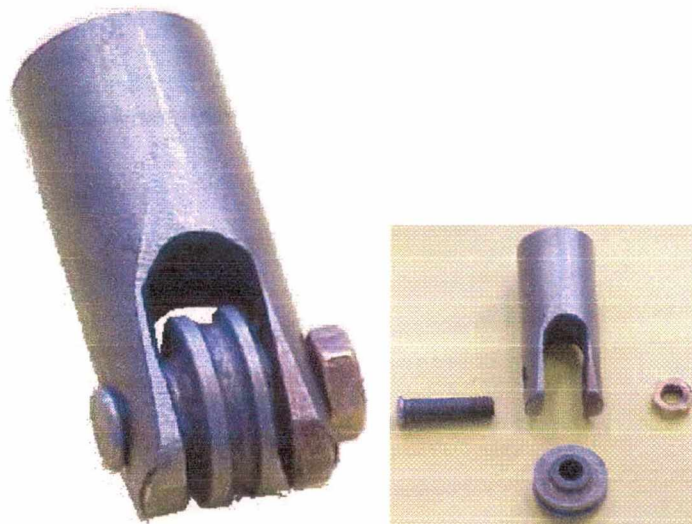


Figura 3.12 – detalhe da polia utilizada para reduzir problemas de torção

Obtém-se com este cabo, somando-se à rotulação existente no equipamento de tração e à polia, um sistema que induz a verticalidade e linearidade do processo de aplicação de carga durante o ensaio, reduzindo o aparecimento de tensões secundárias, como torção da peça cerâmica.

O parafuso apresentado na Figura 3.11 serve como auxílio à fixação do caixilho ao corpo-de-prova durante o procedimento de preparação do ensaio e conexão da polia com o equipamento de tração.

### 3.4 Ensaio Realizados

Como o objetivo do trabalho foi desenvolver e verificar a viabilidade técnica, a sensibilidade e a confiabilidade do método de ensaio desenvolvido, foi programado um grupo de ensaios de aderência com variáveis que se considerava suficientes e adequados para a obtenção dos resultados desejados.

Aproveitou-se neste trabalho, um projeto de pesquisa em andamento que visava o desenvolvimento de tecnologia de assentamento com junta seca, de peças de grandes dimensões retificadas.

Nesta pesquisa, as variáveis em investigação eram, além da idade dos ensaios, o tipo de argamassa utilizada para a colagem das peças cerâmicas e a geometria das mesmas. Foram utilizadas argamassa colante para interiores, argamassa colante para exteriores e argamassa mista de cimento, cal e areia.

As argamassas colantes são produtos comerciais amplamente utilizados no comércio da região, e são classificadas pela NBR 14081/98, como:

ACI – Argamassa colante industrializada para interiores;

ACII - Argamassa colante industrializada para exteriores.

Como argamassa mista, utilizou-se o traço em peso na proporção de 1:1:6 de cimento Portland comum, cal hidratada e areia (seca em estufa), classificada como fina segundo a NBR 7211.

### 3.5 Preparação das amostras

A moldagem dos corpos-de-prova com argamassas colantes obedeceu as orientações descritas na norma técnica NBR 14082/98, ou seja, foi preparada argamassa suficiente para a moldagem de um substrato de cada vez.

Esta argamassa foi espalhada sobre o substrato de concreto com o auxílio do lado liso de uma desempenadeira denteada. Após, com esta mesma desempenadeira, formou-se os cordões de argamassa, sobre os quais foram assentados os corpos-de-prova (cerâmicas de teste), conforme determina a NBR 14084/98. Este procedimento consiste em posicionar, após 5 minutos do espalhamento da argamassa sobre o substrato, as cerâmicas com o devido espaçamento entre peças. Sobre estas foi colocado um peso padrão de  $(20 \pm 0,5)$  N nas peças de seção quadrada de lado 5 x 5 cm, destinadas ao ensaio de cisalhamento. Para manter a mesma proporção, para as peças circulares de raio igual a 5 cm, destinadas ao ensaio de tração direta, utilizou-se um peso de 15,7 N e para as peças retangulares (4x8 cm), destinadas aos ensaios de cisalhamento, um peso de 25,6 N. Este peso foi mantido sobre cada peça cerâmica durante um tempo de 30 segundos. Após, as placas foram curadas até a idade de ensaio em ambiente de laboratório, sendo mantidas na posição horizontal, por pelo menos sete dias.

Observa-se que, devido ao procedimento de ensaio previsto ao cisalhamento, achou-se adequado que a face onde é aplicado o carregamento, conforme demonstrado em 3.2.2, fosse posicionada de forma a manter um paralelismo com as bordas do substrato. Para garantir esta condição durante a moldagem dos substratos, foi utilizada

uma régua de madeira, que serviu como guia para manter esta condição, como mostra a figura 3.13, sendo retirada, logo após a utilização do peso padrão sobre as cerâmicas.

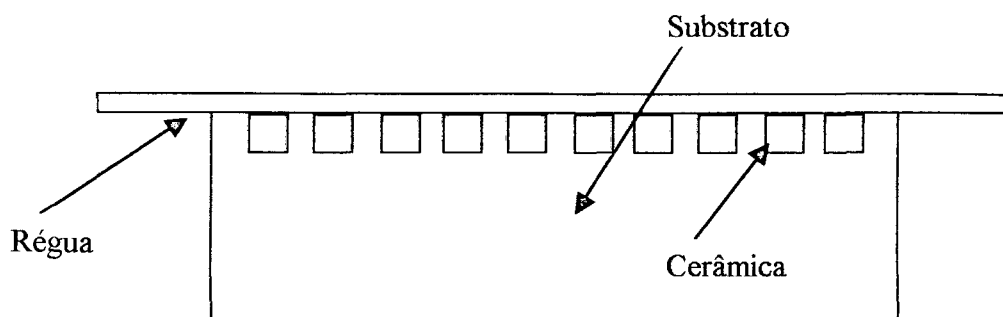


Figura 3.13 – Esquema para assentamento das peças cerâmicas destinadas ao ensaio de cisalhamento

Durante o esmagamento dos cordões de argamassa pelo conjunto cerâmica/peso-padrão, surgem rebarbas ao redor do corpo de prova, as quais, invariavelmente, foram retiradas antes do endurecimento da argamassa, com a finalidade de não prejudicar o posicionamento do caixilho metálico, dificultando o processo de nivelamento do aparelho de tração.

Para as argamassas mistas, de cimento, cal e areia, adotou-se procedimento diferenciado para a fixação das cerâmicas. Utilizou-se a mesma régua metálica, porém, não foi utilizada a desempenadeira denteada. Como critério de assentamento do revestimento, as cerâmicas foram umedecidas antes da sua utilização. Para esta argamassa, aplicou-se uma pequena quantidade de argamassa, pontualmente, somente no local onde a cerâmica deveria ser posicionada. Esta argamassa foi esmagada, mediante leves batidas na superfície da cerâmica, até que a mesma atingisse uma espessura padrão de aproximadamente 3 mm.

Após o período de cura, cada painel foi posicionado individualmente no suporte metálico para início dos ensaios, conforme figuras 3.14 e 3.15, sendo então colocado em volta da peça cerâmica a ser ensaiada, o caixilho metálico, conectado ao equipamento de tração. Neste momento, antes do início dos ajustes, era posicionada a placa de neoprene entre a face inferior do corpo-de-prova e o caixilho metálico. O parafuso de fixação pode ser utilizado neste procedimento, como mecanismo auxiliar para a realização das regulagens iniciais do equipamento, antes da aplicação da carga e/ou conexão do caixilho com o equipamento de tração. As regulagens finais e a verificação do paralelismo do pistão com a superfície esmaltada da cerâmica sempre foram feitas com o parafuso solto.

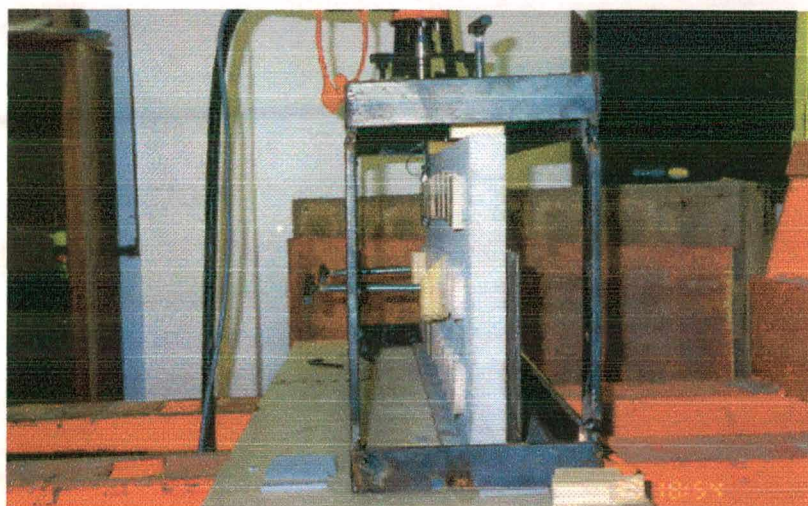


Figura 3.14 – Substrato fixado ao suporte, pronto para o ensaio.

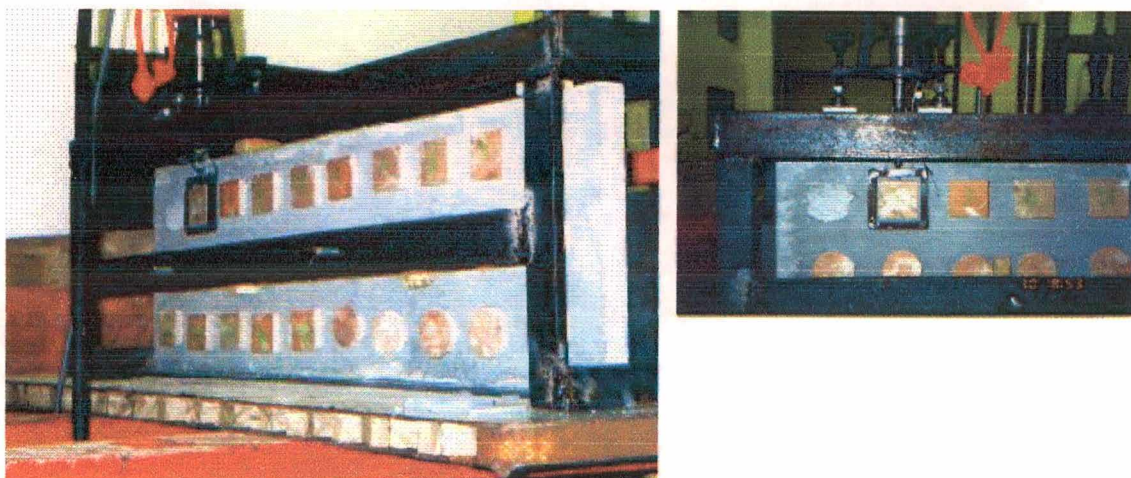


Figura 3.15 – Substrato fixado ao suporte, com caixilho metálico posicionado na cerâmica de teste.

O processo de regulagens do ensaio consistiu basicamente no nivelamento do equipamento de tração em relação à superfície da cerâmica a ser ensaiada.

Neste processo de regulagem, o caixilho metálico foi mantido perfeitamente alinhado com a superfície frontal da cerâmica (superfície esmaltada), sem que pudessem ser observados visualmente, desvios entre a parte inferior e a superior do corpo de prova, como mostra o esquema da figura 3.16.



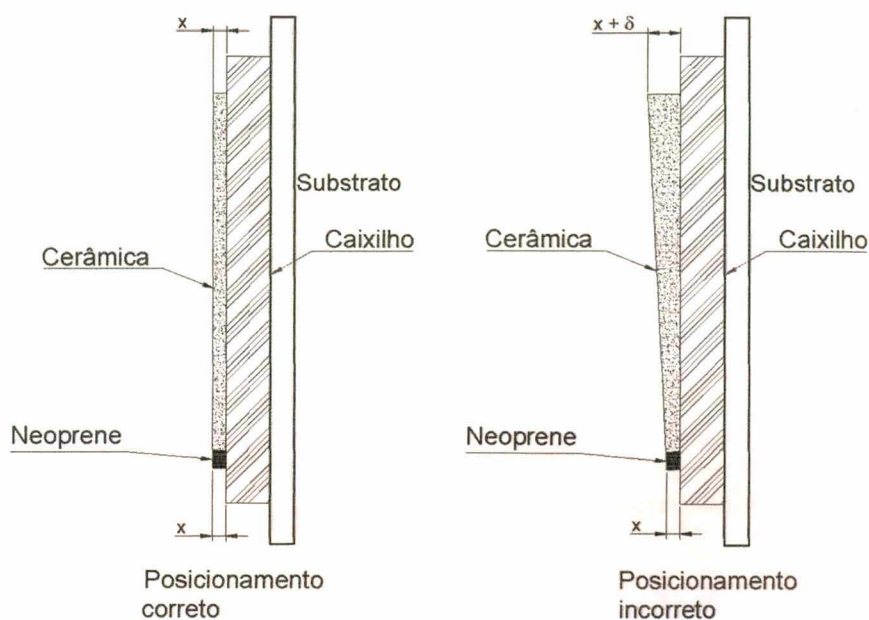


Figura 3.16 – Esquema demonstrativo do correto posicionamento do caixilho em relação à face esmaltada da cerâmica.

Mantida esta condição, com o cabo de aço tracionado para garantir melhor perfeição nas regulagens, fazia-se então, o nivelamento do equipamento de tração. Satisfeitas estas condições, ou seja, nivelamento do equipamento e do caixilho, tomando-se como referência a cerâmica de teste, iniciava-se o processo de aplicação de carga.

### 3.6 Ensaios desenvolvidos

O programa experimental foi dividido em três diferentes etapas, procurando avaliar o comportamento e a sensibilidade do método de ensaio desenvolvido em relação às diferentes variáveis utilizadas.

Foram utilizados quatro tipos diferentes de argamassas, sendo três argamassas colantes industrializadas, de dois fabricantes diferentes, e uma argamassa mista de cimento, cal e areia. Essas argamassas industrializadas estão referenciadas da seguinte maneira:

**Tipo I** : Fabricante 1; classificação: AC II – para utilização em fachadas.

**Tipo II**: Fabricante 2; classificação: AC I – para utilização em interiores.

**Tipo III**: Fabricante 2; classificação: ACII – para utilização em fachadas.

A primeira etapa foi composta pela confecção de oito substratos padrão de concreto, onde foram coladas pastilhas cerâmicas circulares para ensaio de aderência à tração e pastilhas quadradas para ensaio de aderência ao cisalhamento.

Nesta etapa, após o período de cura de 28 dias, os painéis foram fixados em grupos de três, em um caixilho metálico, encaixado na porta de uma câmara de ensaios climáticos. A câmara utilizada (FITOCLIMA 1500EDTU20 da ARALAB) permite a realização de ciclos controlados de temperatura e umidade, simulando o envelhecimento do sistema.

Os painéis foram posicionados de forma que as cerâmicas ficassem expostas aos ciclos de variação de temperatura e umidade, e a outra face do substrato padrão, exposta ao ambiente de laboratório, como mostra a figura 3.17



Face voltada para o interior da câmara      Face voltada para o ambiente de laboratório

Figura 3.17 – Posicionamento dos substratos-padrão em câmara climática.

Nestas condições, foram executados conjuntos de 120 ciclos com duração de três horas cada. As temperaturas máximas médias, medidas na face interna dos substratos, ficaram em torno de 68°C e as mínimas médias em torno de 18°C. O valor desta temperatura foi fixado com base em considerações e cálculos feitos por RIVERO (1986) para superfícies verticais na cidade de Porto Alegre, RS, considerando um dia quente de verão.

Segundo este procedimento inicial, os painéis foram expostos em diferentes quantidades de ciclos, como mostra a tabela 3.1

Tabela 3.1 – Quantidade de ciclos climáticos a que foram submetidos os painéis.

Argamassa tipo I	Argamassa tipo II
120 ciclos*	120 ciclos*
240 ciclos	240 ciclos*
360 ciclos	--

Para os painéis identificados com asterisco, foram moldados painéis de referência, os quais foram ensaiados com idade de 43 dias, equivalentes à soma do período de cura (28 dias) com o período de 120 ciclos (15 dias). Estes painéis foram mantidos em ambiente de laboratório até a data de ensaio.

Como os substratos foram agrupados em grupos de três, para a otimização dos ciclos foi obedecida a seguinte configuração:

Tipo I	*1	Primeiro conjunto de 120 ciclos;
Tipo I	*2	Colocação na câmara de três painéis com argamassa Tipo I;
Tipo I	*3	Painel *1 Retirado após a conclusão de 120 ciclos e substituído por painel com argamassa Tipo II;
Painéis *2 e *3 mantidos para outro conjunto de ciclos.		
Tipo II	*4	Segundo conjunto de 120 ciclos;
Tipo I	*2	Painel *2 retirado após a conclusão de 240 ciclos e substituído por painel com argamassa Tipo II;
Tipo I	*3	Painéis *4 e *3 mantidos para outro conjunto de ciclos.
Tipo II	*4	Após a conclusão de mais 120 ciclos, os três painéis restantes foram retirados da câmara;
Tipo II	*5	Painel *5 retirado com 120 ciclos;
Tipo I	*3	Painel *4 retirado com 240 ciclos;
Painel *3 retirado com 360 ciclos.		

A segunda etapa dos ensaios consistiu na confecção de nove substratos-padrão, ensaiados em idades variadas, todos curados em ambiente de laboratório. Foram utilizados aqui, três diferentes tipos de argamassas colantes.

Na terceira e última etapa, foram confeccionados seis substratos-padrão, sendo que em dois deles foi utilizada argamassa mista (cimento, cal e areia) e nos outros quatro, argamassa colante industrializada. Nestes ensaios foram moldados em cada painel, peças cerâmicas para ensaios de cisalhamento, com dimensões de 50x50 mm e 40x80 mm e para os ensaios de tração, peças circulares com diâmetro de 50 mm, conforme apresentado na figura 3.1.

# CAPITULO 4

## ANÁLISE EXPERIMENTAL

### 4.1 Sensibilidade dos ensaios em substratos submetidos a ciclos climáticos

Aqui estão apresentados os resultados comparativos do comportamento e da sensibilidade dos ensaios quando os corpos-de-prova foram submetidos à ação de ciclos higrotérmicos em câmara climática, conforme descrito no item 3.6.

Foram utilizados dois tipos de argamassa colante com características diferentes, sendo uma para assentamento de revestimentos em superfícies internas (definida como Tipo II) e outra para revestimentos externos (definida como Tipo I).

De forma resumida, os ensaios realizados nesta etapa do trabalho podem ser assim descritos:

**Nº de substratos:** 8                      **Tipos de argamassa:** 2 (ACI e ACII)

**Ensaio realizado:** Em todos os substratos foram ensaiadas peças à tração direta e ao cisalhamento, na geometria (5x5 cm)

**Condições de cura:**

**Painel de referência:** 43 dias em ambiente de laboratório (28 dias de cura + 15 dias correspondentes ao período, em dias, que um substrato padrão, ensaiado com 120 ciclos permanecia na câmara climática).

**Painéis ciclados:**

120 ciclos: 28 dias em ambiente de laboratório + 15 dias em câmara climática.

240 ciclos: 28 dias em ambiente de laboratório + 30 dias em câmara climática.

360 ciclos: 28 dias em ambiente de laboratório + 45 dias em câmara climática.

A tabela 4.1 apresenta um resumo dos valores das resistências obtidas para os ensaios de cisalhamento e tração direta (arrancamento) dos painéis submetidos a ciclos climáticos.

Tabela 4.1 – Resumo dos valores das resistências dos ensaios, por painel.

		Argamassa Tipo I			
		TI Referência	TI-120	Tipo I - 240	Tipo I - 360
n. ciclos		0	120	240	360
r <sup>2</sup> do substrato		1.1	2.1	3.1	4.1
Idade (dias)		43	43	58	73
cisalhamento	Média (Mpa)	0,97	1,55	1,98	2,05
	Desvio padrão	0,34	0,24	0,26	0,33
	C.V. (%)	35,16	15,69	12,89	16,02
	máximo (MPa)	1,48	2,20	2,56	2,70
	mínimo (MPa)	0,47	1,21	1,53	1,69
	n	15	15	14	15
arrancamento	Média (Mpa)	1,05	1,58	1,61	1,81
	Desvio padrão	0,21	0,46	0,25	0,52
	C.V. (%)	19,89	29,32	15,56	28,72
	máximo (MPa)	1,46	2,17	2,09	2,76
	mínimo (MPa)	0,78	0,89	1,21	0,99
	n	14	14	11	14
		Argamassa Tipo II			
		TII Referência*	TII Referência**	Tipo II - 120	Tipo II - 240
n. ciclos		0	0	120	240
r <sup>2</sup> do substrato		5.1	6.1	7.1	8.1
Idade (dias)		43	43	43	58
cisalhamento	Média (Mpa)	1,01	1,21	1,53	1,80
	Desvio padrão	0,19	0,06	0,29	0,24
	C.V. (%)	18,47	5,21	18,65	13,08
	máximo (MPa)	1,25	1,31	1,95	2,10
	mínimo (MPa)	0,69	1,10	1,11	1,29
	n	14	15	7	13
arrancamento	Média (Mpa)	0,90	1,09	1,67	1,75
	Desvio padrão	0,37	0,22	0,55	0,34
	C.V. (%)	40,99	20,25	33,05	19,53
	máximo (MPa)	1,61	1,49	2,55	2,22
	mínimo (MPa)	0,34	0,66	0,84	1,07
	n	13	15	10	15

\* Painel de referência moldado junto com painel submetido a 240 ciclos.

\*\*Painel de referência moldado junto com painel submetido a 120 ciclos.

Graficamente, podem ser observados os comportamentos das resistências de aderência para cada tipo de ensaio e para cada tipo de argamassa, nas figuras 4.1 e 4.2.

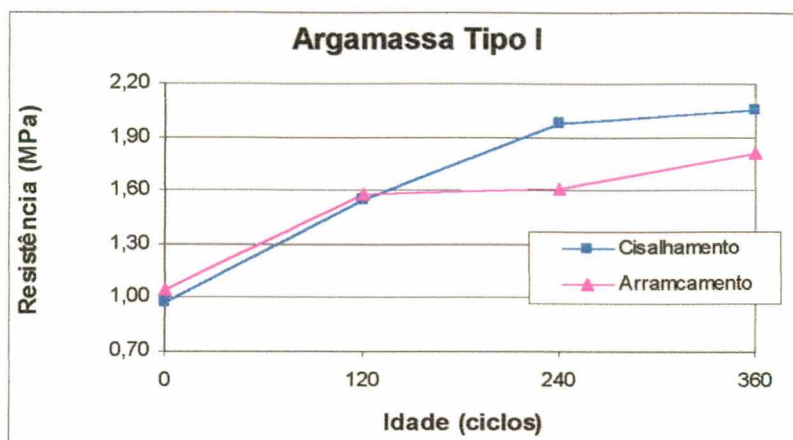
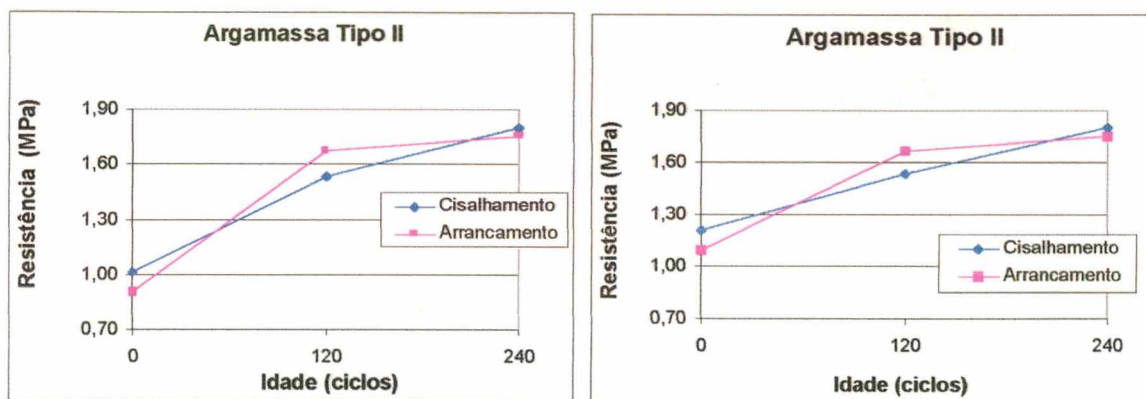


Figura 4.1 – Comportamento das resistências de aderência para argamassa tipo I, em função do número de ciclos climáticos.



(a) Substrato de referência moldado com substrato submetido a 240 ciclos

(b) Substrato de referência moldado com substrato submetido a 120 ciclos

Figura 4.2 – Comportamento das resistências de aderência para argamassa tipo II, em função do número de ciclos climáticos.

Pode ser observado nas figuras 4.1 e 4.2 que apesar de ocorrerem algumas variações nos traçados das curvas de resistência em função do acréscimo de idade (em ciclos), em ambas argamassas há o acréscimo da resistência à medida que aumenta o período de ação das variações climáticas. Este comportamento ocorre tanto para os ensaios de arrancamento como para os ensaios de cisalhamento. O aumento da resistência, talvez possa ser explicado em função de uma melhora no processo de cura das argamassas ocasionada pelo maior grau de hidratação do cimento, em função dos ciclos de umidade e temperatura impostos ao sistema.

Pode também ser observada uma tendência de igualdade dos resultados dos ensaios de cisalhamento comparados com os de tração para as argamassas tipo I e II nos

substratos de referência (não submetidos aos ciclos climáticos), permanecendo esta igualdade após 120 ciclos na argamassa tipo I e uma tendência a uma resistência ao arrancamento maior que a de cisalhamento para a argamassa tipo II. Para 240 ciclos observa-se que os valores podem ser considerados iguais para a argamassa tipo II e a resistência ao cisalhamento apresenta um distanciamento da resistência ao arrancamento para a argamassa tipo I, mantendo-se nesta situação até 360 ciclos.

#### 4.1.1 Análise estatística dos resultados

Para cada conjunto de ensaios em um mesmo painel, foi inicialmente verificado o tipo de distribuição estatística que a amostra seguia. Através da utilização do método de Kolmogorov-Smirnov, utilizando-se um nível de confiança de 95%, em todos os ensaios, a hipótese de normalidade não pôde ser descartada, sendo então os dados tratados como distribuição normal de valores.

Também, em nenhum substrato, apesar dos altos coeficientes de variação encontrados em algumas séries de ensaio, foi constatada a existência de valores espúrios. A análise dos espúrios foi feita para cada painel, em cada conjunto de um mesmo tipo de ensaio.

Através de uma comparação entre os valores de resistências médias dos ensaios de cisalhamento com os valores médios dos ensaios de arrancamento, individualmente para cada painel, buscou-se analisar eventual diferença significativa entre os mesmos. Para isto adotou-se uma análise de variância, conforme metodologia descrita por NANNI (1986).

Para o desenvolvimento destas análises, adotou-se as funções contidas na planilha EXCEL 2000. Essa análise é feita através de dois testes: teste “F” e teste “t”

O primeiro teste, definido como teste “F” é utilizado para identificar se as variâncias dos conjuntos de dados analisados são equivalentes ou diferentes. Através deste teste é definido qual o procedimento para a próxima análise.

O segundo teste, definido como “t” será utilizado, conforme explicado, em função do resultado obtido no teste “F”, da seguinte forma:

Se constatado, através do teste “F” que as variâncias são equivalentes, utiliza-se o teste “t” presumindo variâncias equivalentes; se constatado, através do teste “F” que as variâncias são diferentes, utiliza-se o teste “t” presumindo variâncias diferentes.



Os testes foram feitos individualmente para cada painel, comparando os conjuntos de ensaios, conforme as necessidades das análises.

Obtidas estas análises, fez-se a comparação dos valores médios, individualmente para cada painel, presumindo as variâncias equivalentes ou não, como demonstrado nas tabelas 4.2 e 4.3.

Tabela 4.2 - Teste F: duas amostras para variâncias – substrato TI – referência.

	<i>Cisalhamento</i>	<i>Tração direta</i>
Média (MPa)	0,97	1,05
Variância	0,1157	0,0432
Observações	15	14
gl	14	13
F	2,67432	
P(F<=f) uni-caudal	0,04245	
F crítico uni-caudal	2,55362	

Logo, como  $F > F_{\text{crítico}}$ , pode-se dizer, com uma confiabilidade de 95% que as variâncias dos ensaios de cisalhamento e tração direta desse substrato não são iguais.

A partir dessa análise, pode-se fazer a análise de comparação das médias. Para este caso, deve ser utilizado o teste “t” presumindo variâncias diferentes.

Tabela 4.3 – Teste t: comparação de duas amostras presumindo variâncias diferentes – substrato TI – referência.

	<i>Cisalhamento</i>	<i>Tração direta</i>
Média (MPa)	0,97	1,05
Variância	0,1157	0,0432
Observações	15	14
Hipótese da diferença de média	0	
gl	23	
Stat t	-0,75090	
P(T<=t) uni-caudal	0,23016	
t crítico uni-caudal	1,71387	
P(T<=t) bi-caudal	0,46033	
t crítico bi-caudal	2,06865	

Logo, como  $t (0,75090) < t_{\text{crítico}} (2,06865)$ , pode-se dizer, com uma confiabilidade de 95% que a hipótese de igualdade das médias das amostras dos ensaios de cisalhamento e tração direta, para esse substrato, não pode ser descartada.

O resumo dos resultados das demais análises está demonstrado na tabela 4.4.

Nesta análise observa-se que os valores dos ensaios de cisalhamento e arrancamento não podem ser considerados diferentes, adotando-se um nível de confiabilidade de 95%. A exceção é o painel com argamassa Tipo I, submetida a 240 ciclos. Através das figuras 4.1 e 4.3, observa-se que neste painel, em especial, ocorre uma aproximação dos valores do coeficiente de variação e um afastamento dos valores médios das resistências. Em todos os outros, observa-se um distanciamento dos valores dos coeficientes de variação e uma aproximação dos valores das resistências.

Tabela 4.4 – Resumo da comparação resistências dos ensaios de cisalhamento com os ensaios de arrancamento para cada substrato.

Tipo de argamassa	Comparação de médias com 95 % de confiança
TI – referência	Iguais
TI – 120	Iguais
TI – 240	Diferentes
TI – 360	Iguais
TII – referência	Iguais
TII – referência	Iguais
TII – 120	Iguais
TII – 240	Iguais

#### 4.1.2 Avaliação da sensibilidade do método de ensaio frente ao envelhecimento por ciclos climáticos.

Através de uma comparação dos ensaios do mesmo tipo (cisalhamento x cisalhamento e arrancamento x arrancamento), pode-se verificar se existe alguma variação na sensibilidade dos ensaios e, se a ciclagem aplicada nos substratos afetam de forma significativa à resistência de aderência.

Pela tabela 4.5, resumo de análise de ANOVA (comparação múltipla das médias), pode-se verificar que os ensaios de cisalhamento apresentam uma tendência a uma maior consistência na afirmação de que o envelhecimento afeta de forma

significativa a resistência de aderência do que os ensaios de arrancamento, apesar de ambos ensaios apresentarem a mesma conclusão.

Tabela 4.5 – Resumo do teste de ANOVA, avaliando a sensibilidade dos ensaios frente às condições de envelhecimento.

Argamassa	Ensaio	F	F crítico
Tipo I	Cisalhamento	41,75	2,78
	Arrancamento	9,78	2,79
Tipo II	Cisalhamento	43,32	2,81
	Arrancamento	17,20	2,79

Além destes dados, há outro fator importante a ser observado, e que deve ser levado em consideração para o processo de análise, o coeficiente de variação, o qual apresenta-se da seguinte forma para as duas argamassas (figuras 4.3 e 4.4).

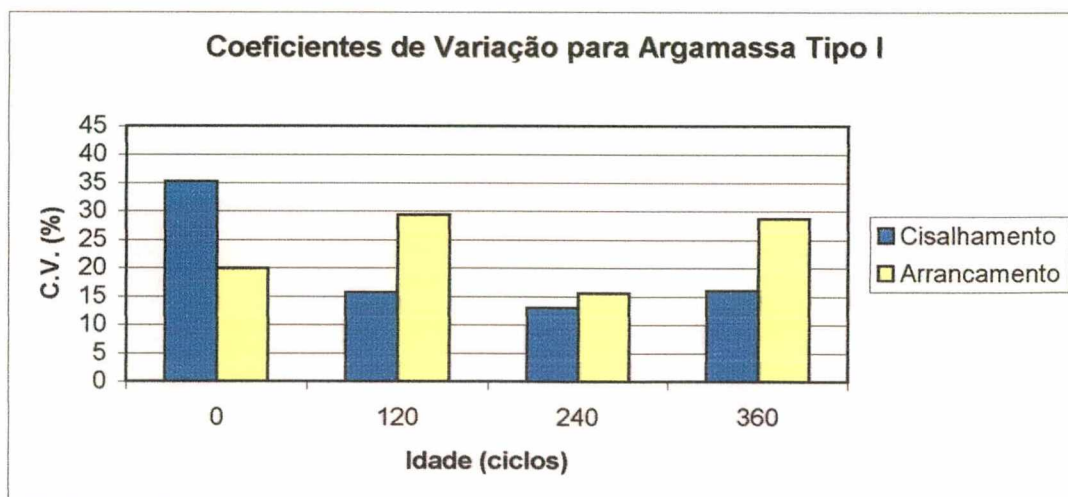


Figura 4.3 – Comparação dos coeficientes de variação para ensaios de arrancamento e cisalhamento – Argamassa Tipo I

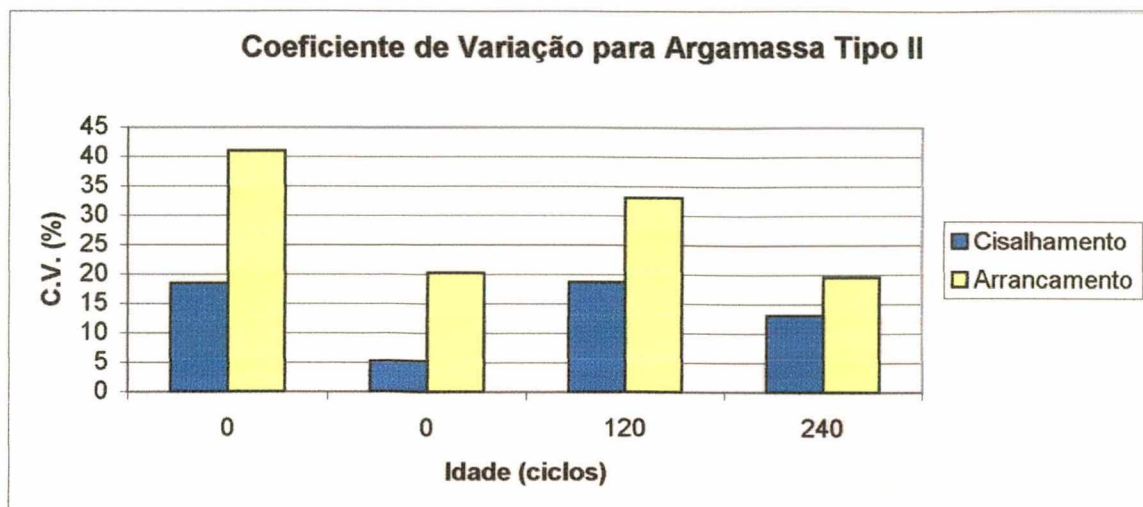


Figura 4.4 – Comparação dos coeficientes de variação para ensaios de arrancamento e cisalhamento – Argamassa Tipo II

Para os dois tipos de argamassa, é visível a tendência do coeficiente de variação ser maior para os ensaios de arrancamento em relação aos de cisalhamento, com exceção do painel comparador para a argamassa tipo I (não há explicação aparente). Cabe salientar que nesta primeira etapa foram necessários, também, alguns ajustes no dispositivo desenvolvido para o ensaio de cisalhamento, podendo ter afetado alguns resultados.

#### 4.1.3 Análise de correlação dos ensaios

Após a verificação do comportamento das resistências de aderência à tração e ao cisalhamento, quanto à igualdade ou não dos valores obtidos nos ensaios ( $\sigma =$  ou  $\neq \tau$ ), foi investigada a existência de uma correlação entre os valores, ou seja, se a partir do ensaio de arrancamento, podem ser previstos resultados da resistência de cisalhamento, com a utilização dos métodos aqui estudados.

Graficamente, conforme pode ser observado nas figuras 4.5 e 4.6, existe a tendência a uma correlação das resistências, tendo sido obtido um "r" igual a 0,95 ( $r^2=0,8985$ ) para o ensaio com a argamassa tipo I e igual a 0,97 ( $r^2=0,9378$ ) para o ensaio com a argamassa tipo II, podendo então, de acordo com os ensaios realizados, a

resistência obtida por cisalhamento de peças com geometria de 5x5 cm ser prevista em função da resistência obtida pelo ensaio de arrancamento.

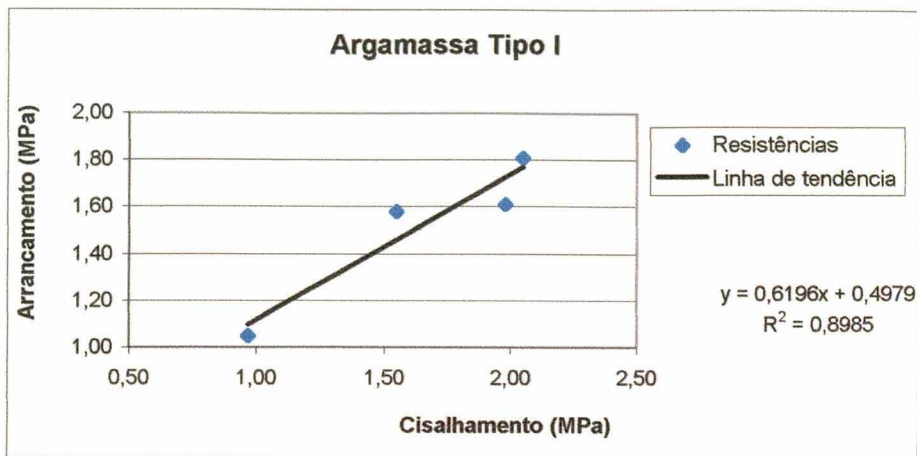


Figura 4.5 – Correlação dos ensaios de arrancamento e cisalhamento.

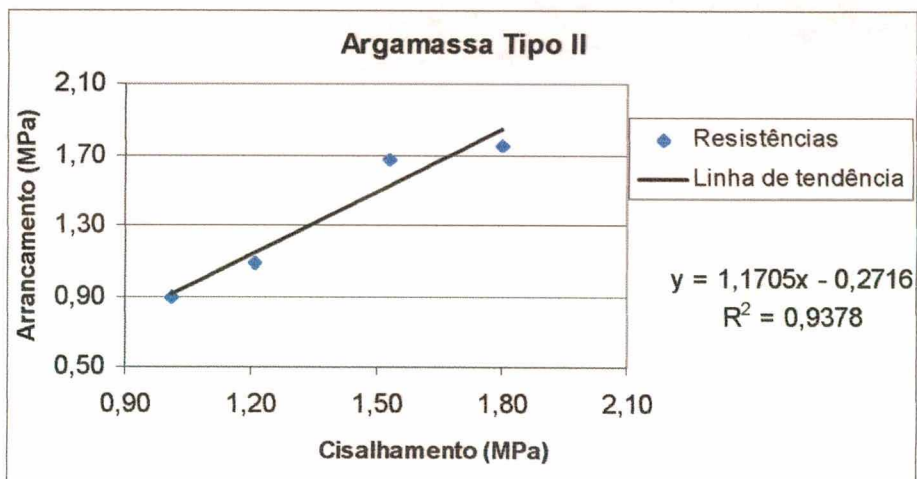


Figura 4.6 – Correlação dos ensaios de arrancamento e cisalhamento.

## 4.2 Sensibilidade do ensaio de cisalhamento para diferentes idades e tipos de argamassas.

Nesta etapa foi avaliado, o comportamento dos ensaios de cisalhamento em relação aos ensaios de arrancamento para argamassas com diferentes características e, em diferentes idades.

Foram utilizados três tipos de argamassas, com as quais foram moldados oito substratos-padrão, divididos da seguinte forma:

- Dois substratos com argamassa tipo I, com peças para cisalhamento com dimensões de 4x8 cm, ensaiados em idade de 50 dias;
- Três substratos com argamassa tipo II, sendo dois, moldados com peças para cisalhamento com dimensões de 4x8 cm e um com peças destinadas ao ensaio de cisalhamento com dimensões de 5x5 cm, ensaiados com idade de 40 dias;
- Três substratos com argamassa tipo III, sendo dois, moldados com peças para cisalhamento com dimensões de 4x8 cm e um com peças destinadas ao ensaio de cisalhamento com dimensões de 5x5 cm, ensaiados com idade de 60 dias.

Os ensaios com as idades iguais (pares) serviram para uma avaliação da variabilidade dos ensaios, considerando-se como única variável interveniente, o substrato padrão.

As duas geometrias das peças destinadas ao ensaio de cisalhamento (argamassas tipo II e III) permitiram uma avaliação prévia do comportamento das resistências frente esta variável de ensaio, a qual será mais detalhada no item 4.3.

De forma resumida, os ensaios realizados nesta etapa do trabalho podem ser assim descritos:

**Nº de substratos:** 8                      **Tipos de argamassa:** 3 (Tipo I = ACII; Tipo II = ACI fabricante 2 e Tipo III = ACII fabricante 2)

**Ensaio realizado:** Argamassa Tipo I:  
2 substratos; ensaios de tração e cisalhamento (4x8 cm).  
Argamassa Tipo II :  
2 substratos; ensaios de tração e cisalhamento (4x8 cm).  
1 substrato: ensaios de tração e cisalhamento (5x5 cm).  
Argamassa Tipo III :  
2 substratos; ensaios de tração e cisalhamento (4x8 cm).  
1 substrato: ensaios de tração e cisalhamento (5x5 cm).

**Condições de cura:**

Tipo de argamassa:

- Tipo I: 50 dias em ambiente de laboratório.
- Tipo II: 40 dias em ambiente de laboratório.
- Tipo III: 60 dias em ambiente de laboratório.

As tabelas 4.6 e 4.7 apresentam o resumo dos valores médios das resistências obtidas para os ensaios de cisalhamento e arrancamento dos painéis, ensaiados com idades de 40, 50 e 60 dias e com os três diferentes tipos de argamassas colantes.

Tabela 4.6 – Resumo dos dados para o comportamento dos ensaios considerando as diferentes idades de cura e tipos de argamassas– substratos com cisalhamento de peças com geometria 4x8 cm.

		T I	TI	T II	T II	T III	T III
		nº do substrato	1.2	2.2	3.2	4.2	5.2
	idade (dias)	50	50	40	40	60	60
cisalhamento peças 4x8	Média (Mpa)	1,04	1,07	0,78	0,81	1,27	1,22
	Desvio padrão	0,08	0,08	0,05	0,10	0,11	0,07
	C.V. (%)	8,14	7,49	6,81	12,54	8,50	5,72
	Máximo (MPa)	1,17	1,20	0,88	0,94	1,41	1,31
	Mínimo (MPa)	0,88	0,90	0,68	0,65	1,07	1,06
	n	15	15	12	15	13	12
arrancamento	Média (Mpa)	0,78	0,96	0,30	0,45	0,81	1,03
	Desvio padrão	0,20	0,15	0,13	0,16	0,19	0,19
	C.V. (%)	25,78	15,96	42,43	35,28	22,89	18,24
	Máximo (MPa)	1,11	1,13	0,55	0,73	1,12	1,43
	Mínimo (MPa)	0,48	0,65	0,10	0,23	1,43	0,69
	n	14	15	9	14	13	15

Tabela 4.7 – Resumo dos dados para o comportamento dos ensaios considerando as diferentes idades de cura e tipos de argamassas – substratos com cisalhamento de peças com geometria 5x5 cm.

		T II	T III
		nº do substrato	7.2
	idade (dias)	40	60
cisalhamento peças 5x5	Média (Mpa)	0,85	1,33
	Desvio padrão	0,15	0,08
	C.V. (%)	17,42	6,30
	Máximo (MPa)	1,05	1,49
	Mínimo (MPa)	0,49	1,23
	n	15	15
arrancamento	Média (Mpa)	0,54	1,17
	Desvio padrão	0,19	0,15
	C.V. (%)	35,64	12,93
	Máximo (MPa)	0,90	1,39
	Mínimo (MPa)	0,28	0,94
	n	14	10

#### 4.2.1 Análise do comportamento dos ensaios

De forma idêntica aos ensaios nos substratos submetidos aos ciclos higrotérmicos, foi feito para cada conjunto de ensaios de um mesmo painel, a análise do tipo de distribuição estatística que a amostra seguia. Através da utilização do método de Kolmogorov-Smirnov, utilizando-se um nível de confiança de 95%, em todos os ensaios, a hipótese de normalidade não pôde ser descartada, sendo então os dados tratados como distribuição normal de valores.

Também, em nenhum conjunto de ensaios, dentro de cada substrato, apesar dos altos coeficientes de variação encontrados em algumas séries de ensaio (substratos 1.2, 3.2 e 4.2), foi constatada a existência de valores espúrios.

As figuras 4.7, 4.8 e 4.9 permitem uma visualização do comportamento das resistências de aderência para os diferentes tipos de argamassas nas respectivas idades de ensaio. Em cada figura, para uma melhor visualização, estão plotados os pontos relativos aos dois substratos ensaiados na idade de 50 dias e aos três substratos ensaiados nas idades de 40 e 60 dias.

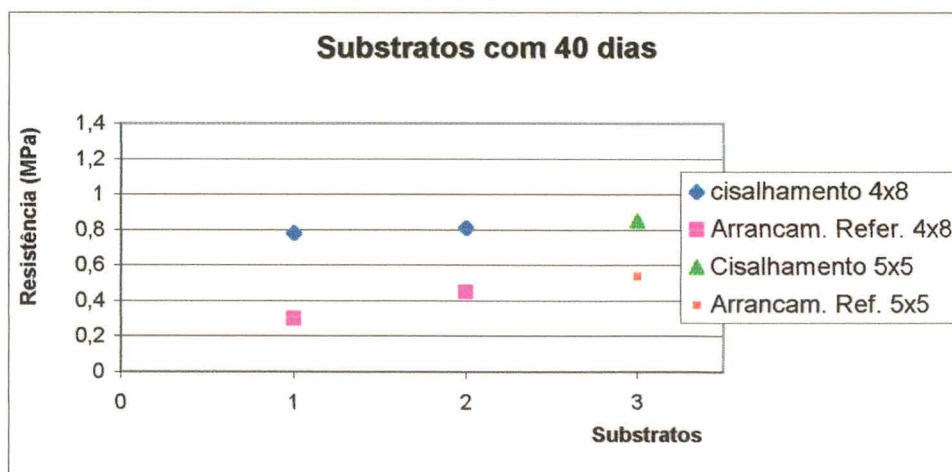


Figura 4.7 – Evolução das resistências, considerando os substratos ensaiados com idade de 40 dias e argamassa Tipo II.



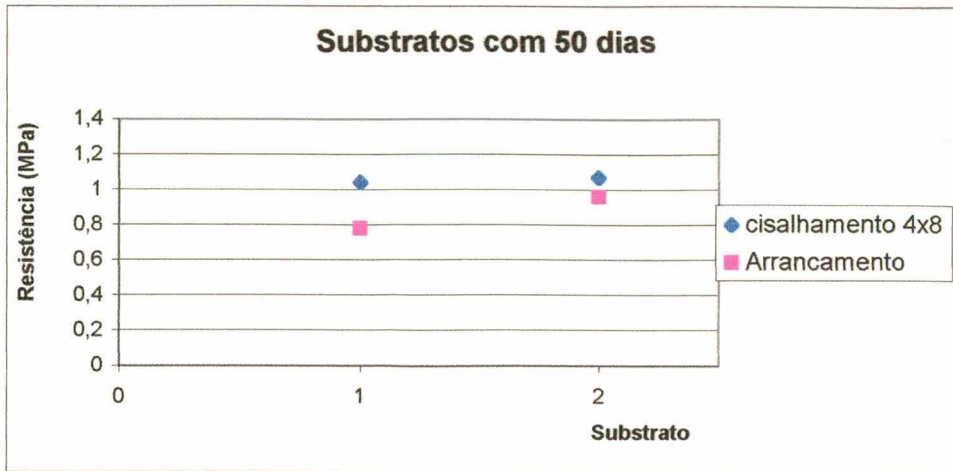


Figura 4.8 – Evolução das resistências, considerando os substratos ensaiados com idade de 50 dias e argamassa Tipo I.

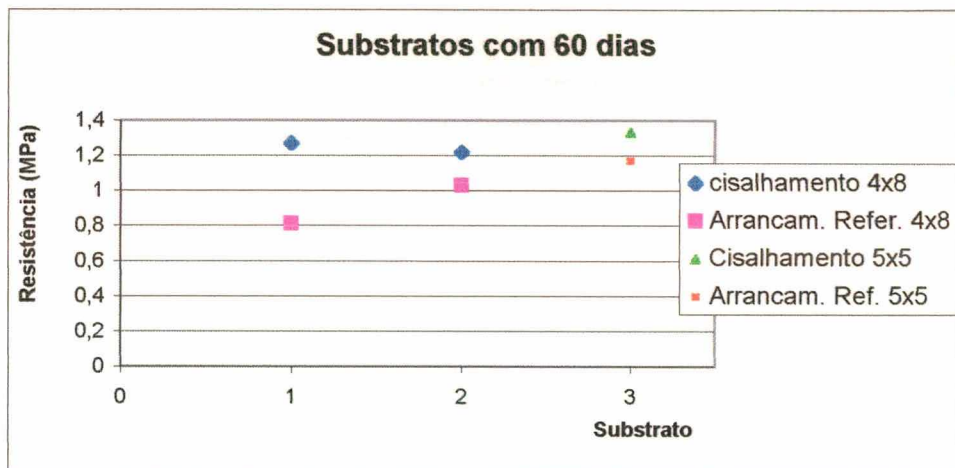


Figura 4.9 – Evolução das resistências, considerando os substratos ensaiados com idade de 60 dias e argamassa tipo III.

É importante salientar que as figuras 4.7, 4.8 e 4.9 estão tratando de ensaios de aderência executados para argamassas diferentes em cada idade demonstrada, o que leva à necessidade de interpretação dos resultados através de comparações das resistências de cisalhamento com as resistências de arrancamento, individualmente para cada idade de ensaio.

#### 4.2.2 Comparação dos ensaios de cisalhamento com os ensaios de arrancamento

Através das figuras 4.7, 4.8 e 4.9 observa-se a existência de uma tendência de o ensaio de aderência pelo método de cisalhamento apresentar sempre uma resistência maior do que a apresentada pelo método de aderência por tração. Esta tendência foi comprovada através de análise comparativa dos resultados médios dos ensaios de aderência à tração com os de aderência ao cisalhamento, feita através de estudo estatístico, conforme metodologia proposta por NANNI (1986).

Para o desenvolvimento desta análise, adotou-se a função contida na planilha EXCEL 2000, Teste F: duas amostras para variâncias. Obtidas estas análises, foi feita a comparação dos valores médios, individualmente para cada painel, presumindo as variâncias equivalentes ou não, segundo o teste “t”, de forma idêntica ao exposto nas tabelas 4.2 e 4.3. O resumo destas análises está apresentado na tabela 4.8.

Tabela 4.8 – Resumo da comparação das resistências dos ensaios de cisalhamento com os ensaios de arrancamento em cada substrato.

Tipo de argamassa	Comparação de médias com 95 % de confiança
Tipo I - 50 dias / cisalhamento 4x8	Diferentes
Tipo I - 50 dias / cisalhamento 4x8	Diferentes
Tipo II - 40 dias / cisalhamento 4x8	Diferentes
Tipo II - 40 dias / cisalhamento 4x8	Diferentes
Tipo III - 60 dias / cisalhamento 4x8	Diferentes
Tipo III - 60 dias / cisalhamento 4x8	Diferentes
Tipo II - 40 dias / cisalhamento 5x5	Diferentes
Tipo III - 60 dias / cisalhamento 5x5	Diferentes

Nesta análise, fica claro que os níveis de resistência dos ensaios de arrancamento, quando comparados com os ensaios de cisalhamento, em ambas geometrias, para as idades ensaiadas, são diferentes.

### 4.2.3 Avaliação da repetibilidade dos ensaios

É importante verificar se existe alguma variação dos resultados de um mesmo método de ensaio (cisalhamento ou tração), através do processo de repetibilidade, ou seja, comparando dois ou mais substratos, moldados pela mesma pessoa, nas mesmas condições, sem variar o tipo de argamassa e a idade do ensaio. Dessa forma mantém-se como única variável de ensaio, o substrato padrão.

Verifica-se que no método de cisalhamento, estatisticamente, não existe diferença entre as resistências de aderência para uma mesma idade de ensaio. Já para os ensaios de arrancamento, nas mesmas condições, com um nível de confiabilidade de 95%, todas as resistências são consideradas diferentes, ou seja, a repetibilidade foi constatada somente para os ensaios de cisalhamento, como demonstra a tabela 4.9.

A comparação múltipla de médias (ANOVA) foi feita, considerando-se grupos com níveis fixos. Para o método de cisalhamento, nesta análise estatística, foi possível a utilização de dois substratos para cada idade e, para o arrancamento, pôde-se fazer a comparação utilizando-se os três substratos, já que não houve variação da geometria das peças destinadas ao ensaio de arrancamento.

Tabela 4.9 – Resumo de análise – ANOVA – comparando-se a repetibilidade dos ensaios.

Tipo de argamassa	Substratos comparados	Tipo de comparação	F	F <sub>crítico</sub>	Comparação das resistências com 95 % de confiança
T1 – 50d	1.2 e 2.2	Cisalham. 4x8 com 4x8	1,45	4,20	iguais
	1.2 e 2.2	Arrancamento	7,30	4,21	diferentes
TII – 40d	3.2 e 4.2	Cisalham. 4x8 com 4x8	1,28	4,24	iguais
	3.2, 4.2 e 7.2	Arrancamento	5,60	3,28	diferentes
TIII – 60d	5.2 e 6.2	Cisalham. 4x8 com 4x8	1,92	4,28	iguais
	5.2, 6.2 e 8.2	Arrancamento	11,77	3,27	diferentes

Estes resultados demonstram que existe uma forte tendência dos resultados dos ensaios feitos pelo método de cisalhamento reproduzirem resultados com valores iguais, mesmo com a utilização de substratos diferentes para o ensaio, não ocorrendo o mesmo para os ensaios de arrancamento.

#### 4.2.4 Avaliação da sensibilidade dos métodos de ensaio comparando-se argamassas diferentes, ensaiadas em diferentes idades.

Essa comparação foi feita para verificar se os métodos de ensaio (cisalhamento e tração) são suficientemente sensíveis para identificar diferentes tipos de argamassas, em idades de cura diferentes, porém bastante próximas. Cabe salientar que as idades aqui apresentadas (40 a 60 dias), em um estudo paralelo, não apresentaram significativa diferença de resistência de aderência quando ensaiadas à tração. Neste estudo paralelo, o método de cisalhamento não foi empregado.

Neste sentido, foram feitas as comparações das resistências de aderência das argamassas Tipo I, Tipo II e Tipo III (Comparação múltipla de médias – ANOVA), com a intenção de verificar se o ensaio detecta alguma variação das resistências, apesar da pequena diferença de idade, considerando, entretanto, a natureza diferente de cada tipo de argamassa. A tabela 4.10 apresenta um resumo desta análise.

Tabela 4.10 – Resumo de análise – ANOVA – comparando-se a sensibilidade dos ensaios frente a diferentes argamassas com idades diferentes.

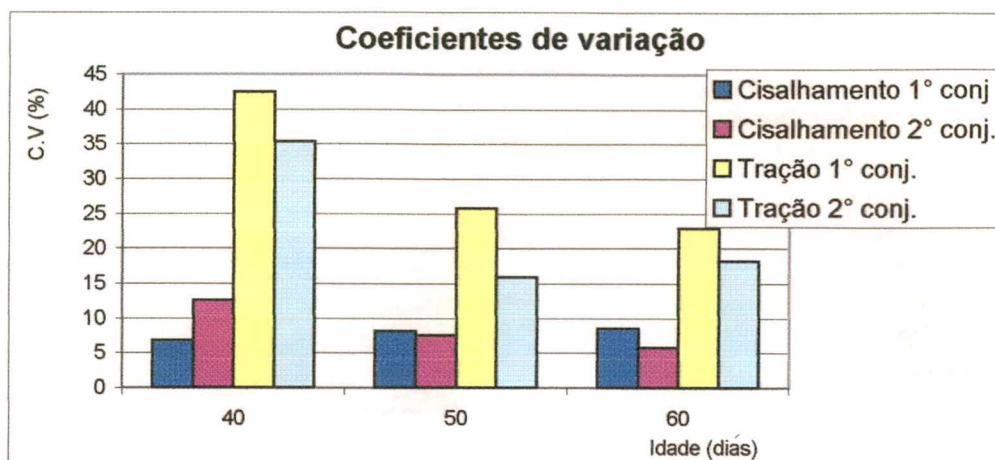
Tipo de comparação	F	Fcrítico	Comparação das resistências com 95 % de confiança
Cisalhamentos	73,14	2,33	Diferentes
Arrancamentos	33,07	2,34	Diferentes

Por esta avaliação, ambos os métodos apresentam uma boa sensibilidade em identificar as argamassas diferentes, em idades diferentes de ensaio, apesar da pequena diferença de idade entre as mesmas. Entretanto, pelo valor de “F”, observa-se uma tendência do ensaio de cisalhamento apresentar uma maior consistência na afirmação da diferença das resistências encontradas.

Uma análise complementar, comparando as resistências dos métodos de cisalhamento em ambas geometrias, está apresentada no item 4.3.

#### 4.2.5 Avaliação dos coeficientes de variação dos ensaios

Os coeficientes de variação salientam, ainda, a grande diferença entre os métodos estudados. Nesta segunda etapa, os valores apresentados demonstram uma menor dispersão de resultados para os ensaios de cisalhamento, em comparação com os de arrancamento, conforme demonstram as figuras 4.10 e 4.11.



Obs.: 1º conjunto = substratos 1.2, 3.2 e 6.2 e 2º conjunto = substratos 2.2, 4.2 e 6.2

Figura 4.10 – Comparação dos coeficientes de variação considerando cisalhamento com peças 4x8.

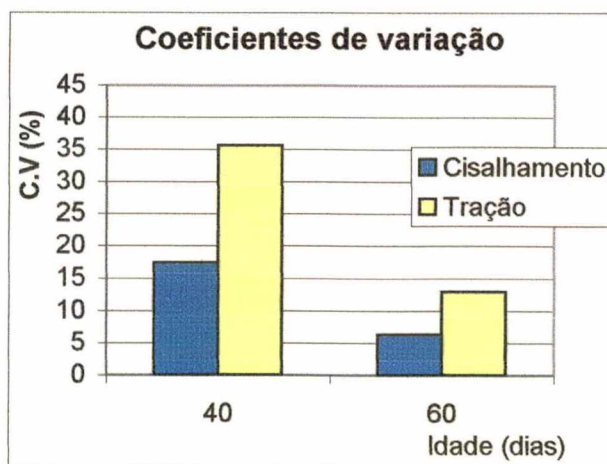


Figura 4.11 – Comparação dos coeficientes de variação considerando cisalhamento com peças 5x5.

Constata-se também que existe uma tendência de menor dispersão de resultados para as resistências ao arrancamento à medida que a idade dos ensaios é aumentada.

Isto, talvez, ocorra em função de um aumento no grau de hidratação dos compostos cimentícios, com o aumento da idade do ensaio.

#### 4.2.6 Análise de correlação dos ensaios

Para identificar se existe alguma relação direta entre os métodos de ensaio, foi realizada uma análise da correlação dos ensaios de aderência ao cisalhamento com os ensaios de aderência à tração.

Nesta análise, a exemplo dos resultados da primeira etapa (item 4.1.2 – substratos submetidos a ciclos higrotérmicos), observa-se uma forte correlação entre os valores dos ensaios de cisalhamento e arrancamento, conforme demonstrado na figura 4.12.

Através desta análise, para os valores de resistência média, apresentadas na tabela 4.6, foi obtido um coeficiente de correlação ( $r$ ) igual a 0,87 ( $r^2=0,7606$ ), considerando-se somente os ensaios de cisalhamento com geometria 4x8 cm. A análise para os ensaios de cisalhamento com peças de geometria 5x5 cm não pôde ser feita em função de se dispor somente de dois pontos, apresentados na tabela 4.7.

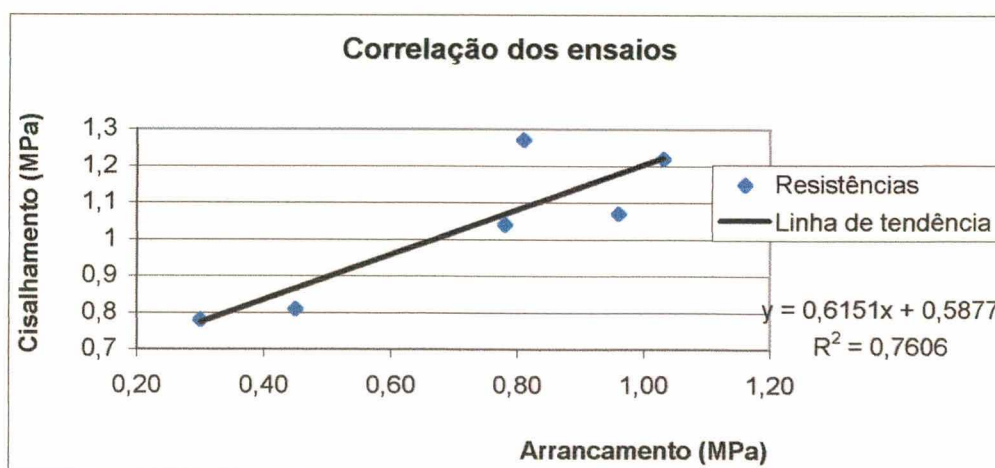


Figura 4.12 – Correlação entre as resistências de aderência dos ensaios de cisalhamento 4x8 com os ensaios de arrancamento.

Observa-se então, a exemplo da conclusão obtida em 4.1.3, para ensaios de cisalhamento com peças de geometria 5x5 cm, que a resistência obtida por cisalhamento de peças com geometria de 4x8 cm, pode ser prevista em função da resistência obtida pelos ensaios de tração.

Salienta-se, entretanto, que existe uma margem de erro a ser considerada, em função do coeficiente de correlação não ser igual a um.

### **4.3 Avaliação da influência da geometria dos corpos-de-prova no ensaio de cisalhamento.**

Após os ensaios descritos em 4.1 e 4.2, iniciou-se um processo de comparação direta entre os ensaios de cisalhamento nas duas geometrias até aqui descritas. Neste sentido, se confeccionou substratos padrão onde foram moldadas simultaneamente as peças com geometria 4x8 cm e 5x5 cm. Para complemento das análises, em dois destes painéis foram também coladas peças destinadas ao ensaio de arrancamento.

De forma resumida, os ensaios realizados nesta etapa do trabalho podem ser assim descritos:

**Nº de substratos:** 8                      **Tipos de argamassa:** 2 (Tipo III = ACII - fabricante 2 e Argamassa mista de cimento, cal e areia - 1:1:6 – traço em volume para a areia seca).

**Ensaio realizado:** Argamassa Tipo III:  
2 substratos; ensaios de cisalhamento (4x8 cm) e cisalhamento (5x5 cm).  
2 substratos; cisalhamento (4x8 cm), cisalhamento (5x5 cm) e ensaios de tração.

Argamassa mista:

1 substrato; ensaios de tração e cisalhamento (4x8 cm).  
1 substrato: ensaios de tração e cisalhamento (5x5 cm).

#### **Condições de cura:**

Argam. Tipo III: 28 dias em ambiente de laboratório

Argam.Mista: 28 dias em ambiente de laboratório

Nesta terceira etapa, a variável “idade de ensaio” foi eliminada, sendo os ensaios executados com idade constante de 28 dias para todas as peças e não houve variação do

tipo de argamassa colante. O resumo dos resultados destes ensaios encontra-se na tabela 4.11.

Tabela 4.11 – Resumo de dados dos ensaios referentes à terceira etapa para as diferentes geometrias de ensaio utilizando argamassa colante tipo II.

		Cisalhamento		Tração direta
		4x8	5x5	D=5
Substrato 1.3	Média (MPa)	1,11	1,29	-
	Desvio Padrão	0,05	0,13	-
	C. V. (%)	4,56	9,71	-
	Máx	1,18	1,55	-
	Min	1,04	1,11	-
	n	10	10	-
Substrato 2.3	Média (MPa)	1,16	1,36	-
	Desvio Padrão	0,09	0,14	-
	C. V. (%)	8,03	10,34	-
	Máx	1,26	1,64	-
	Min	0,99	1,19	-
	n	12	10	-
Substrato 3.3	Média (MPa)	1,04	1,51	1,35
	Desvio Padrão	0,04	0,08	0,27
	C. V. (%)	4,19	5,12	19,91
	Máx	1,10	1,63	1,79
	Min	0,97	1,37	1,89
	n	12	11	10
Substrato 4.3	Média (MPa)	1,28	1,52	1,44
	Desvio Padrão	0,09	0,19	0,42
	C. V. (%)	6,98	14,44	29,32
	Máx	1,41	1,78	2,00
	Min	1,13	1,22	0,64
	n	12	11	10

Em estudo complementar, foram feitos ensaios de arrancamento e cisalhamento, com as duas geometrias de peças em dois painéis, onde, em substituição à argamassa colante, foi utilizada uma argamassa mista (cimento, cal e areia). Essa argamassa foi utilizada com a finalidade de testar o comportamento dos ensaios em argamassas com resistências de aderência com valores mais baixos (tabela 4.12).



Tabela 4.12 – Resumo de dados dos ensaios referentes à terceira etapa para as diferentes geometrias de ensaio utilizando argamassa mista

		Cisalhamento		Tração direta
		4x8	5x5	D=5
Substrato 5.3	Média (MPa)	0,56	-	0,34
	Desvio Padrão	0,06	-	0,12
	C. V. (%)	10,92	-	35,26
	Máx	0,67	-	0,52
	Min	0,49	-	0,07
	n	15	-	11
Substrato 6.3	Média (MPa)	-	0,55	0,39
	Desvio Padrão	-	0,07	0,14
	C. V. (%)	-	12,52	35,06
	Máx	-	0,66	0,63
	Min	-	0,45	0,15
	n	-	13	11

Substrato 5.3 – Assentamento com argamassa mista e cisalhamento em peças com geometria 4x8 cm

Substrato 6.3 - Assentamento com argamassa mista e cisalhamento em peças com geometria 5x5 cm.

#### 4.3.1 Análise do comportamento dos ensaios

Não houve valores espúrios dentro de cada conjunto de ensaios e em todos os substratos. Todos os ensaios enquadraram-se dentro de uma distribuição normal de valores, segundo o teste de Kolmogorv-Smirnov, utilizando-se um nível de confiança de 95%.

O comportamento das resistências dos ensaios pode ser visualizado na figura 4.13.

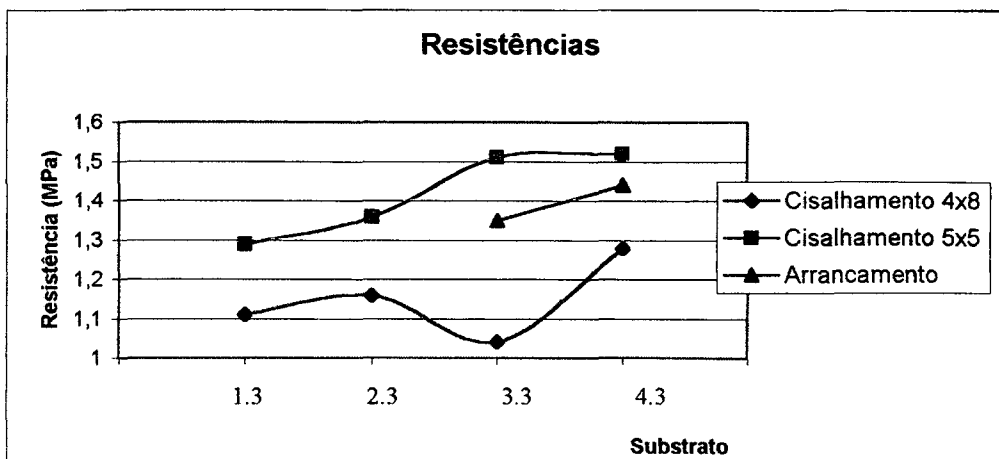


Figura 4.13 – Resistência de aderência dos ensaios com idade de 28 dias.

Observa-se através da figura 4.13, uma tendência de correlação entre os ensaios, a qual é quebrada somente no substrato de número três, para o ensaio de cisalhamento 4x8. Neste substrato observou-se nas peças ensaiadas um tipo de ruptura bastante diferenciado dos demais. Esta análise de ruptura foi feita analisando-se o tardo das peças cerâmicas e a superfície do substrato de concreto após a execução do ensaio.

Através desta análise, observou-se a presença do engobe no tardo das cerâmicas de teste do ensaio de cisalhamento com peças 4x8 cm. Este caulim é utilizado pela indústria para minimizar possibilidades de riscos na face esmaltada das cerâmicas, quando embaladas para o comércio, onde em alguns casos, o tardo de uma peça entra em contato com o esmalte de outra.

Foi procedimento comum no preparo dos ensaios, a escovação do tardo das cerâmicas, seguida de lavagem em água corrente, entretanto, constatou-se que este conjunto de peças foi moldado sem tal procedimento de preparação, o que pode ter causado uma redução da resistência de aderência.

Ainda através da figura 4.13, observa-se uma tendência de que as resistências dos ensaios de cisalhamento 4x8 sejam menores do que as resistências dos ensaios de arrancamento e cisalhamento 5x5, nesta ordem.

#### 4.3.2 Comparação dos ensaios de cisalhamento com as diferentes geometrias.

Para esta análise, foram comparadas, individualmente para cada substrato, as resistências de aderência pelos métodos de cisalhamento com geometria de 4x8 cm e cisalhamento com geometria de 5x5 cm. O objetivo desta análise foi identificar a

existência de uma possível diferença entre as resistências obtidas nos ensaios. A tabela 4.13 apresenta o resumo destas análises.

Tabela 4.13 – Resumo de ANOVA; Comparação das resistências de cisalhamento 4x8 com as resistências ao cisalhamento 5x5 em cada substrato padrão.

Substrato	F	F <sub>crítico</sub>	Comparação das resistências com 95% de certeza.
1.3	19,04	4,41	Diferentes
2.3	16,04	4,35	Diferentes
3.3	324,82	4,32	Diferentes
4.3	16,19	4,32	Diferentes
5.3 e 6.3*	0,49	4,22	Iguais

\* Nestes substratos foi utilizada a argamassa mista; uma geometria em cada substrato.

Observa-se com esta análise que existe uma tendência à desigualdade das resistências quando comparados os ensaios de cisalhamento nas duas geometrias para a argamassa colante, o mesmo não ocorrendo para a argamassa mista.

É interessante observar que o substrato número três, no qual foi identificado o problema no tardo, apresenta um valor de “F” muito maior que para os outros substratos, o que leva à uma interpretação de uma maior consistência da diferença encontrada entre as resistências dos ensaios. Este grande valor pode ser explicado, justamente, pela falha detectada nos ensaios do substrato número três.

É também bastante relevante o fato de que as resistências apresentadas para os ensaios de cisalhamento das peças com geometria 5x5 ser sempre maior do que as resistências apresentadas para as peças com geometria 4x8 cm.

A explicação para este fato pode ser em função de que as peças com geometria de 4x8 cm, por possuírem uma maior superfície de contato com o substrato, possuem também, uma maior probabilidade de existência de falhas de aderência, as quais podem prejudicar o valor da resistência final, quando se toma como referência os corpos-de-prova com dimensões de 5x5cm.

O fato não é bem explicado, necessitando de estudos mais aprofundados para a determinação, com maior certeza da causa desta diferença dos valores das resistências.

### 4.3.3 Avaliação da repetibilidade dos ensaios.

Em comparação semelhante à feita no item 4.2.3, foi avaliado se, para uma mesma argamassa, assentada em diversos substratos e ensaiadas em idades iguais, existe alguma tendência da repetibilidade dos resultados das resistências de aderência. Neste caso, esta análise pode ser feita para os substratos 1.3, 2.3, 3.3 e 4.3, em virtude da característica da análise proposta. (tabela 4.14). Eliminado-se o substrato moldado de forma inadequada (substrato 3.3), tem-se os dados apresentados na tabela 4.15.

Tabela 4.14 – Resumo da comparação entre ensaios do mesmo tipo, variando-se o substrato de ensaio.

Comparação	F	Fcrítico	Comparação das resistências com 95% de certeza.
Cisalhamento 4x8 com 4x8	21,64	2,82	Diferentes
Cisalhamento 5x5 com 5x5	5,84	2,84	Diferentes

Tabela 4.15 – Resumo da comparação entre ensaios do mesmo tipo, variando-se o substrato de ensaio e descartando-se o substrato nº 3.

Comparação	F	Fcrítico	Comparação das resistências com 95% de certeza.
Cisalhamento 4x8 com 4x8	13,14	3,30	Diferentes
Cisalhamento 5x5 com 5x5	6,13	3,34	Diferentes

Nota-se nestas análises que mesmo desconsiderando-se o substrato duvidoso, não foi confirmada uma repetibilidade dos ensaios de cisalhamento em ambas as geometrias. Isto talvez possa ser explicado em função de uma variabilidade muito baixa existente em cada série de ensaios (cada substrato). Isto limita bastante a possibilidade dos valores individuais afastarem-se de um valor médio em cada substrato, o que poderia gerar, uma maior margem de erro e, estatisticamente, uma maior possibilidade dos valores serem considerados iguais. A análise dos erros está detalhada no item 4.4.

Com estas análises, pôde-se observar que existe uma tendência de que as resistências dos ensaios de cisalhamento nas duas geometrias (cisalhamento 4x8

comparado com cisalhamento 4x8 e cisalhamento 5x5 comparado com cisalhamento 5x5), sejam consideradas diferentes, com um nível de confiabilidade de 95%.

#### 4.3.4 Avaliação dos coeficientes de variação dos ensaios.

Em uma análise mais geral desta etapa de ensaios, a análise gráfica dos coeficientes de variação confirma os dados encontrados nas duas etapas anteriores, ficando os valores dos ensaios de cisalhamento, numa ordem de grandeza bastante inferior aos valores do ensaio de arrancamento, conforme está demonstrado na Figura 4.14.

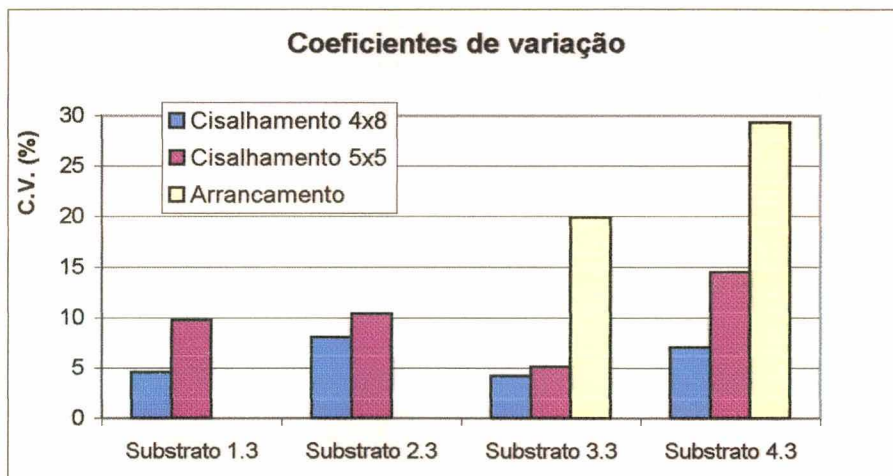


Figura 4.14 – Coeficientes de variação dos ensaios da terceira etapa.

Por análise visual, através da figura 4.14, observa-se a tendência do coeficiente de variação para o ensaio de cisalhamento de peças com geometria 4x8 cm ser menor do que para o ensaio de cisalhamento 5x5 cm.

#### 4.3.5 Análise de correlação dos ensaios

Em função do número de ensaios de arrancamento realizados nesta etapa, não é possível fazer uma análise da correlação deste com os ensaios de cisalhamento. Para esta etapa, esta análise foi feita entre os ensaios de cisalhamento com as geometrias de 4x8 e 5x5 cm.

Utilizando-se os valores dos quatro painéis ensaiados, observa-se que em função do ensaio de cisalhamento com peças de dimensões 4x8, obtém-se uma correlação em valores muito baixos. Nesta situação, o coeficiente de correlação “r” é igual a 0,25 ( $r^2 = 0,06$ ), conforme demonstra a figura 4. 15.

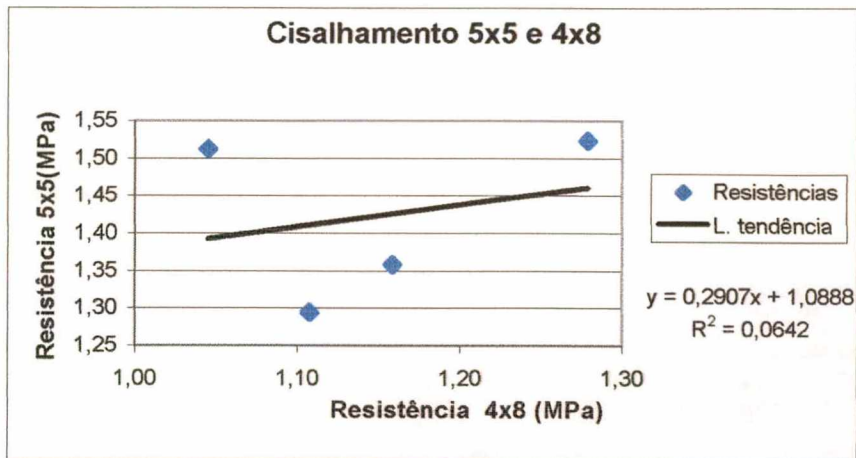


Figura 4.15 – Correlação entre os ensaios de cisalhamento – terceira etapa.

O baixo coeficiente de correlação apresentado pelo conjunto de dados se deve ao ponto de plotagem referente ao substrato três. Eliminando-se este substrato, devido às considerações feitas em 4.3.1, referentes ao ensaio de cisalhamento com peças de dimensões 4x8, o coeficiente de correlação “r” fica igual a 0,9998 ( $r^2=0,9997$ ), conforme ilustra a figura 4.16.

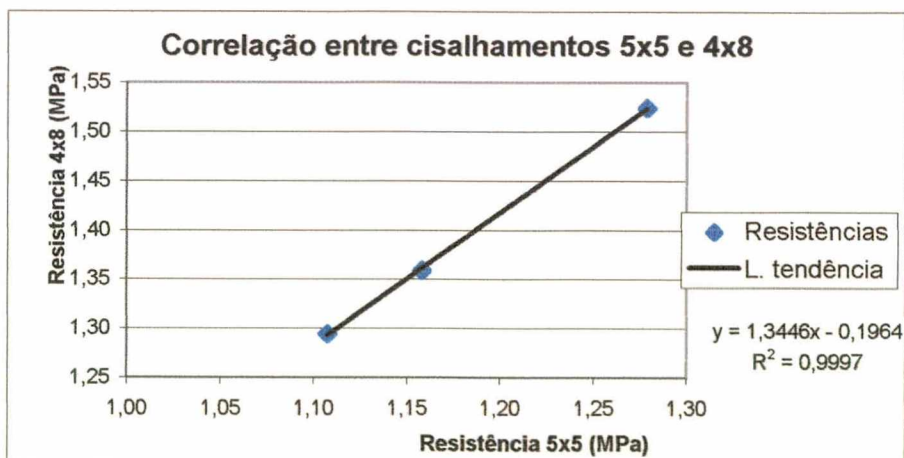


Figura 4.16 – Correlação entre os ensaios de cisalhamento descartando substrato 3.3 – terceira etapa.

Esta tendência de alta correlação pode também ser confirmada adicionando os resultados dos ensaios de aderência com a argamassa mista e os dados obtidos na segunda etapa do trabalho, onde já se obteve, apesar de em condições de ensaio diferentes (idade e substratos diferentes em cada ensaio), valores comparativos para os ensaios de cisalhamento com as duas geometrias.

Nestas condições, tem-se a seguinte situação, apresentada na tabela 4.16 e figura 4.17:

Tabela 4.16 – Tabela resumo de resistências para os ensaios de cisalhamento 4x8 e 5x5 em duas etapas do trabalho.

	Substratos considerados		Resistência para os ensaios de Cisalhamento (MPa)	
	Cisalham. 4x8	Cisalham. 5x5	4x8	5x5
Terceira etapa Argam. TIII	1.3	1.3	1,11	1,29
	2.3	2.3	1,16	1,36
	4.3	4.3	1,28	1,52
	5.3	6.3	0,56*	0,55*
Segunda etapa Argam. TII e III	3.2 e 4.2	7.2	0,80**	0,85
	5.2 e 6.2	8.2	1,25**	1,33

\* Argamassa mista

\*\*Média dos dois ensaios

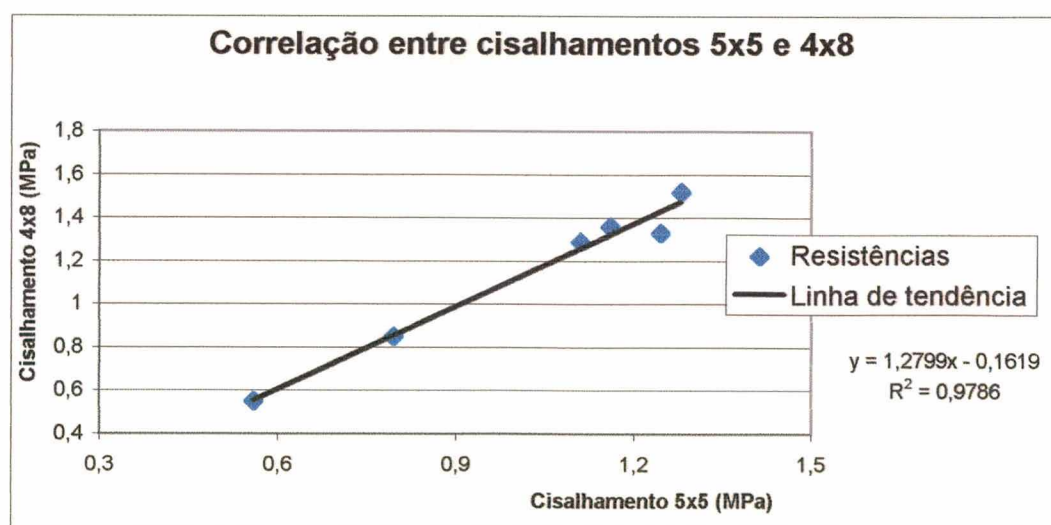


Figura 4.17 – Correlação de cisalhamentos 4x8 com 5x5 considerando as resistências apresentadas na tabela 4.16.

Neste caso, ainda se mantém um elevado coeficiente de correlação entre os ensaios, obtendo-se um “r” igual a 0,989 ( $r^2=0,9786$ ), demonstrando a forte tendência de correlação entre os ensaios de cisalhamento com as duas geometrias.

Pode-se então, com uma grande confiabilidade, afirmar que a partir do ensaio de cisalhamento com peças de dimensões 5x5 cm, é possível a previsão da resistência para os ensaios de cisalhamento com a geometria de 4x8 cm, e vice versa.

#### **4.4 Análise das incertezas das resistências dos ensaios de cisalhamento e tração direta**

De acordo com as informações apresentadas até o momento, pode-se observar a necessidade de aprofundamento das análises, visto que em alguns pontos existem contradições entre os resultados obtidos.

A avaliação dos ensaios necessita, portanto, de um estudo mais aprofundado para tentar evidenciar o comportamento apresentado pelos mesmos e avaliado pelos meios gráficos e estatísticos.

Pode-se então, analisar ainda, a incerteza das medições efetuadas, com análise de erros das duas geometrias de ensaio de cisalhamento estudadas e dos ensaios de arrancamento, a fim de detectar alguma diferença significativa nos resultados obtidos.

Esta análise de incerteza permite mapear os erros inseridos nas leituras registradas nos ensaios. Estes erros podem se apresentar de diversas formas, entre estas, citam-se os erros sistemáticos, os aleatórios e os grosseiros.

##### Erro sistemático:

Caracterizado como um erro sempre presente em igualdade de condições em todas as leituras realizadas. Pode também, segundo sua característica ser denominado de tendência. Normalmente está associado ao equipamento de medição.

##### Erro aleatório:

São erros que, estatisticamente, são igualmente distribuídos em torno de um valor médio.



Erro grosseiro:

São erros determinados, normalmente, por imperícia no manuseio ou leitura dos equipamentos, podendo ser manifestados também, em procedimentos inadequados na preparação dos corpos-de-prova ou execução dos ensaios.

No sistema de medição utilizado e, de acordo com os procedimentos empregados, desde a preparação dos corpos-de-prova, até a metodologia de execução dos ensaios, os erros grosseiros podem ser eliminados da análise de dados, com exceção, do já citado substrato número 3.3 da terceira etapa (item 4.3).

Considera-se da mesma forma, que os erros sistemáticos podem ser desconsiderados, na medida em que na avaliação dos ensaios foi utilizado um único equipamento, tanto para ensaios de tração direta como para os ensaios de cisalhamento. Portanto, em análise comparativa, a repetição do erro pode ser desprezada. Não é relevante, portanto, determinar a aferição do equipamento de teste, nem se o mesmo apresenta alguma tendência de erro nas medições.

Será, portanto, centrada esta análise nos erros aleatórios, os quais podem ser claramente identificados por análise estatística dos resultados.

O erro aleatório pode ser determinado pela expressão 7.

$$E_{ai} = l_i - MI \quad (7)$$

Onde,

$E_{ai}$  = erro aleatório da  $i$ -ésima indicação

$l_i$  = Valor da  $i$ -ésima indicação individual

$MI$  = Média das indicações

Este erro, de acordo com a sua definição é variável e de forma imprevisível, visto que são considerados os valores individuais dos ensaios. Portanto, explica GONÇALVES Jr (1999), é comum a caracterização do erro aleatório através de procedimentos estatísticos por um número finito de valores. O erro aleatório é expresso de forma quantitativa através da repetitividade, a qual é determinada pela multiplicação do coeficiente “ $t$ ” de Student, levando em conta o número de dados envolvidos (equação 8).

$$Re = \pm(t \times s) \quad (8)$$

Onde,

$Re$  = Faixa de dispersão dentro da qual se situa o erro aleatório para a probabilidade de 95%.

$t$  = Coeficiente de Student.

$s$  = Desvio padrão experimental da amostra.

Este valor determina com 95% de certeza a probabilidade de o erro aleatório estar enquadrado dentro de uma faixa simétrica (determinada por  $Re$ ) em torno do valor médio.

Nas incertezas padrão das medições serão consideradas, a incerteza da área do corpo-de-prova e da carga obtida pelo processo de medição (equipamento de tração).

A incerteza gerada individualmente pela área e pela carga é dada pela equação (9).

$$u_x = \frac{Re}{k_{95}} \quad (9)$$

Onde,

$u_x$  = Incerteza padrão de cada fonte de incerteza.

$K_{95}$  = Fator de abrangência par o nível de confiança de 95%

$Re$  = Faixa de dispersão dentro da qual se situa o erro aleatório para a probabilidade de 95%.

A incerteza padrão combinada é definida para este estudo, conforme demonstra a equação (10).

$$\left(\frac{u(R)}{R}\right)^2 = \left(\frac{u(A)}{A}\right)^2 + \left(\frac{u(C)}{C}\right)^2 \quad (10)$$

Onde,

$u(R)$  = Incerteza padrão combinada para a resistência.

$u(A)$  = Incerteza padrão relativa à área dos corpos-de-prova.

$U(C)$  = Incerteza padrão relativa à carga aplicada nos ensaios.

$A$  = Área média dos corpos-de-prova

$C$  = Carga média aplicada nos ensaios

$R$  = Resistência média calculada

Para trabalhar com um nível de confiança de 95%, utiliza-se a incerteza expandida ( $U_{95\%}$ ), o qual é calculado através da equação (11).

$$U_{95\%} = k_{95} \times u(R) \quad (11)$$

Onde,

$U_{95\%}$  = Incerteza expandida para o nível de confiança de 95%

$K_{95}$  = Fator de abrangência para o nível de confiança de 95%.

$u(R)$  = Incerteza padrão combinada para a resistência.

O fator de abrangência  $K_{95}$  é calculado através em função do número de graus de liberdade efetivo de cada ensaio, obtido pela equação 12.

$$ef = \frac{\left(\frac{u(R)}{R}\right)^4}{\frac{\left(\frac{u(A)}{A}\right)^4}{a} + \frac{\left(\frac{u(C)}{C}\right)^4}{c}} \quad (12)$$

Onde,

$ef$  = Número de graus de liberdade efetivo.

$a$  = grau de liberdade relativo a área dos corpos-de-prova.

$c$  = grau de liberdade relativo a carga dos corpos-de-prova.

As tabelas 4.17 até 4.26 apresentam os parâmetros utilizados para o cálculo das incertezas e os valores destas, individualmente para cada substrato.

Tabela 4.17 – Resumo de dados para cálculo das incertezas; ensaios de cisalhamento referentes a argamassas e idades variadas (item 4.2).

Segunda etapa Cisalhamento	Resistência (MPa)	Valores médios				n
		Carga (N)	S carga	Área (mm <sup>2</sup> )	S área	
T I 50 d - 4x8	1,04	3324,1	270,5	3214,36	58,34	15
T I 50 d - 4x8	1,07	3421,8	256,43	3198,55	98,75	15
T II 40 d - 4x8	0,78	2488,08	169,49	3211,13	63,48	12
T II 40 d - 4x8	0,81	2605,93	326,88	3208,76	60,12	15
T III 60 d - 4x8	1,27	4074,77	346,5	3218,01	50,12	13
T III 60 d - 4x8	1,22	3911,58	223,58	3207,69	77,54	12
T II 40 d - 5x5	0,85	2133,8	371,76	2497,36	31,2	15
T III 60 d - 5x5	1,33	3331,33	209,91	2503,18	50,38	15

Tabela 4.18 – Resumo dos parâmetros e resultados das incertezas das resistências – ensaios de cisalhamento referentes à argamassas e idades variadas (item 4.2).

Segunda etapa	Re carga	Re área	k <sub>95</sub>	u carga	u área	u(R)	ef	k <sub>95</sub>	U <sub>95</sub> (R)
T I 50 d - 4x8	476,35	102,74	2,18	218,11	47,04	0,0695	16,5	2,16	0,150
T I 50 d - 4x8	451,57	173,90	2,18	206,76	79,62	0,0699	19,9	2,13	0,149
T II 40 d - 4x8	304,40	114,01	2,23	136,50	51,13	0,0443	14,0	2,2	0,097
T II 40 d - 4x8	575,64	105,87	2,18	263,57	48,48	0,0831	15,7	2,17	0,180
T III 60 d - 4x8	617,46	89,31	2,21	279,40	40,41	0,0883	13,9	2,21	0,195
T III 60 d - 4x8	401,55	139,26	2,23	180,07	62,45	0,0609	16,2	2,17	0,132
T II 40 d - 5x5	654,67	54,94	2,18	299,76	25,16	0,1203	15,2	2,18	0,262
T III 60 d - 5x5	369,65	88,72	2,18	169,25	40,62	0,0710	18,0	2,15	0,153

Tabela 4.19 – Resumo de dados para cálculo das incertezas; ensaios de arrancamento referentes à argamassas e idades variadas (item 4.2).

Segunda etapa	Resistência (MPa)	Valores médios				n
		Carga (N)	S carga	Área (mm <sup>2</sup> )	S área	
T I 50 d - 4x8	0,78	1525,64	393,32	1958,13	31,22	14
T I 50 d - 4x8	0,96	1874,93	299,17	1959,67	50,38	15
T II 40 d - 4x8	0,30	591,11	250,81	1960,14	29,32	9
T II 40 d - 4x8	0,45	878,64	309,94	1961,2	35,19	14
T III 60 d - 4x8	0,81	1599,00	366,00	1959,72	30,12	13
T III 60 d - 4x8	1,03	2015,47	367,64	1959,98	48,55	15
T II 40 d - 5x5	0,54	1345,21	479,42	2501,56	49,57	14
T III 60 d - 5x5	1,17	2929,6	378,79	2499,23	41,97	10

Tabela 4.20 – Resumo dos parâmetros e resultados das incertezas das resistências – ensaios de arrancamento referentes à argamassas e idades variadas (item 4.2).

Arrancamento	Re carga	Re área	k <sub>95</sub>	u carga	u área	u(R)	ef	k <sub>95</sub>	U <sub>95</sub> (R)
T I 50 d - 4x8	696,57	55,29	2,20	316,62	25,13	0,1620	14,1	2,2	0,356
T I 50 d - 4x8	526,84	88,72	2,18	241,23	40,62	0,1247	15,8	2,17	0,271
T II 40 d - 4x8	466,51	54,54	2,32	201,08	23,51	0,1026	9,0	2,32	0,238
T II 40 d - 4x8	548,90	62,32	2,20	249,50	28,33	0,1274	14,1	2,2	0,280
T III 60 d - 4x8	652,21	53,67	2,21	295,12	24,29	0,1509	13,1	2,21	0,334
T III 60 d - 4x8	647,41	85,50	2,18	296,44	39,15	0,1526	15,6	2,18	0,333
T II 40 d - 5x5	849,05	87,79	2,20	385,93	39,90	0,1545	14,1	2,2	0,340
T III 60 d - 5x5	694,32	76,93	2,28	304,53	33,74	0,1229	10,3	2,27	0,279

Tabela - 4.21 – Resumo de dados para cálculo das incertezas; ensaios de cisalhamento referentes aos ensaios sem variação de idade e tipos de argamassas (item 4.3).

Terceira etapa Cisalhamento	Resistência (MPa)	Valores médios				n
		Carga (N)	S carga	Área (mm <sup>2</sup> )	S área	
S 1.3 - 4x8	1,11	3544	161,76	3205,4	30,29	10
S 2.3 - 4x8	1,16	3706,42	297,71	3229,14	46,06	12
S 3.3 - 4x8	1,04	3343,92	140,17	3201,61	30,52	12
S 4.3 - 4x8	1,28	4092,75	285,64	3203,86	94,8	12

Tabela 4.22 - Resumo dos parâmetros e resultados das incertezas das resistências – ensaios de cisalhamento referentes aos ensaios sem variação de idade e tipos de argamassas (item 4.3).

Cisalhamento	Re carga	Re área	k <sub>95</sub>	u carga	u área	u(R)	ef	k <sub>95</sub>	U <sub>95</sub> (R)
S 1.3 - 4x8	296,51	55,52	2,28	130,05	24,35	0,0414	10,9	2,26	0,094
S 2.3 - 4x8	534,69	82,72	2,23	239,77	37,10	0,0754	12,8	2,22	0,167
S 3.3 - 4x8	251,75	54,81	2,23	112,89	24,58	0,0362	13,2	2,21	0,080
S 4.3 - 4x8	513,01	170,26	2,23	230,05	76,35	0,0780	16,2	2,17	0,169

Tabela 4.23 - Resumo de dados para cálculo das incertezas; ensaios de cisalhamento (5x5) referentes aos ensaios sem variação de idade e tipos de argamassas (item 4.3).

Terceira etapa Cisalhamento	Resistência (MPa)	Valores médios				n
		Carga (N)	S carga	Área (mm <sup>2</sup> )	S área	
S 1.3 - 5x5	1,29	3236	314,09	2504,9	34,98	10
S 2.3 - 5x5	1,36	3396,4	351,19	2490,52	22,44	10
S 3.3 - 5x5	1,51	3780,45	193,47	2493,64	58,68	11
S 4.3 - 5x5	1,52	3809,9	473,84	2513,09	86,92	11

Tabela 4.24 - Resumo dos parâmetros e resultados das incertezas das resistências – ensaios de cisalhamento (5x5) referentes aos ensaios sem variação de idade e tipos de argamassas (item 4.3).

Cisalhamento	Re carga	Re área	k <sub>95</sub>	u carga	u área	u(R)	ef	k <sub>95</sub>	U <sub>95</sub> (R)
S 1.3 - 5x5	575,73	64,12	2,28	252,51	28,12	0,1018	10,4	2,27	0,231
S 2.3 - 5x5	643,73	41,13	2,28	282,34	18,04	0,1138	10,2	2,27	0,258
S 3.3 - 5x5	350,57	106,33	2,25	155,81	47,26	0,0688	15,5	2,18	0,150
S 4.3 - 5x5	858,60	157,50	2,25	381,60	70,00	0,1576	12,7	2,22	0,350

Tabela 4.25 - Resumo de dados para cálculo das incertezas; ensaios de arrancamento referentes aos ensaios sem variação de idade e tipos de argamassas (item 4.3).

Terceira etapa Tração direta	Resistência (MPa)	Valores médios				n
		Carga (N)	S carga	Área (mm <sup>2</sup> )	S área	
S 3.3	1,35	2652,5	528,16	1936,17	32,03	10
S 4.3	1,44	2820,7	826,97	1940,23	49,55	10

Tabela 4.26 - Resumo dos parâmetros e resultados das incertezas das resistências – ensaios de arrancamento referentes aos ensaios sem variação de idade e tipos de argamassas (item 4.3).

Arrancamento	Re carga	Re área	k <sub>95</sub>	u carga	u área	u(R)	ef	k <sub>95</sub>	U <sub>95</sub> (R)
S 3.3	968,12	58,71	2,28	424,61	25,75	0,2201	10,1	2,28	0,502
S 4.3	1515,84	90,83	2,28	664,84	39,84	0,3440	10,2	2,27	0,781

Graficamente, pode ser observado o comportamento dos ensaios frente às incertezas dos resultados.

As figuras 4.18 e 4.19 demonstram de forma agrupada as resistências e as incertezas destas medições para os ensaios de cisalhamento nas duas geometrias e para os ensaios de arrancamento.

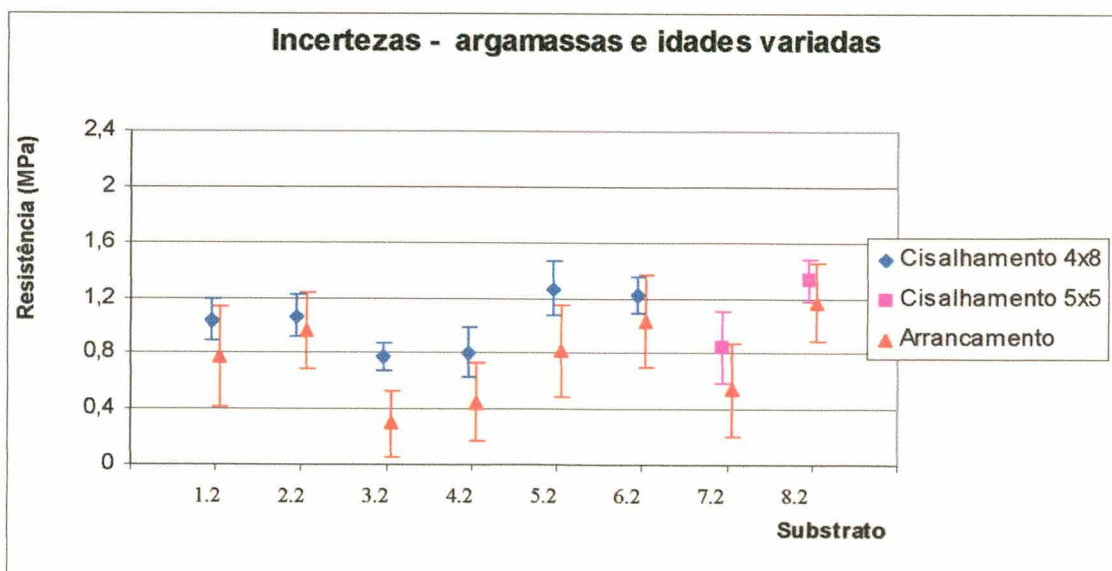


Figura 4.18 – Análise da incerteza dos resultados considerando-se três tipos de argamassas e idades de ensaio variadas (referentes a segunda etapa – item 4.2).

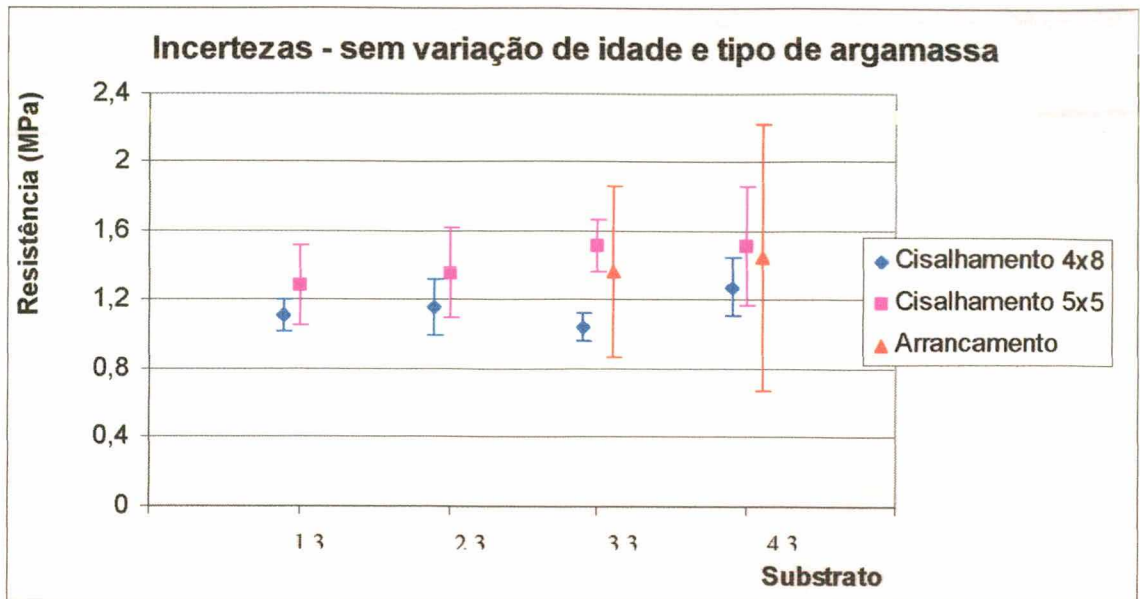


Figura 4.19 – Análise da incerteza dos resultados considerando-se um único tipo de argamassa e ensaios realizados com a mesma idade (referentes à terceira etapa – item 4.3).

Pelas figuras 4.18 e 4.19, pode-se observar que as incertezas dos resultados apresentadas pelos ensaios de arrancamento são bastante superiores às incertezas demonstradas pelos ensaios de cisalhamento em ambas geometrias, principalmente quando observada a figura 4.19.

O substrato número 3.3 (figura 4.19) não acompanha a tendência de evolução das resistências apresentadas pelos outros substratos, apesar da pequena incerteza do resultado final. Isto leva à uma interpretação de que o ensaio de cisalhamento apresenta baixa variabilidade de resultados, mesmo em situação adversa, considerando-se que todas as peças do substrato apresentem características semelhantes de aderência.

Os ensaios de cisalhamento com as geometrias de 4x8 e 5x5 cm apresentam uma pequena margem de erro, com tendência a menor incerteza para os resultados dos ensaios com geometria 4x8.

O método desenvolvido para ensaios de cisalhamento apresenta grande consistência dos resultados e menor margem de erros, quando comparado com o atual método de ensaio de aderência normalizado (ensaio de tração direta ou arrancamento).

#### 4.5 Estimativa do tamanho da amostra

Considerando-se todos os valores dos ensaios em cada substrato, e admitindo-se um erro relativo de 10% com um nível de confiança de 95%, com os respectivos coeficientes de variação para cada substrato, pode-se estimar o tamanho da amostra necessária para determinação da resistência média dos ensaios de aderência segundo metodologia demonstrada por NANNI (1985).

Para a determinação do tamanho desta amostra foram consideradas análises em duas situações:

Na primeira situação, foram considerados os substratos que obtiveram os maiores coeficientes de variação nos ensaios de cisalhamento, como está demonstrado na tabela 4.11. A tabela 4.27 apresenta o resumo destes valores e indica o número de ensaios necessários para a determinação da resistência de aderência. Para o ensaio de tração direta, foi analisado o substrato que apresentou o menor coeficiente de variação.

Tabela 4.27 – Estimativa do tamanho da amostra considerando valores críticos.

Substrato	Tipo de Ensaio	C.V (%)	Nº de ensaios
2.3	Cisalhamento 4x8 cm	8,03	6
4.3	Cisalhamento 5x5 cm	14,44	10
3.3	Tração (Arrancamento)	19,91	>30

Na segunda situação, analisando-se os valores médios dos coeficientes de variação apresentados na tabela 4.11, tem-se a estimativa de tamanho da amostra como demonstra a tabela 4.28.

Tabela 4.28 – Estimativa do tamanho da amostra considerando valores médios

Tipo de Ensaio	Média dos C.V (%)	Nº de ensaios (aproximado)
Cisalhamento 4x8 cm	5,94	4
Cisalhamento 5x5 cm	9,90	6
Tração (Arrancamento)	24,62	25



Considera-se então que, para o ensaio de cisalhamento, é suficiente a utilização de seis corpos-de-prova em cada substrato padrão de concreto, para determinação da resistência de aderência com um erro relativo de 10% e um nível de confiabilidade de 95%. Nas mesmas condições, para o ensaio de aderência à tração o número de corpos-de-prova necessários é igual a 25.

# CAPITULO 5

## CONCLUSÃO

As atividades desenvolvidas nesse trabalho permitiram conclusões referentes tanto ao procedimento de ensaio desenvolvido (aderência ao cisalhamento), quando comparado com o método normalizado (aderência à tração), como para análise do comportamento de argamassas colantes frente a diversas condições, ou idades de cura.

Nos ensaios onde houve a ação de ciclos higrotérmicos, aplicados por câmara climática, foi constatada uma tendência de aumento da resistência de aderência, tanto para os ensaios de cisalhamento, como para os ensaios de tração direta, à medida que o número de ciclos era aumentado. Essa evolução foi, também, observada na comparação com o substrato de referência curado em ambiente de laboratório. Esse teste foi desenvolvido para dois tipos de argamassas (ACI e ACII) e ambas demonstraram tendência semelhante da evolução da resistência de aderência.

Esperava-se que os ciclos climáticos aos quais os substratos foram submetidos atuassem no sentido de reduzir a resistência de aderência das argamassas. Essa redução se daria em função da ocorrência de ruptura gradual das ligações, devido ao processo de fadiga, por efeito de movimentações diferenciais originadas por sucessivos ciclos de aquecimento e resfriamento do sistema. Ocorreu, no entanto, processo diferente, o que pode ter sido caracterizado por uma melhora, ou aumento, do processo de hidratação do material cimentício das argamassas nas condições impostas pela câmara climática. Conclui-se que a redução da resistência de aderência, para as argamassas estudadas, irá ocorrer com um número de ciclos higrotérmicos, para as mesmas condições descritas neste trabalho, superior ao limite de 360 ciclos aplicados.

Isso não implica, no entanto, que em condições reais de solicitação de umidade e temperatura (sol e chuva, vento, etc.), o acréscimo de resistência ocorra de forma semelhante ao observado nas condições controladas da câmara climática. Cabe ainda salientar que não existe, até o momento da publicação deste trabalho, possibilidade de afirmação de que, um ciclo em câmara climática represente a ação climática de um dia de exposição em condições reais de solicitações. Os resultados de aumento de

resistência de aderência sob a ação da câmara climática têm, portanto, significância restrita e merece cuidadosos e aprofundados estudos para qualquer conclusão mais efetiva.

As análises estatísticas referentes às comparações diretas entre os ensaios de aderência à tração e aderência ao cisalhamento demonstraram que:

1. Nos ensaios onde houve a ação de ciclos higrotérmicos, as resistências dos ensaios de cisalhamento, na geometria 5x5 cm, são iguais às resistências dos ensaios de tração direta, independentemente do tipo de argamassa utilizada.
2. Nos ensaios realizados em substratos curados em ambiente de laboratório, as resistências de aderência ao cisalhamento, considerando a geometria de 4x8 cm, apresentaram resistências diferentes às obtidas pelo ensaio de aderência à tração.
3. As resistências de cisalhamento na geometria 4x8 cm são diferentes (menores) das resistências ao cisalhamento obtidas com a geometria 5x5 cm, o que pode justificar a diferença entre as conclusões observadas nos itens 1 e 2, acima.

Essa diferença entre as resistências para os ensaios de cisalhamento, entre as duas geometrias, talvez possa ser explicada em função da probabilidade de maior existência de falhas no processo de aderência para as peças com maior superfície de contato com o substrato, caso da geometria 4x8 cm. Por esta consideração se conclui que os ensaios de cisalhamento, pelo método desenvolvido, devem ser realizados com corpos-de-prova na geometria de 5x5 cm.

Por outro lado, para todas as situações de comparação realizadas neste trabalho, ou seja, cisalhamento nas geometrias 5x5 cm e 4x8 cm comparados com tração direta e cisalhamento 5x5 cm comparado com cisalhamento 4x8 cm, nas diversas situações de cura, incluindo sob ação dos ciclos higrotérmicos, e para os diversos tipos de argamassa (ACI e dois tipos de ACII), houve uma constatação da existência de uma forte correlação entre todos os ensaios.

Ambos os métodos (cisalhamento e tração) demonstraram, também, uma sensibilidade para identificar as variações impostas durante os ensaios, como por exemplo, a variação dos ciclos climáticos foi percebida tanto pelo ensaio de tração direta, como pelo ensaio de cisalhamento. As variações do tipo de argamassa e da idade de cura (em ambiente de laboratório), também foram identificadas pelos dois métodos de ensaio. Pôde-se, entretanto, com os resultados obtidos, demonstrar que o grau de sensibilidade para identificar tais variações foi mais efetivo para o método de cisalhamento desenvolvido.

Quando avaliado se os métodos de ensaio conseguem apresentar resultados iguais, repetidamente (avaliação da repetibilidade dos resultados), em nenhum caso analisado, o ensaio de tração direta demonstrou tal característica. Já o ensaio de cisalhamento conseguiu, em uma situação, de duas analisadas, comprovar a repetibilidade. É, entretanto, necessário desenvolver uma maior quantidade de testes para comprovar a existência, ou não, desta característica do ensaio.

Relevantes, também, são os desempenhos apresentados pelos ensaios quando analisados os coeficientes de variação. É sempre desejável que os resultados de um tipo de ensaio se apresente da forma mais homogênea possível, ou seja, com baixo coeficiente de variação dos resultados.

O método de ensaio de cisalhamento apresentou tal característica. Em 96% dos resultados, coeficientes de variação ficaram abaixo de 20%. Já o ensaio de tração direta apresentou em 65% dos resultados coeficientes de variação acima de 25%. Com esses dados, o ensaio de cisalhamento demonstrou uma considerável tendência de confiabilidade dos resultados, podendo ser trabalhado com uma amostragem reduzida, quando comparado com o ensaio de tração direta.

A confiabilidade do ensaio de cisalhamento foi também comprovada através da análise da incerteza dos resultados, onde foram somados os erros da incerteza da área dos corpos-de-prova e erros da incerteza da resistência obtida pelo equipamento de medição. Invariavelmente, a incerteza da medição da resistência de aderência pelo método de cisalhamento, quando comparada com o método de tração direta, apresentou uma menor margem de erro das medições.

Com base nestas conclusões e, apesar de ter sido constatada uma tendência à correlação entre as resistências de aderência obtidas pelos métodos de cisalhamento e tração direta, é ainda precipitada uma afirmação de validade dessas situações para todos os tipos de argamassas em idades mais avançadas, ou sob diferentes variáveis intervenientes no processo de cura. Esse método deve, portanto, ser estudado de forma mais aprofundada, sob o ponto de vista quantitativo.

De qualquer forma, o método de ensaio ao cisalhamento é, segundo os resultados obtidos, um método confiável para a análise da resistência de aderência dos revestimentos cerâmicos, sobretudo pelos baixos coeficientes de variação apresentados e, pelo número reduzido de corpos-de-prova necessários para a realização do ensaio, se comparado ao ensaio normalizado de aderência à tração.

Recomenda-se entretanto que novos ensaios sejam realizados, com variação da geometria das peças, mas sem variação da superfície total de contato com o substrato.

De maneira geral, o método desenvolvido demonstrou, um grande potencial de aplicabilidade e merece destaque sob o ponto de vista de estudos da análise de aderência dos revestimentos cerâmicos em substratos-padrão de concreto.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE. **American national standard specifications for latex-portland cement mortar. ANSI - A118.4 - F5.**, Princeton, 1992.
2. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard test method for bond strength of ceramic tile to Portland cement. ASTM C482-1.** Philadelphia, 1986.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregado para concreto. NBR 7211.** Rio de Janeiro, 1983.
4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Argamassa colante industrializada para assentamento de placas de cerâmica – Especificação. nbr 14081.** Rio de Janeiro, 1998.
5. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Argamassa colante industrializada para assentamento de placas de cerâmica – Execução do substrato padrão e aplicação de argamassa para ensaios. NBR 14082.** Rio de Janeiro, 1998.
6. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Argamassa colante industrializada para assentamento de placas de cerâmica – Determinação da resistência de aderência NBR 14084.** Rio de Janeiro, 1998.
7. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Assentamento de azulejos. NBR 8214.** Rio de Janeiro, 1983.
8. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Procedimento. NBR 7200.** Rio de Janeiro, 1998.
9. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Revestimento de paredes internas com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colantes – Procedimento. NBR 13754.** Rio de Janeiro, 1996.

10. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Especificação. NBR 13749.** Rio de Janeiro, 1996.
11. BOWMAN, R.; BANKS, P. **The crucial need for computer modeling of tiling systems**, Qualicer. Castellon, 1996.
12. CARASEK H. Ensaio de aderência para revestimentos de argamassa, In: JORNADAS SUL-AMERICANAS DE ENGENHARIA ESTRUTURAL, XXV, 1991, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre UFRGS, 1991, v. IV, p. 265-274.
13. CARASEK H.; SELMO S. M. S., O método de ensaio de determinação da resistência de aderência à tração de revestimentos de argamassa – a normalização pela ABNT. In: ENTAC, São Paulo, 1993. **Anais...** São Paulo EPUSP, 1993. v.1, p.261-270.
14. CARRIÓ, J. M. A Cerramientos de fábrica. Grietas e fisuras. In: **Curso de Patologia, Conservación y Restauración de edificios**, 2. ed. Madrid, Colégio oficial de arquitectos de Madrid, 1993, v.3. cap.19. p. 15-78.
15. CARRIÓ, J. M. A Acabados por elementos. Desprendimientos In: **Curso de Patologia, Conservación y Restauración de edificios**, 2. ed. Madrid, Colégio oficial de arquitectos de Madrid, 1993, v.3. cap.23. p. 187-224.
16. CINCOTTO, M. A.; SILVA, A. C. ; CASCUDO, H. C. **Argamassas de revestimento: características, propriedades e métodos de ensaio.** São Paulo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1995. Boletim 68. 118 p. Publicação IPT 2378.
17. CINCOTTO, M. A. Patologia das argamassas de revestimento: análise e recomendações. **Tecnologia das edificações**, São Paulo, PINI, 1988, p.549-554.
18. DOMÍNGUEZ, L. de V. Patologia de los revestimientos continuos conglomerados In: **Curso de Patologia, Conservación y Restauración de edificios**, 2. ed. Madrid, Colégio oficial de arquitectos de Madrid, 1993, v.3. cap.22. p. 145-186.
19. FIORITO. A. **Manual de argamassas e revestimentos. Estudos e procedimentos de execução**, São Paulo, Pini, 1994.
20. FRANCO, L.S.; COLLANTES M. Desenvolvimento de um método de ensaio de resistência de aderência ao cisalhamento. In: ENTAC, Salvador, 2000. **Anais...** Salvador, 2000. v.2, p. 994-1001.

21. GALLEGOS, H. Adhesión entre el mortero y las unidades de albañería. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, I, Goiânia, 1995. **Anais...** Goiânia UFG –ANTAC, 1995, p.117-133.
22. GONÇALVES Jr. A. A. **Metrologia – Parte I**. Florianópolis,. Laboratório de Metrologia e Automatização. UFSC, 1999
23. GOULART, S. V. G.; LAMBERTS, R.; FIRMINO, S. **Dados climáticos de 14 cidades brasileiras para projeto e avaliação de sistemas de ar condicionado**. Florianópolis, NPC/CTC/UFSC, 1996.
24. GUAN ,W. L.; ALUM, J.; LIU, Z. J.; YANG, T. Performance of external tiled-wall systems under tropical weathering conditions. **Journal of Performance of Constructed Facilities**, ASCE, v. 11 n. 1, 1997, p. 24-34.
25. GUAN ,W. L.; ALUM, J.; ZHAO, Z. Y.; ZHANG, W.L.;LIU, Z. J.; Impact of workmanship on performance of tile-wall systems. **Journal of Performance of Constructed Facilities**, ASCE, May, 1997, p. 82-89.
26. H. ERA et. al. A modified shear test for adhesion evaluation of thermal sprayed coating. **Materials Science and Engineering**, A251, 1998, p. 166-172.
27. INTERNATIONAL STANDARDIZATION ORGANIZATION. **Determination of water absorption, apparent porosity, apparent relative density and bulk density**. ISO 10545 part 3., 1995.
28. IOPPI, P.R. **Estudo da aderência de argamassas de revestimento em substratos de concreto**. 1995. 137f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis.
29. JOISEL, A. **Fissuras y grietas en morteros y hormigón: sus causas y remedios**. 5.ed. Barcelona: Editores Tecnicos Asociados, 1981. 174p.
30. LORDSLEMM Jr. et. al. Resistência de aderência de revestimentos cerâmicos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, II, 1997, Salvador. **Anais...** Salvador, 1997 p. 259-270.
31. METHA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M., **Concreto, Estrutura, Propriedades e Materiais**. 1. ed. São Paulo. Pini,1994. 573 p.



32. NANNI, L. F. **Análise estatística de dados com uso de técnicas computacionais**. Porto Alegre, UFRGS, 1981. Caderno técnico CT-30/81.
33. NASH, W. A. **Resistência dos materiais**. São Paulo, McGraw-Hill do Brasil Ltda, 1979, 384p. Coleção Schaum .
34. PASCHOAL, J.A.; MENEGAZZO, A.P. Panorama do sector de revestimento cerâmico brasileiro. **Cerâmica Informação**, Florianópolis, n. 2/3, p. 81-87, jan./abril 1999.
35. PINTO, J. A. do N, **Elementos para a dosagem de argamassas**, 2. ed. Santa Maria, RS, Multipress, 1996. 147p.
36. PÓVOAS, Y. V.; JOHN, V. M.; CINCOTTO, M. A. A influência do HEC e do PVAC na perda de água por sucção das argamassas colantes. In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, III, Vitória , 1999. **Anais...** . Vitória, ES, PPGE/ANTAC, 1999, p 405-416.
37. REED, A. P.; SUPRENTANT, B. A.; ACRI, J. In-Place shear testing of tile. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v.4, n.3, aug. 1992, p. 264-274.
38. RILEM TECHNICAL RECOMMENDATIONS FOR THE TESTING AND USE OF CONSTRUCTION MATERIALS. **Determination of the bond of renderings by shear tests. MR- 14**. Londres, 1994.
39. RILEM TECHNICAL RECOMMENDATIONS FOR THE TESTING AND USE OF CONSTRUCTION MATERIALS. **Determination of the bond strength of renderings by torsion tests. MR- 20** Londres, 1994.
40. RIVERO, R. **Arquitetura e clima: condicionamento térmico natural**. Porto Alegre: D.C. Luzzato Editores, 2.ed. 1986, 240p.
41. ROMAN, L. M. F. et al. The influence of grout thickness on the adherence of ceramic tiling systems. In: WORLD CONGRESS ON CERAMIC TILE QUALITY, VI, 2000 Castellón. **Anais...** Castellón, 2000 v.III p. 31-38.
42. SILVA, d. A.; ROMAN, H. R.; SILVA, A. H. Efeitos dos polímeros MHEC e EVA em algumas propriedades das argamassas colantes. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, III, Vitória, 1999, **Anais...** Vitória, PPGE/ANTAC, 1999, p. 425 – 440.

43. SOUZA V. C. M.; RIPPER T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo, Pini, 1998. 255p.
44. TRISTÃO F.A. **Influência da composição granulométrica da areia nas propriedades das argamassas de revestimento**. 1995. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis.
45. YOSHIKAWA, K.; LITVAN, G. G. Thermal stresses in mortar-tile systems. **Materiaux et constructions**, vol.17, n. 101, 1984, p. 351-357 .
46. ZHAO, Z. Y.; ZHANG, W. L. Influence of workmanship on the bonding strength of tiles to external walls. **Int. J. adhesions and adhesives**, Great Britain, 1997. v. 17, n. 1, p. 47-53.