

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**ROSÂNGELA BASSO TOKARSKI**

**COMPORTAMENTO DA AREIA DE BRITAGEM DE ROCHA  
CALCÁRIA NA ARGAMASSA DE REVESTIMENTO**

**DISSERTAÇÃO**

**CURITIBA**

**2017**

**ROSÂNGELA BASSO TOKARSKI**

**COMPORTAMENTO DA AREIA DE BRITAGEM DE ROCHA  
CALCÁRIA NA ARGAMASSA DE REVESTIMENTO**

Dissertação de mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná como requisito para obtenção do título de “Mestre em Engenharia” - Área de Concentração: Materiais de Construção.

Orientador: Prof. Dr. Adalberto Matoski

**CURITIBA**

**2017**

---

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação**

---

T646c Tokarski, Rosângela Basso  
2017 Comportamento da areia de britagem de rocha calcária  
na argamassa de revestimento / Rosângela Basso Tokarski.--  
2017.

207 f.: il.; 30 cm.

Texto em português, com resumo em inglês.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica  
Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Engenharia  
Civil, Curitiba, 2017.

Bibliografia: p. 146-157.

1. Engenharia civil - Monografias. 2. Argamassa.  
3. Revestimentos. 4. Areia. 5. Areia de britagem.  
6. Calcário. 7. Materiais de construção. I. Matoski,  
Adalberto. II. Universidade Tecnológica Federal do Paraná -  
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. III. Título.

CDD: Ed. 22 -- 624

---

**Biblioteca Ecoville da UTFPR, Câmpus Curitiba**

## FOLHA DE APROVAÇÃO



Ministério da Educação  
**Universidade Tecnológica Federal do Paraná**  
Campus Ponta Grossa

Nome da Diretoria  
Nome da Coordenação  
Nome do Curso



---

### **TERMO DE APROVAÇÃO**

COMPORTAMENTO DA AREIA DE BRITAGEM DE ROCHA CALCÁRIA NA  
ARGAMASSA DE REVESTIMENTO

ROSÂNGELA BASSO TOKARSKI

Esta dissertação foi apresentada em 27 de março de 2017 como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia, curso de Engenharia Civil. O(a) candidato(a) foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

Prof. Dr. Adalberto Matoski  
Prof. Orientador

---

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Marianne do Rocio de Mello Maron da Costa  
Membro Titular

---

Prof. Dr. Adauto José Miranda de Lima  
Membro Titular

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso -

Ao meu esposo Ângelo e meu filho  
Alexandre, pois sem o carinho,  
colaboração e dedicação,  
compreendendo as longas ausências,  
isto não teria sido realizado. Vocês  
tornaram esta jornada possível.  
Muito obrigada

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao meu orientador prof. Dr. Adalberto Matoski, pelo apoio incentivo e paciência com que levou estes dois anos de convivência, e por estar sempre presente durante o período de realização deste trabalho

A Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Marianne do Rocio de Mello Maron da Costa, e ao prof. Dr. Adauto José Miranda de Lima, que gentilmente aceitaram o convite para participar da banca de defesa desta dissertação.

A meus pais Santo José e Hermínia in memoriam e a toda minha família pelo apoio e acolhimento recebido em todos os momentos da minha vida.

A Luana Cechim, amiga de todas as horas pelos longos períodos de laboratório e discussões que só somaram a este trabalho.

A Ana Paula Pupoo Correia e Maria Bertilia Oss Giacomrlli por acreditarem e incentivarem esta minha jornada.

Aos professores do DACOC- Departamento de Engenharia Civil da UTFPR, pela disposição em ajudar sempre.

A gradeço também a Gustavo Macioski responsável técnico do laboratório de matérias do DACOC-UTFPR, pela orientação e ajudar na e execução de dos ensaios.

Meu muito obrigada ao Felipe técnico do laboratório da matérias do DACOC-UTFPR pela pronta disposição em ajudar nos trabalhos.

Ao Sr. Paulo Sabino pela ajuda no canteiro de obras.

“O cientista não é o homem que fornece  
as verdadeiras respostas; é quem faz  
as verdadeiras perguntas”.  
(Claude Lévi-Strauss).

## RESUMO

TOKARSKI, Rosângela Basso, Comportamento da Areia de Britagem de Rocha Calcária na Argamassa de Revestimento, 2017. 208 páginas. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós graduação em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná

O objetivo desse trabalho é identificar o comportamento da areia de britagem de rocha calcária na argamassa de revestimento. Foram propostas cinco composições de traço, a primeira com 100% areia natural, que será usado como traço de referência, a segunda composição com 80% areia natural, e 20% areia de britagem de rocha calcária, o terceiro com 60% areia natural e 40% areia de britagem de rocha calcária, o quarto com 40% areia natural e 60% areia de britagem de rocha calcária, e o quinto com 20% areia natural e 80% areia de britagem de rocha calcária. Os traços das argamassas foram compostos com cimento, areia, água e aditivo, sem a presença da cal, e estas foram ensaiadas no estado fresco e endurecido e apresentaram os seguintes resultados: Os traços compostos com a areia de britagem de rocha calcária apresentaram melhor desempenho que o traço de referência, composto apenas com areia natural. O traço com 60% de areia natural e 40% de areia de britagem de rocha calcária apresentou melhor desempenho em 70% dos ensaios realizados, tendo apresentado uma curva granulométrica dentro da zona ótima superior e inferior exigido pela norma. A relevância desse estudo se deve ao fato de que, a areia de britagem é um resíduo que gera um importante passivo ambiental, e o uso da areia de extração provoca a degradação do meio ambiente. Utilizar a areia de britagem para substituir a areia natural é uma forma de contribuir para a preservação ecológica.

**Palavra-chave:** Argamassa de revestimento. Areia natural. Areia de britagem de rocha calcária.

## ABSTRACT

TOKARSKI, Rosângela Basso, Behavior of Limestone Sand Crushing Sand in Coating Mortar, 2017. 208 pages. Master's Dissertation - Graduate Program in Civil Engineering, Federal Technological University of Paraná

The goal of this research is to identify the behavior of limestone crushed sand in coating mortar. Five trace compositions were proposed and tested: the first one made up of 100% natural sand, which will be used as reference trace, the second composition presented 80% natural sand and 20% limestone rock crushed sand, the third one 60% natural sand and 40% limestone rock crushed sand, the fourth one with 40% natural sand and 60% limestone rock crushed sand, and the fifth trace 20 % natural sand and 80% limestone rock crushed sand. The mortar traces were composed of cement, sand, water and additive, without the presence of lime, and these were tested in the wet and hardened state and presented the following results: Composite traces with limestone rock crushed sand presented better performance than the reference trace, which had only natural sand. The traces with 60% natural sand and 40% limestone crushed sand showed better performance in 70% of the tests performed, and presented a grain size curve within the optimal upper and lower zone, as required by the standard rules. The relevance of this study is due to the fact that crushed sand is a waste that generates important environmental liability, and natural sand extraction leads to the environmental degradation. Using crushed sand to replace natural sand is one way to contribute to environmental preservation.

Keywords: Coating mortar. Natural sand. Limestone rock crushed sand

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Consumo de agregados por região do país, situação dos agregados na economia brasileira em 2014. ....	21
Figura 2 - Gabaritos para a moldagem dos corpos de prova do <i>squeeze flow</i> .....	42
Figura 3 - Máquina universal de ensaio marca instron (modelo 569). ....	42
Figura 4 - Placa inferior, (a) face superior e (b) face inferior. ....	43
Figura 5 - Placa superior com 101mm de diâmetro, (a) foto, (b) desenho esquematizado .....	43
Figura 6 - Equipamento de medida de retração de argamassa fresca, desenvolvido no INSA de Toulouse (desenho esquemático). ....	54
Figura 7 - Fotografia do conjunto bloco-molde-argamassa dos ensaios.....	54
Figura 8 - Fissuras causadas por retração.....	63
Figura 9 - Areia natural, (a) seca e (b) saturada.....	68
Figura 10 - Areia britada de rocha calcária, (a) seca e (b) saturada.....	69
Figura 11 - Ensaio de absorção de água da areia de britagem de rocha calcária. ....	70
Figura 12 - Análise do EFRX, a) pastilhas prontas, (b) aparelho de prensagem das pastilhas.....	72
Figura 13 - Ensaio de T-I (a) cone moldado, (b) cone já feito o abatimento .....	75
Figura 14 - Ensaio de ABRC, (a) cone moldado, (b) cone já feito o abatimento.....	76
Figura 15 - (a) funil de <i>Buchmer</i> , (b) funil com argamassa após a sucção.....	77
Figura 16 - (a) amostra do traço T-I, (b) espalhamento da amostra do traço T-I na placa de vidro. ....	78
Figura 17 - (a) e (b), ensaios realizados com o traço T-V, na placa de vidro.....	78
Figura 18 - Teste de <i>squeeze flow</i> realizado sobre a base de bloco cerâmico.....	79
Figura 19 - Traço T-V sendo ensaiado em (a)placa de vidro e (b) bloco cerâmico.....	80
Figura 20 - (a) T-I aos 60min de repouso, (b) T-V aos 60min de repouso. ....	80
Figura 21 - (a) mesa de adensamento, (b) corpos de prova moldados para rompimento. ....	82
Figura 22 - (a) rompimento à tração na flexão, (b) rompimento à compressão .....	82
Figura 23 - Corpos de prova disposto para a absorção em lamina de água de 5mm. .	83
Figura 24 - corpos de prova pesados e identificados para a imersão.....	84
Figura 25 - Aparelho SONEPLASTIC, sendo realizado o ensaio .....	86
Figura 26 - (a) montagem substrato cerâmico, (b) rejunte substrato cerâmica.....	89
Figura 27 - Painéis com chapisco. ....	89
Figura 28 - (a) altura de queda do reboco, (b) alisamento do reboco.....	89
Figura 29 - (a) marcação do painel para corte e colagem das pastilhas, (b) cortes realizados no painel. ....	90
Figura 30 - (a) pastilhas coladas para o arrancamento, (b) aparelho de arrancamento em funcionamento.....	90
Figura 31 - (a) cachimbos fixados no painel, (b) ensaio em andamento. ....	91
Figura 32 - Curvas granulométricas das areias e das composições da AN com ABRC.....	94
Figura 33 - Impurezas orgânicas em duas amostras de AN.....	97
Figura 34 - Difratogramas das areias, (a) ABRC, (b) AN, (c) comparação AN e ABRC.....	100
Figura 35 - Análise das areias pelo MEV, (a) ABRC de cima para baixo 100X, 1000X e 6000X ampliação, (b) AN de cima para baixo 100X, 1000X, e 6000x de ampliação.....	102
Figura 36 - Gráfico do índice de consistência. ....	104
Figura 37 - Gráficos <i>squeeze flow</i> . T-I (a) base cerâmica, (b) base vidro.....	106
Figura 38 - Gráficos <i>squeeze flow</i> . T-II (a) base cerâmica, (b) base vidro.....	107

Figura 39 - Gráficos <i>squeeze flow</i> . T-III (a) base cerâmica, (b) base vidro.....	107
Figura 40 - Gráficos <i>squeeze flow</i> T-IV (a) base cerâmica, (b) base vidro. ....	108
Figura 41 - Gráficos <i>squeeze flow</i> T-V. (a) base cerâmica, (b) base vidro. ....	109
Figura 42 - Gráfico da densidade de massa no estado fresco e teor de ar incorporado.....	111
Figura 43 - Curvas de retenção de água das argamassas no estado fresco.....	113
Figura 44 - Exsudação da água nas argamassas no estado fresco, .....	115
Figura 45- Comparação das difratometria entre os traços, (a) no plano, (b) em 3D ..	120
Figura 46 - (a) coeficiente capilar, (b), ascensão capilar. ....	121
Figura 47 - Absorção de água por capilaridade.....	123
Figura 48 - (a) absorção por imersão; (b) índice de vazios. ....	124
Figura 49 - Massa específica seca, massa específica saturada e massa específica real da argamassa no estado endurecido. ....	126
Figura 50 - Densidade de massa da argamassa no estado endurecido. ....	127
Figura 51 - Transformada de Fourier para cálculo do módulo de elasticidade dinâmico.....	128
Figura 52 - Módulo de elasticidade dinâmico para as argamassas no estado endurecido. Aparelho SONEPLASTIC.....	129
Figura 53 - (a) Resistência à tração na flexão, (b) Resistência à compressão simples.....	131
Figura 54 - Formas de ruptura do corpo de prova na aderência à tração.....	135
Figura 55 - Resistência a tração das argamassas aplicadas nos painéis cerâmicos. 135	
Figura 56 - Absorção por permeabilidade nas argamassas pelo método do cachimbo.....	137
Figura 57 - Fissura detectada no painel de composição do T-III. ....	139
Figura 58 - Curva granulométrica da ABRC.....	159
Figura 59 - Curva granulométrica da AN.....	160
Figura 60 - Curva granulométrica de T-II. ....	161
Figura 61 - Curva granulométrica de T-III. ....	162
Figura 62 - Curva granulométrica de T-IV. ....	163
Figura 63 - Curva granulométrica de T-V.....	164
Figura 64 - Curvas de inchamento. (a) AN e (b) ABRC.....	169
Figura 65 – Difratogramas das argamassas no estado endurecido, (a) T-I, (b) T-II, .	174
Figura 66 - Difratogramas das argamassas no estado endurecido (a) T-III, (b)T IV; (c) T-V .....	175
Figura 67 - Dados do aditivo VEDALIT. ....	205
Figura 68 - Relatório de índices físicos e químicos do cimento Portland CP-II 32 F..	207
Figura 69 - Comparação dos valores exigidos pela ABNT e valores ITAMBÉ.....	207

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classificação das argamassas segundo a sua função na construção. ....	37
Quadro 2 - Classificação das argamassas segundo seus componentes e tipos .....	37
Quadro 3 - Classificação do desempenho das argamassas segundo a NBR 13281 (ABNT,2005). .....	38
Quadro 4 - Classificação do desempenho das argamassas segundo a CSTB.....	39
Quadro 5 - Métodos utilizados para avaliar a consistência e plasticidade das argamassas. ....	44
Quadro 6 - Descrição dos testes para avaliar a consistência e plasticidade das argamassas. ....	45
Quadro 7 - Classificação dos revestimentos conforme a NBR 13529 (ABNT, 2013)...	58
Quadro 8-- Fenômenos patológicos em revestimentos conforme NBR 13749 (ABNT, 2013).....	61
Quadro 9 - Ensaio de caracterização das areias, e normas regulamentadoras.....	66
Quadro 10 - Ensaio realizados nas argamassas, cerâmica e painéis.....	74
Quadro 11 - Dados, especificações e normas técnicas regulamentadoras do SONEPLASTIC.....	85
Quadro 12 - Ensaio para caracterização dos blocos cerâmicos. ....	86
Quadro 13 - Compostos identificados nas areias pela difratometria de raios X DRX. .	99
Quadro 14 - Fases observadas na composição do traço T-I e T-II.....	117
Quadro 15 - Fases observadas na composição do traço T- T-III e T-IV .....	118
Quadro 16 - Fases observadas na composição do traço T-V.....	119
Quadro 17 - Classificação das argamassas conforme NBR 13281 (ABNT, 2005). ...	141
Quadro 18 - Classificação final das argamassas para revestimento (CSTB-1993). ..	142

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Especificações químicas para o cimento.....	27
Tabela 2 - Componentes do cimento. ....	27
Tabela 3 - Traços recomendados por algumas entidades normalizadoras.....	36
Tabela 4 - Limite de aderência de resistência à tração (RA) emboço e camada única.....	51
Tabela 5 - Espessuras admissíveis de revestimentos internos e externos.....	57
Tabela 6 - Especificações do cimento Portland CP II F- 32.....	65
Tabela 7 - Características do aditivo Vedalit. ....	71
Tabela 8 - Composição dos traços para as argamassa, legenda de traços e areias.....	74
Tabela 9 - Percentagens retidas acumuladas para as curvas granulométricas. NBR NM 248 (ABNT, 2011). Legenda das areias e traços.....	93
Tabela 10 - Índices físicos extraídos das curvas granulométricas. NBR 7211 (ABNT, 2005).....	95
Tabela 11 - Limites do módulo de finura, NBR 7211 (ABNT, 2005) .....	95
Tabela 12 - Caracterização física das areias .....	96
Tabela 13 - Análise química das areias e cimento .....	98
Tabela 14 - Densidade de massa e teor de ar incorporado nas argamassas no estado fresco. NBR 13278 (ABNT, 2005).....	110
Tabela 15 - Retenção de água da argamassa no estado fresco NBR 13277 (ABNT, 2005) .....	114
Tabela 16 - Exsudação da argamassa no estado fresco. RM-6 (RILEM, 1982) .....	116
Tabela 17 - Absorção de água por capilaridade e NBR 15259 (ABNT, 20015) .....	122
Tabela 18 - Absorção por imersão, índice de vazios, massa específica NBR 9778 (ABNT, 2005).....	126
Tabela 19 - Características blocos cerâmicos NBR 15270-1 (ABNT,2005), NBR 15270-3 (ABNT,2005) ,.....	133
Tabela 20 - Resistência de aderência à tração. NBR 13528 (ABNT, 2010) .....	133
Tabela 21 - Resistência de aderência à tração. Formas de ruptura dos corpos de prova ..	134
Tabela 22 - Permeabilidade pelo método do cachimbo, médias .....	138
Tabela 23 - Desempenho das argamassas, resumo final. ....	140
Tabela 24 - Granulometria, percentagens retidas acumula das da ABRC - lavada .....	159
Tabela 25 - Granulometria, percentagens retidas acumula das de T-II - areias lavadas ....	161
Tabela 26 - Granulometria, percentagens retidas acumula das de T-III - areias lavadas ...	162
Tabela 27 -- Granulometria, percentagens retidas acumula de T-IV - areias lavadas .....	163
Tabela 28 - Granulometria, percentagens retidas acumula das de T-V - areias lavadas....	164
Tabela 29 - Absorção de água dos agregados – NBR NM 30 (ABNT. 2001) .....	165
Tabela 30 - Massa específica dos agregados. NBR NM 52 (ABNT, 2009).....	165
Tabela 31 - Massa unitária os agregados NBR NM 45 (ABNT, 2006).....	166
Tabela 32 - Índice de volume de vazios dos agregados NBR NM 45 (ABNT, 2006) .....	167
Tabela 33 - Inchamento, umidades individuais da AN NBR 6467(ABNT, 2006).....	167
Tabela 34 - Inchamento, umidades individuais da ABRC NBR 6467(ABNT, 2006).....	167
Tabela 35 - Inchamento das areias média das umidades da AN NBR 6467 (ABNT, 2006) ..	168
Tabela 36 - Coeficiente de inchamento, para AN e ABRC NBR 6467 (ABNT, 2006) .....	168
Tabela 37 - Coeficiente de inchamento, paras curvas NBR 6467 (ABNT, 2006).....	168
Tabela 38 - Umidade superficial, NBR 9775 (ABNT 2011).....	169
Tabela 39 - Índice de consistência das argamassas NBR 13276 (ABNT, 2005) .....	170
Tabela 40 - Análise da ANOVA com 95% de confiança para o índice de consistência .....	170
Tabela 41 - Teste Tukey - Índice de consistência. Intervalo de confiança 95%.....	170

Tabela 42 - Densidade de massa da argamassa no estado fresco NBR 13278 (ABNT, 2005)	170
Tabela 43 - Análise da ANOVA com 95% de confiança para densidade de massa da argamassa no estado fresco	171
Tabela 44 - Teste Tukey - Densidade de massa no estado fresco- Intervalo de confiança 95%	171
Tabela 45 -- Teor de ar incorporado na argamassa no estado fresco. NBR 13278 (ABNT, 2005)	171
Tabela 46 - Análise da ANOVA com 95% de confiança para o teor de ar incorporado da argamassa no estado fresco	171
Tabela 47 - Teste Tukey-Teor de ar incorporado Intervalo de confiança 95%	172
Tabela 48 - Retenção de água da argamassa no estado fresco ABNT 113277 (ABNT, 2005)	172
Tabela 49 - Análise da ANOVA com 95% de confiança para a retenção de água da argamassa no estado fresco	172
Tabela 50 - Teste Tukey - Retenção de água. Intervalo de confiança de 95%	172
Tabela 51 - Exsudação das argamassas no estado fresco. RM – 6. RILEM	173
Tabela 52 - Análise ANOVA para exsudação das argamassas no estado fresco Intervalo de confiança 95%	173
Tabela 53 - Teste Tukey - Exsudação. Intervalo de confiança de 95%	173
Tabela 54 - Volume dos corpos de prova, para cálculo da densidade de massa no estado endurecido NBR 13280 (ABNT, 2005)	176
Tabela 55 - Densidade de massa no estado endurecido. NBR 13280 (ABNT, 2005)	177
Tabela 56 - Análise ANOVA com 95% de confiança para densidade de massa no estado endurecido	177
Tabela 57 - Teste Tukey-Densidade de massa no estado endurecido intervalo de confiança 95%	177
Tabela 58 - Ascensão capilar medida nos corpos de prova rompidos por compressão axial após 72hs de absorção, NBR 15259 (ABNT, 2005)	178
Tabela 59 - Coeficiente de capilaridade e absorção de água por capilaridade. NBR 15257 (ABNT,2005)	178
Tabela 60 - Análise ANOVA com 95% de confiança para coeficiente de capilaridade	179
Tabela 61 - Teste Tukey coeficiente de capilaridade. Intervalo de Confiança de 95%	180
Tabela 62 - Análise ANOVA e teste de Tukey, 95% de confiança, absorção por capilaridade	180
Tabela 63 - Absorção de água, índice de vazios e massas específicas da argamassa no estado endurecido. NBR 9778 (ABNT, 2005)	182
Tabela 64 - Absorção por imersão, Índice de vazios, massa específica da amostra seca, massa específica da amostra saturada, médias finais	183
Tabela 65 – Absorção por imersão, massa específica real, médias finais	184
Tabela 66 - Análise da ANOVA para os resultados de absorção por imersão, índice de vazios massa específica seca, massa específica saturada e massa específica real	184
Tabela 67 - Teste de Tukey de Absorção por imersão, índice de vazios, e massa específicas	184
Tabela 68 - Módulo de elasticidade dinâmico no SONEPLASTIC	185
Tabela 69 - Análise de ANOVA para resultados do módulo elasticidade dinâmico	185
Tabela 70 - Teste de Tukey para os resultados do módulo de elasticidade dinâmico realizado com aparelho SONEPLASTIC	185
Tabela 71 - Resistência à tração na flexão. NBR 13279 (ABNT, 2005)	186
Tabela 72 - Análise ANOVA com 95% de confiança para resistência à tração na flexão	187
Tabela 73 - Teste Tukey. Resistência à tração na flexão, Intervalo de confiança 95%	187

Tabela 74 - Resistência à compressão simples. NBR 13279 (ABNT, 2005) .....	188
Tabela 75 - Análise ANOVA com 95% de confiança para resistência à compressão simples .....	189
Tabela 76 - Teste Tukey Resistência à compressão simples. Intervalo de confiança de 95% .....	189
Tabela 77 - Cálculo das áreas dos blocos. NBR 15270-3 (ABNT, 2005).....	190
Tabela 78 - Cálculo da absorção de água inicial dos blocos cerâmicos NBR 15270-3 (ABNT, 2005).....	191
Tabela 79 - Cálculo da absorção total dos blocos cerâmicos NBR 15270-3 (ABNT, 2005)..	191
Tabela 80 - Esforços de resistência à compressão dos blocos cerâmicos NBR 15270-3 (ABNT, 2005).....	191
Tabela 81 - Cálculo da permeabilidade pelo método do cachimbo -T-I.....	192
Tabela 82 - Cálculo da permeabilidade pelo método do cachimbo - T-II.....	192
Tabela 83 - Cálculo da permeabilidade pelo método do cachimbo - T-III.....	193
Tabela 84 -Cálculo da permeabilidade pelo método do cachimbo - T-IV.....	193
Tabela 85 - Cálculo da permeabilidade pelo método do cachimbo - T-V.....	194
Tabela 86 - Permeabilidade pelo método do cachimbo, resultado final.....	194
Tabela 87 - Análise ANOVA, permeabilidade pelo método do cachimbo, 95% de confiança .....	195
Tabela 88 - Teste Tukey com 95% de confiança para permeabilidade pelo método do cachimbo.....	195
Tabela 89 - Umidade das argamassas nos painéis.....	195
Tabela 90 - Resistência de aderência à tração -T-I- NBR 13528 (ABNT, 2010).....	196
Tabela 91 - Resistência de aderência à tração -T-II- NBR 13528 (ABNT, 2010).....	197
Tabela 92 - Resistência de aderência à tração -T-III- NBR 13528 (ABNT, 2010).....	198
Tabela 93 - Resistência de aderência à tração -T-IV- NBR 13528 (ABNT, 2010) .....	199
Tabela 94 - Resistência de aderência à tração -T-V NBR 13528 (ABNT, 2010).....	200
Tabela 95 - Análise ANOVA -Resistência de aderência à tração-confiança de 95%.....	200
Tabela 96 - Teste Tukey- Resistência de aderência à tração-confiança de 95% .....	201
Tabela 97 - Resistência de aderência à tração, análise da forma de ruptura T-I-NBR 13528 (ABNT, 2010).....	201
Tabela 98 - Resistência de aderência à tração, análise da forma de ruptura T-II-NBR 13528 (ABNT, 2010).....	201
Tabela 99 - Resistência de aderência à tração, análise da forma de ruptura T-III-NBR 13528 (ABNT, 2010).....	202
Tabela 100 - Resistência de aderência à tração, análise da forma de ruptura T-IV-NBR 13528 (ABNT, 2010).....	202
Tabela 101 - Resistência de aderência à tração, análise da forma de ruptura T-V-NBR 13528 (ABNT, 2010).....	203
Tabela 102 - Análise ANOVA, Resistência de aderência à tração, 95% de confiança. ....	203

## LISTA DE SIGLAS

ABNT –	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Anepac -	Associação Nacional de Entidades Produtoras de Agregados para Construção Civil
ASTM -	<i>American Society for Testing &amp; Materials.</i>
BS -	<i>British Standard</i>
CP –	Corpo de prova
CSTC -	<i>Centre Scientifique et Technique de la Construction</i>
CV –	Coeficiente de variação
DMC –	Dimensão máxima característica
DNPM -	Departamento Nacional de Produção Mineralógica
DV –	Desvio padrão
Ibracon –	Instituto Brasileiro do Concreto
IPT –	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
Lamir –.	Laboratório de Mineralogia da Universidade Federal do Paraná
Mineropar -	Minerais do Paraná S.A. - (Serviço Geológico do Paraná)
MF –	Modulo de finura
MP –	Material pulverulento
MPPP –	Material passante pela peneira
NBR –	Normas Brasileiras Regulamentadoras
NBR NM –	Norma Brasileira Regulamentadora - Norma Mercosul
NBR NM ISSO -	<i>International Organization for Standardization</i>
RA –	Resistência a aderência
Rilem -	<i>Reunion Internationale Des Laboratoires D’essais Et De Recherches Sur Les Materiaux Et Lês Constructions –</i>
RCD –	Resíduos de demolição da construção civil
Sinduscon-SP -	Sindicato da Industria da Construção Civil de São Paulo

## LISTA DE SÍMBOLOS

%	-	Por cento
$\leq$	-	Menor ou igual
$\geq$	-	Maior ou igual
$\mu\text{m}$	-	Micrômetro
dm	-	Decímetros
g	-	Gramas
h	-	Horas
kg	-	Quilogramas
kgf	-	Quilogramas força
kn	-	Quilonewtons
L	-	Litros
min	-	Minutos
ml	-	Mililitros
mm	-	Milímetros
MPa	-	Mega pascal
N	-	Newtons
$^{\circ}\text{C}$	-	Grau Celsius
$\rho_a$	-	Massa específica da água
$\rho_{ap}$	-	Massa unitária para o agregado seco
$d_1$	-	Massa específica aparente do agregado seco
$d_2$	-	Massa específica do agregado saturado superfície seca
$d_3$	-	Massa específica
vol.	-	Volume
F	-	Fator da água
$\rho_{as}$	-	Massa unitária na condição SSS, em quilogramas por metro cúbico
Ev	-	Índice de volume de vazios nos agregados,
GPa	-	Giga pascal
Vh/Vs	-	Coeficiente de inchamento do agregado

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>20</b>
1.1 OBJETIVOS .....	23
1.1.1 Objetivo Geral .....	23
1.1.2 Objetivos Específicos .....	23
1.2 JUSTIFICATIVA .....	24
1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO .....	24
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>26</b>
2.1 CONCEITO DE ARGAMASSA .....	26
2.2 COMPONENTES DAS ARGAMASSAS .....	26
2.2.1 Cimento .....	26
2.2.2 Agregados Miúdos .....	27
2.2.2.1 Areia natural .....	28
2.2.2.2 Areia britada de rocha calcária .....	29
2.2.3 Cal .....	33
2.2.4 Aditivos .....	34
2.2.5 Composição dos Traços das Argamassas .....	35
2.3 CLASSIFICAÇÃO DAS ARGAMASSAS .....	36
2.4.1 Consistência .....	40
2.4.2 Plasticidade .....	44
2.4.3 Trabalhabilidade .....	45
2.4.4 Retenção de Água .....	46
2.4.5 Exsudação .....	47
2.4.6 Coesão e Tixotropia .....	48
2.4.7 Adesão Inicial .....	49
2.4.8 Aderência no Estado Endurecido .....	49
2.4.9 Elasticidade ou Capacidade de Absorver Deformações .....	52
2.4.10 Retração .....	53
2.4.11 Resistências Mecânicas .....	55
2.5 CLASSIFICAÇÃO DOS REVESTIMENTOS .....	56
2.5.1 Chapisco .....	58
2.5.2 Emboço .....	59
2.5.3 Reboco .....	59
2.5.4 Camada única .....	60
2.6 FUNÇÃO DO REVESTIMENTO .....	60

2.7 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NOS REVESTIMENTOS.....	60
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>64</b>
3.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS.....	64
3.1.1 Cimento.....	64
3.1.2 Agregados Miúdos.....	65
3.1.2.1 Composição granulométrica.....	66
3.1.2.2 Massa unitária e volume de vazios.....	67
3.1.2.3 Massa específica.....	67
3.1.2.4 Teor de material pulverulento.....	68
3.1.2.5 Inchamento.....	68
3.1.2.6 Absorção de água.....	69
3.1.2.7 Impurezas orgânicas.....	70
3.1.2.8 Forma e textura dos grãos.....	70
3.1.3 Água.....	71
3.1.4 Aditivo.....	71
3.1.5 Análise Química e Mineralógica das Areias.....	71
3.1.5.1 Espectroscopia de fluorescência de raios X.....	72
3.1.5.2 Difractometria de raios X (DRX).....	72
3.2 ESTUDO DAS ARGAMASSAS.....	72
3.2.1 Definição do Traço.....	73
3.2.2 Planejamento dos Ensaios.....	74
3.3 EXECUÇÃO DOS ENSAIOS.....	75
3.3.1 Argamassas no Estado Fresco.....	75
3.3.1.1 Índice de consistência.....	75
3.3.1.2 Teor de ar incorporado.....	76
3.3.1.3 Densidade de massa.....	76
3.3.1.4 Retenção de água.....	77
3.3.1.5 Caracterização reológica pelo método de <i>Squeeze-Flow</i> .....	77
3.3.1.6 Exsudação.....	80
3.3.2 Argamassas no Estado Endurecido.....	81
3.3.2.1 Resistência à tração na flexão.....	81
3.3.2.2 Resistência à compressão.....	82
3.3.2.3 Absorção de água por capilaridade.....	83
3.3.2.4 Absorção de água, índice de vazios e massa específica.....	84
3.3.2.5 Densidade de massa no estado endurecido.....	84
3.3.2.6 Módulo de elasticidade dinâmico.....	85
3.3.3 Análise dos Blocos Cerâmicos.....	86

3.3.3.1 Índice de absorção inicial de água .....	87
3.3.3.2 Massa seca e índice de absorção de água .....	87
3.3.3.3 Resistência a compressão .....	87
3.3.3.4 Características geométricas .....	87
3.3.4 Estudo da Aderência das Argamassas.....	88
3.3.4.1 Confeção dos painéis de alvenaria.....	88
3.3.4.2 Resistência de aderência à tração .....	90
3.3.5 Absorção de Água e Permeabilidade Pelo Método do Cachimbo .....	91
3.3.6 Contagem e medição de fissura.....	92
<b>4 RESULTADOS.....</b>	<b>93</b>
4.1 AREIAS .....	93
4.1.1 Granulometria.....	93
4.1.2 Caracterização Física das Areias.....	96
4.1.3 Análise química e mineralógica das areis .....	98
4.1.3.1 Espectroscopia de fluorescência de raios X.....	98
4.1.3.2 Difractometria de raios X (DRX).....	99
4.1.3.3 Forma e textura dos grãos .....	101
4.2 ARGAMASSAS .....	104
4.2.1 Argamassas no Estado Fresco .....	104
4.2.1.1 Índice de consistência.....	104
4.2.1.2 Caracterização reológica pelo método de <i>Squeeze-Flow</i> .....	105
4.2.1.3 Densidade de massa e teor de ar incorporado.....	110
4.2.1.4 Retenção de água .....	113
4.2.1.5 Exsudação.....	115
4.2.2 Argamassas no Estado Endurecido .....	117
4.2.2.1 Análise das argamassas por difratometria de raios X após o endurecimento .....	117
4.2.2.2 Absorção de água por capilaridade e coeficiente de capilaridade.....	121
4.2.2.3 Absorção de água, índice de vazios e massa específica .....	124
4.2.2.4 Densidade de massa no estado endurecido .....	127
4.2.2.5 Módulo de elasticidade dinâmico .....	128
4.2.2.6 Resistência à tração na flexão e resistência à compressão simples.....	130
4.3 ANÁLISE DOS BLOCOS CERÂMICOS .....	132
4.4 ADERÊNCIA E PERMEABILIDADE DAS ARGAMASSA .....	133
4.4.1 Resistência de Aderência à Tração.....	133
4.4.2 Absorção de Água pelo Método do Cachimbo .....	136
4.5 CONTAGEM E MEDIÇÃO DE FISSURAS.....	138

4.6 CLASSIFICAÇÃO GERAL DAS ARGAMASSAS .....	139
<b>5 CONCLUSÃO .....</b>	<b>144</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>146</b>
<b>APÊNDICES .....</b>	<b>158</b>
<b>ANEXO .....</b>	<b>204</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A extração da areia natural está cada vez mais complexa em função das leis municipais e estaduais, leis estas que seguem as diretrizes da Lei nº 12.651, de 2012, que regulamenta o uso e recuperação de leitos de rios e várzeas, em relação aos recursos naturais disponíveis. A preocupação com o meio ambiente e a busca por materiais alternativos, atinge todos que tem consciência que estas reservas estão se tornando escassas e que algumas delas não são renováveis.

Segundo o boletim da Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção Civil (ANEPAC, 2015), o consumo de areia está dividido em 35% para argamassa, 20% concreteiras, 15% construtoras, 10% pré-fabricados, 10% revendedores/lojas, 5% pavimentadoras/usinas de asfalto, 3% órgãos públicos e 2% para outras atividades.

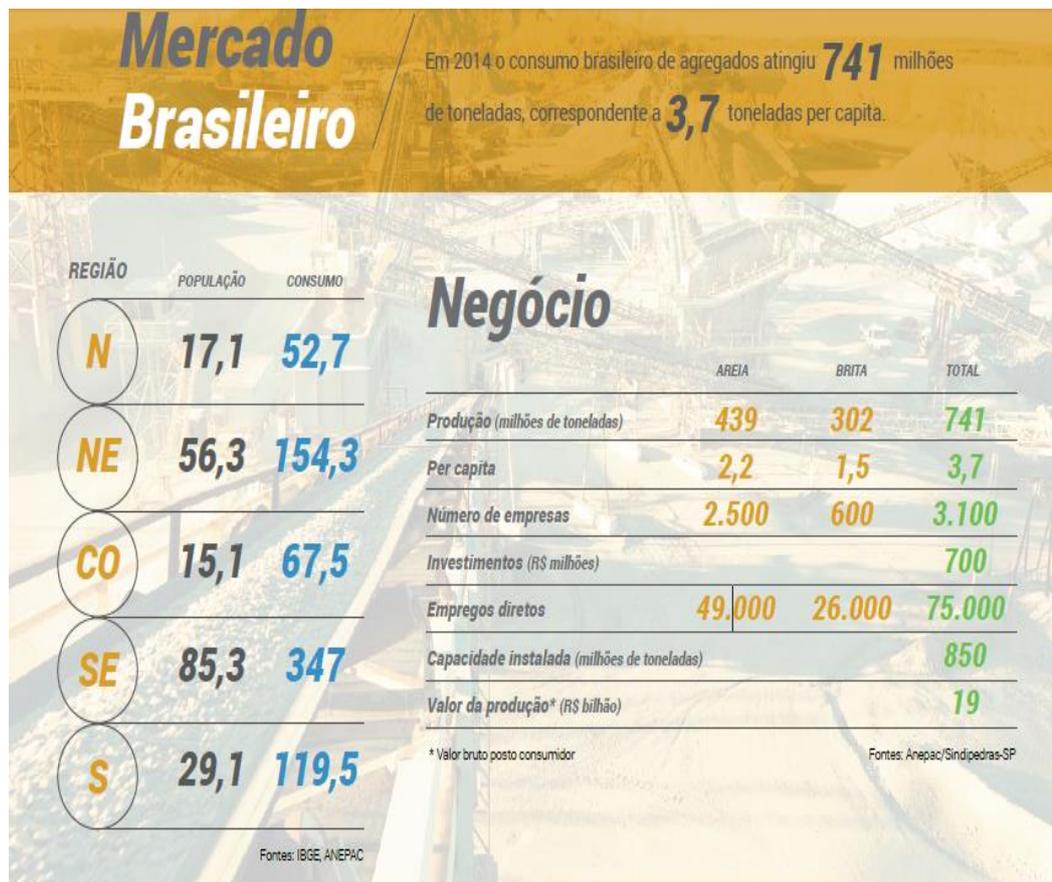
A extração da areia natural está cada vez mais complexa em função das leis municipais e estaduais, leis estas que seguem as diretrizes da Lei nº 12.651, de 2012 que regulamenta o uso e recuperação de leitos de rios e várzeas, em relação aos recursos naturais disponíveis. A preocupação com o meio ambiente e a busca por materiais alternativos, atinge todos que tem consciência que estas reservas estão se tornando escassa e que algumas delas não são renováveis.

Para Sankh *et. al.* (2014) há uma necessidade de encontrar um novo material alternativo para substituir a areia de rio, visto que o excesso de erosão dos rios causa danos ao meio ambiente e este precisa ser evitado. Ainda segundo os autores muitos pesquisadores estão encontrando diferentes materiais para substituir a areia de rios, e um dos principais materiais são os resíduos de pedreiras, ou pó de pedra. Usando diferentes proporções destes materiais; juntamente com a areia de rios necessária na mistura das argamassas pode ser obtida bons resultados na aplicação e durabilidade das mesmas.

As restrições impostas à extração da areia natural contudo, não diminui a sua necessidade de uso visto que os levantamentos estatísticos apontam para o elevado consumo continuo deste agregado no Brasil. A necessidade de alternativas que possam substitui-la com eficiência e qualidade passa por um processo de conscientização em torno de pesquisas e estudos na busca de uma alternativa viável técnica e econômica.

Em 2014, foram aprovados pelo DNPM – Departamento Nacional de Pesquisa Mineral - 530 relatórios de pesquisa para areia. A Declaração de Investimento em Pesquisa Mineral – DIPEM, realizada pelo DNPM, indicou gastos de R\$ 14,7 milhões na pesquisa de areia, representando 2,8% do total investido na pesquisa mineral do país em 2014. Nas áreas produtoras de areia, o investimento de R\$ 87 milhões representou 1,9% do total investido em 2014, conforme informado no Relatório Anual de Lavra - RAL. Os valores de investimento em pesquisa e produção de areia ainda estão sujeitos a revisão. (SUMÁRIO MINERAL. Brasil: DNPM, 2016).

Na Figura 1 está demonstrado o boletim econômico da ANEPAC (2015), onde está descrito o consumo de agregados por região e também a situação econômica de produção e consumo de areia e brita no Brasil.



**Figura 1 - Consumo de agregados por região do país, situação dos agregados na economia brasileira em 2014.**

**Fonte: ANEPAC e SINDUSCON/SP. (2015).**

A dispersão geográfica é uma das características naturais dos minerais usados no emprego imediato na construção civil. Todavia, para que eles sejam economicamente viáveis, fatores como a legislação mais ou menos restritiva, a

inviabilização de reservas e jazidas pelas cidades e por usos do solo impeditivos à mineração, o uso e posse de tecnologia de pesquisa e lavra, o sistema de transportes e a demanda por minerais para agregados são fundamentais, (LASERNA e RESENDE, 2009).

O custo do transporte deste material também é um fator bastante relevante, pois nem sempre existem jazidas de extração dentro de um raio economicamente viável, forçando assim transportes longos que encarecem sobremaneira o produto, indispensável para construção civil.

Esta situação que vem ocorrendo ao longo dos anos conforme o Centro de Tecnologia Mineral – CETEM (2004), que diz: Somente em 2000, foram consumidos 141 milhões de m<sup>3</sup> de areia natural no Brasil.

Em algumas localidades no país, em particular nos maiores centros urbanos, onde há crescente restrição da exploração de areias de rios e várzeas, a areia natural não está facilmente disponível, sendo suprida por jazidas em municípios que distam até 100 km.

Este fato tem resultado em aumento significativo do preço destes agregados nestas localidades, tendo em vista o valor relativamente baixo desse agregado e o elevado custo do transporte. Neste caso, a produção de areia a partir da pedra britada é uma alternativa viável, tendo em vista a abundância deste material a distâncias economicamente viáveis das grandes obras.

Do ponto de vista econômico o menor custo da areia de britagem em relação a areia de rios em regiões com escassez deste produto, ou distante dos centros fornecedores é um aspecto altamente relevante. Do ponto de vista ambiental pode ser citado o fato que a areia de britagem veio suprir a demanda gerada devido as restrições impostas a extração das areias dos leitos de rios, (PANDOLFO e MASUERO, 2005).

Baseados nestes dados busca-se alternativas que possam substituir a areia natural de forma total ou parcial na construção civil, e uma destas alternativas é a areia de britagem de rocha calcária, encontrada com frequência no Paraná. Na região metropolitana de Curitiba, Domakoski (2010). Esta rocha é encontrada em grande quantidade em forma de resíduos provenientes das indústrias de cimento existentes no entorno da região metropolitana, o que motivou a escolha da rocha calcária para esta pesquisa

No Brasil essa rocha possui denominações como pó-de-pedra, areia industrial, areia artificial ou areia de britagem, dependendo da rocha de origem. Ao longo deste trabalho será denominada de areia de britagem de rocha calcária.

O conhecimento técnico já adquirido relacionado ao uso da areia natural na construção civil, seus resultados e benefícios faz com que parte do setor envolvido nesta indústria desconheça o uso da areia de britagem, suas características e benefícios, dando uma visão equivocada que esta seria uma alternativa nova na indústria da construção civil. Porém, Nugget (1979) diz que a areia de britagem de rocha calcária já era utilizada no séc. XIX, fala ainda do reconhecimento pelo uso desta areia como agregado miúdo

Segundo Arnold (2011), no Brasil pouco se tem documentado a respeito do uso da areia de britagem em argamassas de revestimento, bem ao contrário de sua utilização no concreto. Pode-se abordar a areia de britagem como um aproveitamento de resíduos, já que sua obtenção é feita a partir do pó de pedra, resíduo da britagem de rochas para a produção do agregado graúdo.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

Analisar o comportamento da areia de britagem de rocha calcária na argamassa de revestimento.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Determinar os índices físicos e químicos (espectroscopia e difratometria de raios x) da areia natural e da areia de britagem de rocha calcária;
- Analisar o comportamento das argamassas compostas com areia de britagem de rocha calcária, no estado fresco e endurecido sem o uso da cal e com aditivo plastificante;
- Determinar qual a melhor porcentagem de areia de britagem de rocha calcária a ser utilizada na argamassa de revestimento, que mantenha as especificações exigidas pelas normas.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

A dificuldade encontrada em extrair areia natural em torno de grandes centros, o impacto ecológico/ambiental causado pela sua extração, a diminuição da oferta deste produto pelo esgotamento das jazidas, incentivam a busca por alternativas viáveis técnica e econômica/financeira, para sua substituição, intensificando o desenvolvimento de estudos com areia de britagem de rocha calcária como componente de argamassas e concretos.

Segundo Almeida *et. al.* (2003), a areia de britagem de rocha calcária possui características favoráveis ao seu uso nas argamassas, tais como:

- aproveitamento integral das pedreiras;
- obtenção de areia com características físicas e químicas constantes;
- solução de problemas ambientais.

Esse material, conhecido como agregado miúdo de pedra britada, pó-de-pedra, areia artificial ou areia de britagem é considerado de difícil utilização em obras correntes, mas tem sido intensivamente utilizado pelas indústrias fornecedoras de argamassas industrializadas e dosadas em central, (DRAGO, VERNEY e PEREIRA, 2009)

Para Bacaerji e Toledo Filho (2012), se não for encontrado um aproveitamento tecnicamente viável para os resíduos de britagem de rochas, o Brasil terá sérios problemas ambientais com o setor em um futuro próximo.

Estes estudos fornecem parâmetros técnicos para a utilização da areia de britagem de rocha calcária em argamassas de revestimento, tornando-se assim importantes para a correta utilização da mesma, sem o prejuízo da qualidade final das argamassas

## 1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Este trabalho será composto por 05 (cinco) capítulos, sendo no capítulo 1 a introdução com as informações básicas do trabalho como também a sua importância.

No segundo capítulo é apresentada a revisão bibliográfica sobre as características e uso das argamassas de revestimento bem como dos materiais que compõem estas argamassas.

No terceiro capítulo é apresentada a metodologia usada no desenvolvimento da pesquisa, materiais utilizados, normas seguidas, e ensaios realizados para caracterização destes materiais e das argamassas produzidas com os mesmos.

No quarto capítulo são apresentados os resultados obtidos ao longo da pesquisa e a discussão destes resultados.

No quinto capítulo são apresentadas as conclusões do trabalho.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 CONCEITO DE ARGAMASSA

Segundo a NBR - Norma Brasileira Regulamentadora, 13529 - Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Terminologia (ABNT – Associação Brasileira de Normas técnicas, 2013), argamassa é uma mistura homogênea de agregado(s) miúdo(s), aglomerante(s) inorgânico(s) e água, contendo ou não aditivos ou adições, com propriedades de aderência e endurecimento.

Para Sabatini (1986), a argamassa pode ser conceituada como um material complexo, cuja composição deve conter essencialmente materiais inertes, de baixa granulometria (agregados miúdos) e de uma pasta com propriedades aglomerantes, composta por minerais e água, podendo ser composta, ainda, por produtos especiais, denominados aditivos.

### 2.2 COMPONENTES DAS ARGAMASSAS

As argamassas são compostas basicamente por aglomerantes, material inerte e água. Os aglomerantes podem ser o cimento a cal e o gesso, o material inerte nas argamassas é o agregado miúdo, (pode ser a areia natural, areia artificial, esta pode ser industrial ou de britagem, e também areia de RCD). Os aditivos também podem ser usados como uma opção para adequar a argamassa conforme a sua finalidade de uso, como também para substituir a cal na mesma; com o objetivo de facilitar a preparação e aplicação da argamassa. É possível ainda o uso de adições como opção para diferentes tipos de argamassas, porém estas não serão o foco deste trabalho.

#### 2.2.1 Cimento

O cimento é o aglomerante mais utilizado na construção civil, surgiu na Europa, em 1756, e foi patenteado como cimento Portland em 1824 (TAYLOR 1967 apud SILVA 2006).

Com o passar dos anos os processos para a fabricação do cimento foram se transformando e modernizando. Existem hoje vários tipos de cimento distribuídos em diferentes categorias e classificações, com recomendação própria do fabricante em

função do uso e do objetivo final dos resultados. Nas Tabelas 1 e 2 estão descritas as características dos cimentos Portland.

**Tabela 1 - Especificações químicas para o cimento.**

Tipo de cimento Portland	Resíduo insolúvel (%)	Perda ao fogo (%)	MgO (%)	SiO <sub>3</sub> (%)	CO <sub>2</sub> (%)	S (%)
CP I	≤1,0	≤2,0	≤ 6,5	≤4,0	≤1,0	-
CPI-S	≤5,0	≤4,5	≤6,5	≤4,0	≤3,0	-
CP IIE	≤2,5					-
CP IIZ	≤16,0	≤6,5	≤6,5	≤4,0	≤5,0	-
CP IIF	≤2,5					-
CP III	≤1,5	≤4,5	≤6,5	≤4,0	≤3,0	≤1,0
CP IIV		≤4,5	≤6,5	≤4,0	≤3,0	-
CPV-ARI	≤1,0	≤ 4,5	≤6,5	≤3,5	≤3,0	-

Fonte: Boletim técnico ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland (2002).

**Tabela 2 - Componentes do cimento.**

Tipo do cimento Portland	Sigla	Composição (%em massa)				Norma Brasileira
		Cíinquer + Gesso	Escoria granulada de alto forno (sigla E)	Material pozolânico (Sigla Z)	Material carboná tico (Sigla F)	
Comum	CP I CP I-S	100 99-95		- 1-5		NBR 5732
Composto	CP II-E	94-56	6-34	-	0-10	NBR 11578
	CP II-Z	94-76	-	6-14	0-10	
	CP II-F	94-90	-	-	6-10	
Alto forno	CP III	65-25	35-70	-	0-5	NBR 5735
Pozolânico	CP IV	85-45	-	15-50	0-5	NBR 5738
Alta resistência inicial	CPV-ARI	100-95	-	-	0-5	NBR 5733
Branco estrutural	CPB-25 CPB-32 CPB-40	100-75	-	-	0-25	NBR 12989
	CPB	74-50	-	-	26-50	

Fonte: Boletim Técnico da ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland (2002).

### 2.2.2 Agregados Miúdos

Os agregados usados na construção civil tem como origem vários tipos de rochas. Podem ser encontrados no seu estado solido (as rochas *in natura*) ou granulares, fragmentados naturalmente ou por processos industriais. Provenientes de rochas sedimentares; como arenito e siltitos, entre outras, ou metamórficas como os quartzitos, calcários e gnaisses; ígneas como o granito, sienitos, basaltos e diabásios.

Para Tristão (2005), a grande variabilidade das areias se deve às suas diferentes origens, tanto dos minerais formadores quanto dos fenômenos de intemperismo e desintegração, seguida de erosão dos materiais. Para facilitar a análise das propriedades das areias em relação às suas origens, estas são inicialmente classificadas, obtendo-se assim uma visão geral da areia que se está trabalhando.

Dentre as inúmeras formas de classificação dos agregados miúdos para o uso em argamassas e concretos, podem ser citadas a granulometria, e a origem e produção das areias.

Segundo a NBR 7211 - Agregados para concreto – Especificação (ABNT, 2005), agregado miúdo é todo material cujo os grãos passam pela peneira de abertura 4,75mm e ficam retidos na peneira com abertura 150 µm, em ensaio realizado de acordo com a NBR NM 248 - Agregados – Determinação da composição granulométrica (ABNT, 2003), com peneiras definidas pela NBR NM ISSO 3310-1 – Peneiras de ensaio – Requisitos técnicos e verificações (ABNT, 2010).

No que tange à produção, as areias podem ser naturais ou artificiais, sendo mais utilizadas as areias naturais provenientes dos leitos de rios, areia de cava ou de barranco e as areias eólicas. No Brasil, a areia de construção é produzida em todas as unidades da federação. As duas principais fontes de extração são os leitos de rio (extração por dragagem) e as várzeas (extração em cavas). A participação relativa de cada uma destas fontes varia conforme a região, (Sumário Mineral 2013), enquanto que a areia britada de rocha calcária mais utilizada é a areia de britagem, (TRISTÃO, 2005).

#### 2.2.2.1 Areia natural

A areia ocorre em cursos d'água, em depósitos naturais de arenitos não consolidados, aluviões antigos ou recentes, depósitos residuais, solos de alteração, em locais de intemperismo de rochas ricas em quartzo, comuns nas zonas de chapadas. Areias de praias e dunas litorâneas não apresentam boa qualidade como material para construção civil devido à presença de sais. No Brasil, a utilização de depósitos de areia e cascalhos marinhos está restrita ao controle da erosão e reconstrução praial, embora estes recursos já sejam amplamente utilizados como agregados para construção em países da Europa e Ásia.

A areia natural mais usada apresenta granulometria variada, muitas vezes necessitando de classificação por peneiramento na própria obra para atender as necessidades de granulometria exigidas na composição de uma argamassa ideal para o consumo em revestimentos, (SUMARIO MINERAL, 2016).

A areia natural é uma areia passível de apresentar alto índice de matéria orgânica, pela dificuldade de controle na fase de extração, muitas de suas características físicas após analisadas em laboratório podem ser corrigidas para viabilizar o seu consumo.

Segundo BEIXING et al (2011) a grande utilização desta areia tem causado um esgotamento em larga escala das fontes geradoras, causando assim, problemas ambientais. Assim tem-se buscado a utilização de agregados que não causem danos ambientais e de fácil acesso, como exemplo a areia de britagem.

#### 2.2.2.2 Areia britada de rocha calcária

Os calcários podem ter origem metamórfica ou sedimentar com composição mineralógica principalmente calcítica (cálcio) ou secundariamente dolomítica (magnésio). De origem metamórfica são mais resistentes mecanicamente, mas com dureza inferior aos silicatos, (SUMARIO MINERAL, 2016)

A areia de britagem é um material proveniente de um processo de cominuição mecânica de rocha, submetido ou não a algum processo de classificação para retirada do material pulverulento, com diâmetro entre 4,8mm e 150µm segundo a NBR 9935 – Agregados – Terminologia (ABNT, 2011).

A NBR 7211 (ABNT, 1983) já previa o uso desta areia como agregado miúdo, embora a NBR 9935 (ABNT, 1987) a designasse como areia artificial, popularmente ela tinha várias denominações como: pó de pedra, areia industrial, areia de brita, fíler de britagem, areia artificial.

Na revisão da NBR 9935 em 2005, foi determinado que este material passasse a ser denominado de areia de britagem. Cuchierato, Sbrighi e Quitete (2005) dizem que esta areia deixou de ser denominada de artificial, visto que sua origem é a cominuição de rochas naturais.

Material candidato a substituir a areia natural deve, no mínimo, atender as mesmas especificações com relação a distribuição de tamanhos, forma, textura,

resistência, dureza, módulo de elasticidade, absorção de água e presença de contaminantes, entre outros, (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

Um material que pode atender essas especificações é a areia produzida a partir de processos de cominuição de rocha sã, também chamada de areia de britagem ou areia britada de rocha calcária.

Enquanto algumas dessas características estão unicamente associadas à composição da rocha de origem (como a dureza, absorção de água, presença de contaminantes, por exemplo), algumas outras podem ser controladas durante o processo produtivo, que são os casos da distribuição de tamanhos, forma, textura dos grãos e, em menor magnitude, a resistência e o módulo de elasticidade (DAVID *et. al.*, 2004).

Ainda segundo o autor, isso faz com que a escolha adequada do processo de britagem/classificação determine o sucesso da geração de um produto que atenda as especificações necessárias.

Drago *et. al.* (2009), cita Bastos (2002); Almeida e Pereira, (2004); Lodi e Prudêncio Junior, (2006); Buest, (2006); Pereira, (2008); entre outros, que tem desenvolvido uma série de estudos que visam avaliar o uso da areia de britagem em concretos e argamassas, em substituição completa ou parcial da areia natural, e a identificar eventuais características dos agregados, de natureza física e ou química, que possam prejudicar as propriedades mecânicas e a durabilidade das argamassas.

As partículas da areia britada são mais angulosas e menos esféricas que as partículas da areia natural (SILVA *et.al.* 2005; BEIXING, *et. al.* 2011). Isso pode modificar a trabalhabilidade das argamassas compostas com esta areia.

Nogueira *et. al.* (2005) afirmam que a pequena variação da distribuição granulométrica das areias de britagem de rocha calcária ao longo do processo de produção é um ponto positivo das areias de britagem e favorece seu uso em função da sua homogeneidade ao longo da curva.

Enquanto algumas das características da areia de britagem de rocha calcária, estão unicamente associadas à composição da rocha de origem (como a dureza, absorção de água, presença de contaminantes, por exemplo), algumas outras podem ser controladas durante o processo produtivo, que são os casos da distribuição de tamanhos, forma, textura dos grãos e, em menor magnitude, a resistência e o módulo de elasticidade (DONZA, et al, 2002).

Cortes, D. D., Kim, H. K., Palomino, A. M., & Santamarina, J. C.(2008), Dizem que a forma e a textura dos grãos vão influenciar na densidade de empacotamento das partículas, e também uma maior fluidez da pasta, bem como um aumento de volume da pasta.

Para Bianchi (2004) as características das argamassas também podem ser alteradas em função da granulometria destas areias, que muitas vezes apresentam um elevado teor de finos.

O excesso de material pulverulento no agregado miúdo se torna um fator complicador na composição de traços, pois quanto maior a quantidade deste material maior será o consumo de água, provocando um aumento no consumo do cimento nas pastas.

Por outro lado, para Grigoli (2001) a argamassa este mesmo teor de material pulverulento pode até se tornar uma vantagem pois ele contribuirá para aumentar a trabalhabilidade, ajudando a diminuir a porosidade da argamassa, contribuirá para a durabilidade do revestimento.

Segundo Bederina, M.; Makhloufi, Z.; Bouziani, T.(2011), a adição de rocha calcária melhora a trabalhabilidade a resistência a compressão e a flexão, reduz as variações dimensionais, tornando viável o uso deste material em concretos e argamassas.

Person (1998), ressalta o fato dos materiais britados de rocha apresentarem formas alongadas e maior rugosidade do que os agregados naturais, dificulta sua utilização em argamassas de revestimento, bem como tais características também fariam com que as argamassas consumissem uma quantidade maior de aglomerantes.

Segundo Silva, Buest e Campitell (2005), a areia britada de rocha calcária e os finos desta areia contribuem para o aumento da resistência a tração na flexão, bem como o aumento da resistência a compressão nas argamassas de revestimento.

Tristão (2005) diz que são vantagens para o seu uso a pouca transformação necessária para adequar a mesma apta ao uso: britagem com arredondamento do grão, e remoção do excesso de fíler de acordo com a rocha empregada, para melhor desempenho.

### 2.2.2.3 Caracterização química e mineralógica dos agregados miúdos

Para conhecer e analisar o comportamento dos agregados miúdos nas argamassas podem ser realizados ensaios de caracterização física, química, mineralógica, bem como análise da forma e textura dos grãos. Na análise química e mineralógica, existe a espectroscopia de fluorescência de raios X, e a difratometria de raios X (DRX), instrumentos importantes para o conhecimento do comportamento das areais nas argamassas

A análise por espectroscopia de fluorescência de raios X é um método qualitativo baseado na medida das intensidades (número de raios X detectados por unidade de tempo) dos raios X característicos emitidos pelos elementos que constituem a amostra (BOUMANS, P.; e R. KLOCKENKÄMPER; 1989)

Nascimento (1999), resume em três etapas a análise de espectroscopia de fluorescência de raios X: primeiro a excitação dos elementos que constituem a amostra, em seguida dispersão dos raios X característicos emitidos pela amostra e finalmente a detecção destes raios X. Este ensaio permite uma análise mais detalhada da composição de elementos como quartzo e calcários existentes nas areias.

A difratometria de raios X é um método eficiente e seguro para pesquisas científicas e tecnológicas e para ensaios não destrutivos, é a única técnica para determinação precisa de estruturas cristalinas simples, (como é o caso de materiais inorgânicos), e também para estruturas complexas como é o caso de proteínas e vírus, (DIFRAÇÃO E ESPECTROMETRIA DE RAIOS X, 2005)

Ainda segundo os autores A Difratometria de Pó ou Difratometria  $\theta$ - $2\theta$ , utiliza amostras poli cristalinas ou em forma de pó. O fenômeno da difração é regido pela lei de Bragg:

O diagrama obtido com difratometria de raios X revela a intensidade e a posição angular dos perfis que correspondem cada qual à família de planos (hkl). A partir da posição angular ( $2\theta$ ) do pico de cada perfil, obtém-se o espaçamento  $d_{hkl}$  usando a Lei de Bragg (DIFRAÇÃO E ESPECTROMETRIA DE RAIOS X, 2005)

Araújo *et. al.* (2015), comprovaram que a mineralogia dos agregados influencia a forma dos grãos, Arnold (201), afirma que a forma dos grãos é de extrema importância para o consumo de água nas argamassas, a autora realizou o ensaio pelo método da imagem, o mesmo descrito por Tristão (2005).

Tristão (2005) descreve o método, citando que as esfericidades de suas areias foram calculadas através da metodologia de Carr *et. al.* (1990). O mesmo autor descreve o método das imagens divididos em duas etapas, a primeira para grãos de diâmetro 4,75 mm a 1,18 mm e a segunda para grãos com diâmetro, de 1,18 mm a 0,075 mm.

As imagens foram feitas por uma câmera fotográfica e para sua análise, recorre-se ao auxílio de uma iluminação especial e lupa de aumento. O mesmo diz ainda que a rugosidade das areias pode ser determinada segundo Hyslip e Vallejo (1997).

Person (1998), para realizar esta análise utilizou 400 grãos para as três porções mais finas, e de 100 a 200 grãos para as frações mais grossas da areia, e concluiu após a análise estatística dos dados que esta porção de grãos para as porções mais grossa é insuficiente. Havendo necessidade de aumentar esta quantia.

### 2.2.3 Cal

De acordo com Guimarães (2002), a cal provavelmente é conhecida pelo homem desde os primórdios da Idade da Pedra (período paleolítico), ao final do Pliocênico.

A cal é encontrada no mercado na forma de cal virgem, ou cal hidratada. A cal virgem é o produto resultante da calcinação de pedras calcárias a uma temperatura inferior ao do início de sua fusão (cerca de 900°C).

De acordo com Carasek *et. al.*, (2001) a cal pode ser classificada em função de sua composição química da seguinte forma:

- Cal virgem cálcica: CaO - entre 100% e 90% dos óxidos totais;
- Cal virgem magnésiana: CaO - entre 90% e 65% dos óxidos totais;
- Cal virgem dolomítica: CaO - entre 65% e 58% dos óxidos totais.

Para o uso da cal na argamassa esta passa por um processo de hidratação, processo hoje já realizado de forma industrial.

A NBR 7175 – Cal hidratada para argamassas – Requisitos (ABNT, 2003) define a cal hidratada como: “Pó obtido pela hidratação da cal virgem, constituído essencialmente de uma mistura de hidróxido de cálcio e hidróxido de magnésio, ou

ainda, de uma mistura de hidróxido de cálcio, hidróxido de magnésio e óxido de magnésio”.

A cal no estado fresco proporciona maior plasticidade e trabalhabilidade à argamassa permitindo assim uma maior produtividade na execução do revestimento. Outra propriedade importante é a retenção da água no estado fresco da argamassa, por não permitir a sucção excessiva de água pela base (RAGO e CINCOTTO, 1999).

A cal tem importante função como material constituinte da argamassa, porém, devido ao grande número de cales hidratadas fornecidas ao mercado consumidor com baixa qualidade, apesar da Norma Brasileira NBR 7175 (ABNT, 2003), especificar os requisitos a serem atendidos pelas cales hidratadas, muitos produtos colocados no mercado não atendem a este documento publicado pela ABNT (CUKIERMAN *et. al.*, 2003, apud GONÇALVES, 2006).

#### 2.2.4 Aditivos

Produtos largamente utilizados para melhorar a trabalhabilidade dos concretos e argamassas e classificados por Aitcin, (2000) em quatro grandes grupos de acordo com suas funções; os que promovem dispersão nas partícula de cimento; os que modificam a inércia no processo de hidratação do cimento; os que reagem com algum subproduto da hidratação; os e os que apresentam apenas ação física nos concretos.

Segundo a NBR EB 1763 – Aditivos para concreto de cimento Portland – Especificações (ABNT, 1992); aditivos são produtos que adicionados em pequena quantidade a concretos de cimento Portland modificam algumas de suas propriedades para adéqua-los melhor a determinadas condições.

A norma os classifica em; plastificante, retardador, acelerador, incorporador de ar e superplastificantes, que compostos entre si totalizam a quantidade de 9 (nove) tipos diferentes de aditivos.

Um dos aditivos usados é o redutor de água, que possibilita a melhora da trabalhabilidade do concreto, mantendo a relação água/cimento, aumentando assim a resistência do concreto (AITCIN. JOTLICOEUR e MACGREGOR, 1994).

Ainda segundo Aitcin: Jolicoleur e Macgregor (1994) o uso do aditivo em determinadas situações pode significar ganho de tempo e solução na melhora do desempenho dos concretos e argamassas, conferindo qualidade e eficiência na obra.

Para Lejeune 1996, *apud*. Rago e Cincotto (1999), uma boa argamassa além de ser bem dosada, deve ser composta por bons materiais. É tradição o uso da cal na composição das argamassas, porém atualmente com o uso dos aditivos cada vez mais difundidos a cal vem sendo em muitos casos deixada de lado. Ainda segundo o autor esta prática muitas vezes acaba influenciando a trabalhabilidade das argamassas.

Apesar destas constatações o uso dos aditivos está a cada dia mais difundido no meio da construção civil.

O uso do aditivo plastificante em argamassa favorece o aumento da retenção de água, aumentando a quantidade de aditivo aumenta a resistência a compressão, (MONTAGNER *et. al.*, 2006).

#### 2.2.5 Composição dos Traços das Argamassas

Carneiro e Cincotto (1999), descrevem o método de dosagem das argamassas, através da curva granulométrica, método este que utiliza a curva de todos os materiais constituintes, para determinar a curva granulométrica das argamassas é utilizado o cálculo matemático da progressão geométrica de diâmetros.

Quarcioni (1998), analisou o método IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas) de dosagem de materiais para traços de argamassa e concluiu que é aplicável para relação aglomerante/agregado 1:3 como para 1:4, sem observar alterações para traços mais pobres ou mais ricos em aglomerantes.

Segundo Carneiro (1999), no Brasil adota-se usualmente traços recomendados pelo IPT, pela ABNT e por cadernos de dosagem, de acordo com o mesmo autor tem se adotado para argamassa de revestimento traços 1:1:6 e 1:2:9, de cimento, cal e areia.

Carasek (2010), apresenta traços recomendados por algumas entidades normalizadoras, onde NBR 7200 -. Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Procedimento (ABNT 1982), também sugere um traço. Esta norma foi substituída pela NBR 7200 (ABNT 1998), e deixou de recomendar traços para argamassas, deixando uma lacuna, permitindo assim o uso de traços não recomendados para o bom desempenho das argamassas ao longo de sua vida útil.

Na Tabela 3 estão descritos os traços apresentados por Carasek.

**Tabela 3 - Traços recomendados por algumas entidades normalizadoras.**

Tipo de argamassa		Traço em volume			Referencias
		Cimento	Cal	Areia	
Revestimento de paredes interno e de fachada		1	2	9 a 11	NBR 7200 (ABNT 1982)
Assentamento de alvenaria estrutural	Alvenaria em contato com o solo	11	0 a 1/4	2,5 a 3X (volumes de cimento + cal)	ASTM C 270
	Alvenaria sujeita a esforços de flexão	1	1/2		
	Uso geral, sem contato com o solo	1	1		
	Uso restrito, interno/baixa resistência	1	2		

Fonte: Carasek (2010).

A Tabela 3 apresenta recomendações de traços para as argamassas em função do objetivo final do revestimento, observa-se que a ASTM C 270 varia a quantidade de cal para cada objetivo do revestimento, mantendo o cimento e a areia constante.

### 2.3 CLASSIFICAÇÃO DAS ARGAMASSAS

A NBR 13529 (ABNT, 2013), que substituiu a NBR 13530 (ABNT,1995) classifica as argamassas em três grupos:

- Termos relativos à natureza, tipo e número de aglomerantes
- Termos relativos as propriedades;
- Termos relativos as condições de fornecimento ou preparo.

Dentre as classificadas em relação a natureza, ripo e número de aglomerante estão as argamassas mistas, de cal e argamassa simples, que são as mais utilizadas hoje principalmente quando preparadas na obra.

As argamassas de revestimento e as aditivadas se encaixam na nova classificação da norma no grupo de termos relativos a propriedade.

A norma define cada uma destas argamassas como:

- argamassa mista –preparada com mais de um aglomerante;
- argamassa de cal – preparada com cal como único aglomerante;

- argamassa simples – preparada com um único aglomerante;
- argamassa de revestimento – mistura homogênea de agregado(s) miúdo(s), aglomerante(s) inorgânico(s) e água, contendo ou não aditivos ou adições, com propriedades de aderência e endurecimento;
- argamassa aditivada – cujas propriedades no estado fresco ou endurecido são melhoradas por aditivo(s).

A classificação das argamassas deve se dar em função dos materiais que compõe as mesmas, da forma como será aplicada, e do tipo de papel que a mesma ira desempenhar na obra. Para Carasek (2010) a classificação das argamassas pode ser determinada da forma como está descrito nos Quadros 1 e 2.

<b>Quanto a função das argamassas</b>	<b>Tipos das argamassas</b>
Para construção de alvenarias	Argamassa de assentamento
	Argamassa de flexão ou enchumbamento
Para revestimento de paredes e tetos	Argamassa de chapisco
	Argamassa de emboço
	Argamassa de reboco
	Argamassa de camada única
	Argamassa para revestimento decorativo mono camada
Para revestimento de pisos	Argamassa de contra piso
	Argamassa de alta resistência para pisos
Para revestimentos cerâmicos (Pisos e paredes)	Argamassa colante
	Argamassa de rejuntamento
Para recuperação de estruturas	Argamassa de reparo

**Quadro 1 - Classificação das argamassas segundo a sua função na construção.**  
Fonte: Carasek (2010).

<b>Critério de classificação das argamassas</b>	<b>Tipos de argamassas</b>
Quanto a natureza do aglomerante	Argamassa aérea
	Argamassa hidráulica
Quanto ao tipo do aglomerante	Argamassa de cal
	Argamassa de cimento
	Argamassa de cimento e cal
	Argamassa de gesso
	Argamassa de cal e gesso
Quanto ao número de aglomerantes	Argamassa simples
	Argamassa mista
Quanto a consistência da argamassa	Argamassa seca
	Argamassa plástica
	Argamassa fluida
Quanto a plasticidade da argamassa	Argamassa pobre ou magra
	Argamassa média ou cheia
	Argamassa rica ou gorda
Quanto a densidade da argamassa	Argamassa leve
	Argamassa media
	Argamassa pesada

**Quadro 2 - Classificação das argamassas segundo seus componentes e tipos**  
Fonte: Carasek (2010).

Na classificação descrita nos Quadros 1 e 2, as argamassas apresentam uma formulação básica atendendo as necessidades para as quais são propostas, muitas vezes somente uma destas argamassas não satisfaz sozinha as necessidades de uso, nestes casos podem ser compostas os vários tipos de argamassa, nesta pesquisa será utilizada a argamassa simples, (cimento, água e areia) composta com um aditivo plastificante.

A NBR 13281 (ABNT, 2005) ainda define as argamassas em função do desempenho das propriedades das argamassas como descrito no Quadro 3.

Classe	P	M	R	C	D	U	A
	MPa	Kg/m <sup>3</sup>	MPa		Kg/m <sup>3</sup>	%	MPa
1	≤ 2,0 ≤	≤ 1200	≤ 1,5 ≤	≤ 1,5	5 ≤ 1400	≤ 78	≤ 0,20
2	1,5 a 3,0	1000 a 1400	1,0 a 2,0	1,0 a 2,5	1200 a 1600	72 a 85	≥ 0,20
3	2,5 a 4,	1200 a 1600	1,5 a 2,7	2,0 a 4,0	1400 a 1800	80 a 90	≥ 0,30
4	4,0 a 6,5	1400 a 1800	2,0 a 3,5	3,0 a 7,0	1600 a 2000	86 a 94	-
5	5,5 a 9,0	1600 a 2000	2,7 a 4,5	5,0 a 12,0	1800 a 2200	91 a 97	-
6	> 8,0	> 1800	> 3,5	> 10,0	0 > 2000	95 a 100	-

**Quadro 3 - Classificação do desempenho das argamassas segundo a NBR 13281 (ABNT,2005).**  
**Fonte: Autoria própria**

Onde:

P – Resistência à compressão;

M- Densidade de massa aparente no estado endurecido:

R – Resistência a tração na flexão;

C – Coeficiente de capilaridade;

D – densidade de massa no estado fresco;

U – Retenção de água;

A -; Resistência potencial de aderência a tração

Esta classificação da NBR 13281 (ABNT, 2005), não especifica o uso das argamassas segundo seus desempenhos.

O *Centre Scientifique et Technique du Batiment* - (CSTB), criou a classificação MERUC, para as argamassas.

Estas propriedade da argamassa possuem critérios de desempenho critérios prescritas segundo o *Cahier des prescriptions techniques d'emploi et de mise en oeuvre* – Cahier 2669-2 (CSTB, 1993), que são divididos em 6 classes. Estes critérios estão descritos no Quadro 4.

Classe	M	E	R	U	C
	Kg/dm <sup>3</sup>	MPa	MPa	%	g/dm <sup>2</sup> /min <sup>1/2</sup> )
1	< 1,2	< 5.000	< 1,5	< 78	< 1,5
2	1,0 a 1,4	3.500 a 7.000	1,2 a 2,0	75 a 85	1,0 a 2,5
3	1,2 a 1,6	5.000 a 10.000	1,5 a 2,5	82 a 90	2,0 a 4,0
4	1,4 a 1,8	7.500 a 14.000	2,0 a 3,2	88 a 94	3,0 a 7,
5	1,6 a 2,0	12.000 a 20.000	2,7 a 4,0	92 a 97	5,0 a 12,0
6	> 2,0	> 16.000	> 3,4	96 a 100	> 10,0

**Quadro 4 - Classificação do desempenho das argamassas segundo a CSTB.**  
**Fonte: Autoria própria**

Onde:

M – densidade de massa no estado endurecido (kg/dm<sup>3</sup>);

E – módulo de deformação (MPa);

R – resistência à tração na flexão (MPa);

U – retenção de umidade (%);

C – coeficiente de capilaridade (g/dm<sup>2</sup>/min<sup>1/2</sup>).

Segundo a CSTB 2669-2 (1993), são determinadas as especificações para os diferentes tipos de exposição da parede, e condições atmosféricas e utilização do revestimento. Estas especificações determinam

a) tipo de exposição da parede

– forte exposição à chuva: C1 ou C2

– exposição a choques e deterioração:  $E \geq 3$  e  $R \geq 3$

– parede enterrada:  $M \geq 4$ ,  $R \geq 3$  e  $C \leq 2$

b) condições atmosféricas

– clima quente ou vento: U5 ou U6

– clima frio: M5 ou M6

c) utilização do revestimento

– cerâmica:  $E \geq 4$  e  $R \geq 4$

Estas são as condições de fabricação comercialização e uso das argamassas segundo a CSTB

## 2.4 PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS

As argamassas de revestimento apresentam várias propriedades, tanto no estado fresco como também no estado endurecido, Carasek (2010) separa estas propriedades no estado fresco em: Trabalhabilidade, consistência, plasticidade, retenção de água e consistência, coesão, exsudação, densidade de massa, adesão

inicial. No estado endurecido as principais propriedades são a aderência e a elasticidade.

Para Souza e Lara (2005), algumas destas propriedades estão interligadas tornando difícil a sua análise em separado, como por exemplo a consistência, a plasticidade e a trabalhabilidade, pois os fatores que influenciam uma influenciaram também as outras.

Ainda segundo tais autores algumas propriedades das argamassas como por exemplo: coesão, plasticidade, consistência, tixotropia e retenção de água, são de difícil mensuração.

Bauer (1998), ainda reforça que a avaliação das propriedades é muito incipiente, fazendo uso de conhecimentos empíricos que permitem uma avaliação baseada em conhecimento tátil visual, embasados nos conhecimentos e experiências dos profissionais envolvidos nas avaliações.

#### 2.4.1 Consistência

É a propriedade que a argamassa apresenta no seu estado fresco, que dá a ela a capacidade de resistir a deformação, Cincotto (1995), citado por Honório e Carasek In: 3ro Congresso Português de Argamassas de Construção, Lisboa, Portugal. 2010.

. Na RILEM – *Reunion Internationale Des Laboratoires D'essais Et De Recherches Sur Les Materiaux Et Lês Constructions* - (1982), está descrito que a consistência, é a propriedade pela qual a argamassa tende a resistir às deformações que lhe são impostas.

A consistência de uma argamassa tem ligação direta com a quantidade de água de amassamento usada na sua preparação, sofrendo grande influência da relação água/aglomerantes, aglomerante/areia e da granulometria das areias.

Os grãos ficam imersos na pasta formada pelo cimento e água, a quantidade dos materiais constituintes do traço vai determinar a consistência da argamassa esta será considerada seca quando a pasta preenche os vazios entre os grãos, plástica quando a pasta forma uma fina película que atua como lubrificante na superfície dos grãos dos agregados, e será considerada fluída quando os grãos ficam imersos na pasta.

Esta propriedade pode ser medida na mesa *flow table* ensaio este regulamentado pela NBR 13276 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência (ABNT, 2005), e a *flow table* está especificada na NBR 7215 - Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. (ABNT, 1996).

Apesar de ser muito utilizado, este é um dos ensaios mais criticados por alguns autores, estes comentam que a mesa não tem sensibilidade para medir a reologia das argamassas (GOMES *et. al.* 1995; YOSHIDA e BARROS 1995; CAVANI *et. al.* 1997; PILILEGI 2001; JOHN 2003; NAKAKURA 2003; BAUER *et. al.* 2005; ANTUNES 2005, *apud.* SILVA N. G., 2006).

O comportamento reológico das argamassas pode ser medida pelo método de *Squeeze-Flow*, a NBR 15839 – Argamassa de assentamento e revestimento de paredes e tetos caracterização reológica pelo método *squeeze flow* (ABNT, 2010), descreve o método de ensaio para determinação do comportamento reológico de argamassas de assentamento e revestimento no estado fresco em solicitações de *Squeeze-Flow*.

Este método permite adequar as condições reológicas das argamassas para a obtenção das máximas propriedades finais dos revestimentos que são determinadas pelas características da formulação das argamassas (composição química, teor de água, aditivos e adições).

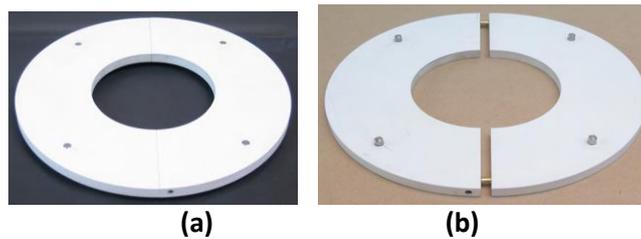
Segundo Nielsen (1929), reologia é o campo da ciências que procura descrever as deformações dos materiais dependentes do tempo quando os mesmos são expostos a ações mecânicas, como uma função de sua composição e estrutura.

A NBR 15839 (ABNT, 2010), define comportamento reológico como; comportamento do fluxo e da deformação da matéria como fluidos e “sólidos moles”, continua definindo *Squeeze-Flow* como fluxo de deformação sob compressão axial de uma amostra cilíndrica, entre duas placas paralelas.

Segundo Cardoso, John e Pileggi (2010), os principais requisitos de desempenho dos revestimentos estão no seu estado endurecido, como resistência de aderência parâmetro elástico e permeabilidade que determinarão a durabilidade do revestimento. Ainda segundo os autores as argamassas são aplicadas no estado fluído, mas o curto espaço entre a aplicação e o endurecimento é determinante para o comportamento do revestimento.

O objetivo da realização do ensaio do *squeeze flow* é caracterizar reologicamente as argamassas, o que pode ser influenciada pelo tipo de substrato, a absorção que o mesmo oferece ao se aplicar a argamassa como também a porosidade que o substrato apresenta quando aplicada a argamassa.

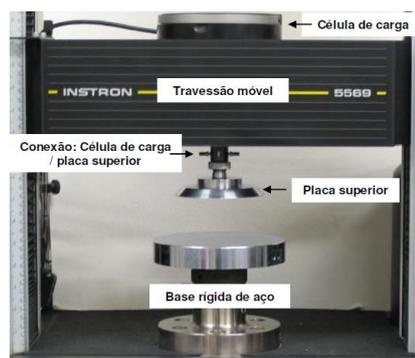
Os equipamentos necessários para a realização da análise das argamassas pelo método de *squeeze flow*, estão apresentados nas Figuras 2, 3, 4 e 5.



**Figura 2 - Gabaritos para a moldagem dos corpos de prova do *squeeze flow***  
**Fonte: Cardoso, Jonh e Pileggi (2010).**

Na Figura 2(a) está o anel de moldagem fechado, e na Figura 2(b) o anel de moldagem aberto, os anéis são importantes pois permitem a moldagem do corpo de prova sem que este sofra deformações para permitir uma aderência total da placa de prensagem e mantenha o diâmetro do corpo de prova até a hora da prensagem.

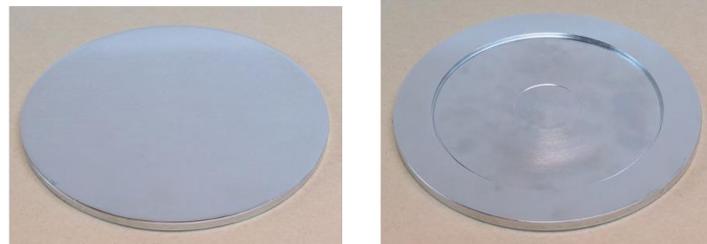
A Figura 3 descreve a posição dos equipamentos na máquina de execução do ensaio de *squeeze flow*.



**Figura 3 - Máquina universal de ensaio marca instron (modelo 569).**  
**Fonte: Cardoso, Jonh e Pileggi, (2010).**

Na Figura 3 está explicado a forma de encaixe do equipamento na máquina para fazer a prensagem dos corpos de prova. A prensa utilizada deve permitir a regulação da velocidade e força exigidos por norma para o esforço de compressão

sobre as amostras. Na Figura 4 estão demonstradas as bandejas que irão acomodar os corpos de prova para a realização do ensaio.

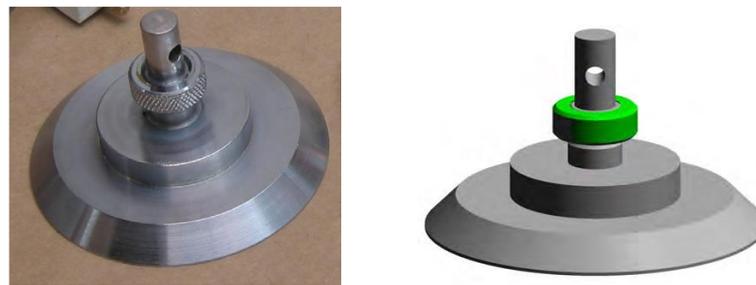


(a) (b)  
**Figura 4 - Placa inferior, (a) face superior e (b) face inferior.**

Fonte: Cardoso, Jonh e Pileggi (2010).

A parte inferior do equipamento e composto por duas placas que irão acomodar o corpo de provas, e devem ser totalmente planas e lisas sem rugosidade para que a argamassa quando sofrer o esforço de compressão possa deslizar livremente sobre a placa, sem que haja qualquer tipo de impedimento a deformação, não alterando assim a curva final do ensaio.

A Figura 5 está a parte superior de prensagem da máquina.



(a) (b)  
**Figura 5 - Placa superior com 101mm de diâmetro, (a) foto, (b) desenho esquematizado**

Fonte: Cascudo, Jonh e Pileggi (2010)

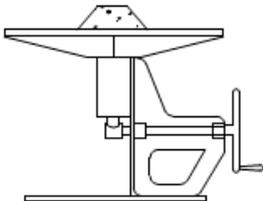
Estas placas devem também permitir um deslizamento perfeito da argamassa e tem os encaixes determinados para a prensa. Este equipamento permite que seja feito a análise da reologia das argamassas pelo método de *squeeze flow*, possibilitando conhecer o comportamento das mesmas no momento de sua aplicação.

## 2.4.2 Plasticidade

Segundo a RILEM R-M - *Reunion Internationale Des Laboratoires D'essais Et De Recherches Sur Les Materiaux Et Lês Constructions* – (1982), plasticidade é a propriedade que permite a argamassa deformar-se sem ruptura sob a ação de forças superiores as que promovem a sua estabilidade, mantendo a deformação depois de retirada o esforço.

A plasticidade é influenciada pelo teor de ar incorporado, pela natureza do teor do aglomerante, a forma como a argamassa é manuseada ou seja a forma e a intensidade com que é feita a mistura. A plasticidade também está ligada a coesão interna da mistura, ou seja, a força das tensões superficiais dos materiais, e também a água de amassamento das argamassas. (CAMARINI e ISHIKAWA, 2004).

Existem algumas alternativas de ensaio para testar a consistência e plasticidade das argamassas, estes ensaios relacionam estas propriedades com a viscosidade ou com a tensão de escoamento. Esta relação encontra-se no Quadro 5.

Método	Normas	Esquema	Propriedades avaliadas	Parâmetros reológicos que controla o fenômeno
Mesa de consistência <i>flow table</i>	NBR 7215 (ABNT, 1997) NBR 13276 (ABNT, 2005)		Consistência e plasticidade	Viscosidade
Penetração do cone	ASTM C 780 (2015)		Consistência	Tensão de escoamento

**Quadro 5 - Métodos utilizados para avaliar a consistência e plasticidade das argamassas.**  
Fonte: Bauer *et. al.* (2005); Carasek (2010).

Bauer *et. al.* (2005) faz uma descrição das características de execução do teste da mesa de consistência *flow table*, do teste de penetração do cone e do GTec teste e descrito por Araújo *et. al.* (2004), estas descrições estão apresentadas no Quadro 6.

Método	Descrição do teste
Mesa de consistência <i>flow table</i>	A consistência é estabelecida em função do espalhamento após a aplicação de um determinado número de golpes na mesa de consistência. Para este ensaio, a medida obtida relaciona-se com a viscosidade e não com a tensão de escoamento porque ao aplicar os golpes, a amostra é submetida a uma tensão que é maior que a tensão de escoamento. Entretanto, esta afirmação deve ser encarada com certa cautela, uma vez que o ensaio não permite uma avaliação do material em função do tempo o que seria necessário para uma possível correlação com a viscosidade.
Penetração do cone	O princípio deste teste é que a profundidade de penetração de determinado corpo dependerá da tensão de escoamento do material testado. Geralmente, a massa do corpo é pré estabelecida. Então, estes testes avaliam se a tensão aplicada é maior ou menor que a tensão de escoamento do concreto.

**Quadro 6 - Descrição dos testes para avaliar a consistência e plasticidade das argamassas.**  
**Fonte: Bauer et. al. (2005); Araújo et.al. (2004).**

### 2.4.3 Trabalhabilidade

Esta propriedade representa o grau de possibilidade da argamassa ao ser aplicada como revestimento pois dela depende a possibilidade de manuseio da argamassa no seu destino final. Vários autores definem a trabalhabilidade fornecendo assim subsídios de amplo entendimento da mesma.

Para a RILEM M-3 (1982), trabalhabilidade é a facilidade do operário de trabalhar com a argamassa que pode ser entendida como um conjunto de fatores inter-relacionados. Conferindo ainda boa qualidade e produtividade em sua aplicação considerando ainda que a consistência e a plasticidade são as duas propriedades reológicas básicas que caracterizam a trabalhabilidade.

O mesmo documento ainda diz que trabalhabilidade das argamassas é uma propriedade complexa que depende não só da consistência e plasticidade mas também da coesão, retenção de água, endurecimento sob sucção e tixotropia.

Selmo (1989) diz que a argamassa tem boa trabalhabilidade quando se deixa penetrar pela colher de pedreiro, sem ser fluida e mantendo-se coesa até ser aplicada e permanece úmida o suficiente até ser espalhada e receber o tratamento superficial previsto.

Cincotto, Silva e Casarek (1995) também defendem que a trabalhabilidade depende de outras propriedades como consistência, coesão retração de água e exsudação, plasticidade, tixotropia, tempo de pega e adesão inicial, conjugados com o julgamento subjetivo de quem for aplicar a argamassa.

Carasek (1996) complementa dizendo que trabalhabilidade e a habilidade da argamassa de espalhar-se sobre a superfície do componente do substrato, por suas

saliências protuberâncias e fissuras, definindo a intimidade do contato entre argamassa e o substrato. Relacionando-se assim com a aderência e sua extensão.

Carneiro e Cincotto (1999), falam da importância da distribuição granulométrica pois ela pode servir de base para a composição e dosagem das argamassas, ainda segundo os autores uma distribuição granulométrica uniforme proporciona uma argamassa com melhor trabalhabilidade no estado fresco, e no estado endurecido, uma compacidade elevada, com redução de volume de vazios e capacidade de deformação.

Segundo Silva (2005) esta diminuição do volume de vazios aumenta a densidade de massa das argamassas, justificando esta diminuição em função das massa específicas e unitária do agregado, segundo o autor a massa específica e a massa unitária do agregado no estado solto da areia de britagem é maior que a massa específica e unitária da areia natural, com o aumento da areia de britagem de rocha calcária no traço da argamassa automaticamente aumenta-se a densidade de massa da mesma.

Ainda segundo Silva (2006), o aumento da densidade de massa pode ser explicado pelo fato de que a areia de britagem possui um maior teor de material pulverulento, os finos ocupam os vazios entre os grãos de areia aumentando assim a compacidade do conjunto.

De Souza, Rosa e Arnold (2016) concluem em sua pesquisa que a diferença de densidade de massa entre a argamassa com areia natural e argamassa com areia de britagem é creditada principalmente a diferença de massa específica entre os tipos de areia.

Guacelli (2015) também afirma que a areia de britagem possui uma massa específica maior que a areia de extração e um maior teor de material pulverulento, o que contribui para o preenchimento dos vazios, aumentando assim a densidade de massa da argamassa.

#### 2.4.4 Retenção de Água

Segundo Cincotto *et.al.* (1995), retenção de água é a capacidade da argamassa no estado fresco de manter sua consciência ou trabalhabilidade quando sujeita a solicitações que provocam perda de água por evaporação, sucção do substrato ou pela hidratação do cimento ou carbonatação da cal.

Silva, Buest e Campiteli (2005), afirmam que a retenção de água nas argamassas não sofre influência da quantidade de finos que possam apresentar os agregados que compõe esta argamassa. Portanto mesmo que a areia de britagem apresente uma quantidade de finos mais elevada do que a areia natural isto não influenciaria na retenção de água desta argamassa.

Já Souza e Bauer (2007), em ensaio realizado com funil de *Büchner*, concluiu que o teor de finos influencia decisivamente no teor de perda de água por sucção, em todas as séries avaliadas. Ainda segundo os autores, as argamassas com menores teores de finos na sua composição (seja aglomerante ou partículas do agregado menos que 0,3mm), apresentaram uma forte tendência de perda de água por sucção.

Argamassas com diferentes retenções de água aplicadas em diferentes tipos de substratos, produzem maior resistência de aderência do revestimento aquelas que tem menor capacidade de retenção de água, (ROBINSON *et. al. apud.* CARASEK 1996).

#### 2.4.5 Exsudação

O excesso de água adicionada as argamassas provoca a segregação dos materiais e a perda das partículas finas da pasta, principalmente do aglomerante prejudicando a qualidade do desempenho do revestimento executado com esta argamassa.

Esta saída de água da mistura acontece por um processo de segregação (perda de coesão das partículas), denominado de exsudação, Gomes (2008), para manter a homogeneidade e a trabalhabilidade da argamassa esta propriedade exige que a mesma seja misturada com frequência, esta homogeneização faz com que a argamassa perca parte de suas propriedades prejudicando seu desempenho após aplicada.

Pilleggi (2001) cita Macgeary (1961) este afirma que o empacotamento está relacionado com correta seleção da proporção e do tamanho adequado dos materiais, de forma que os vazios maiores sejam preenchidos com partículas menores, cujos vazios serão novamente preenchidos com partículas ainda menores e assim sucessivamente. Segundo Souza, Rosa e Arnold (2016) traços utilizando a cal resultam em pequenos teores de ar incorporado.

Segundo De Souza e Bauer (2007), as composições diferenciadas de argamassa são sensíveis a técnica de perda de água por sucção, permitindo assim uma avaliação indireta do teor de água livre das argamassas com grande potencial de exsudação.

O uso do aditivo também contribuiu para valores elevados do teor de ar incorporado nas argamassa, pois segundo Silva. *et. al.*(2009) observa-se que uma pequena adição de aditivo proporciona um aumento considerável de ar incorporado na argamassa.

Os efeitos de exsudação podem ser minimizados aumentando o teor de finos na mistura, diminuindo o teor de água, ou ainda introduzindo um aditivo incorporador de ar na argamassa, como também usar materiais retentores de água como por exemplo a cal (GOMES, 2008).

Margon (2002) mostrou em sua pesquisa, que a exsudação de água nas argamassas aumenta principalmente nas duas primeiras horas, já Tristão (1999), *apud* Guacelli (2010), relata seus resultados como uma curva linear de crescimento até os 60min, com sensível redução até 120min, e em alguns caso podendo se tornar constante dos 120min aos 240min.

O mesmo autor atribui esta perda de exsudação ao enrijecimento da argamassa e sugere que se tome a medida da exsudação aos 60min como parâmetro de exsudação para a argamassa ensaiada.

De acordo com De Souza e Bauer (2007), a perda de água por sucção também é uma forma de medir o potencial de exsudação das argamassas, ou seja quanto maior a sucção de água no funil de *Büchner*, menor a retenção de água pela argamassa por consequência teríamos uma maior exsudação nesta argamassa.

#### 2.4.6 Coesão e Tixotropia

Refere-se as forças físicas de atração existentes entre as partículas solidas da argamassa e as ligações químicas da pasta do aglomerante, (CARASEK, 2010).

Cincotto, Silva e Carasek (1995), defendem que a estabilidade plástica das argamassas origina-se da coesão interna, como também da influência benéfica da cal sobre a consistência e a trabalhabilidade, diminuindo a tensão superficial da pasta aglomerante e de adesão ao agregado.

Tixotropia é a propriedade pela qual o material sofre transformações isotérmicas reversíveis, do estado sólido para o estado gel. Nas argamassas o estado gel diz respeito a pasta coesiva de aglomerante da pasta mais densa, após a hidratação, (CINCOTTO, SILVA e CARASEK, 1995)

#### 2.4.7 Adesão Inicial

Para Carasek (2010) adesão inicial é a união inicial da argamassa no estado fresco ao substrato.

Para Cincotto, Silva e Carasek (1995) a adesão inicial é a propriedade que caracterizará o comportamento futuro do substrato/revestimento quanto ao desempenho decorrente da aderência.

Rosello (1976) atribui a adesão inicial das argamassas ao substrato, as características reológicas, à pasta aglomerante, sendo a baixa tensão superficial da pasta a responsável à adesão física ao substrato e aos grãos do agregado, já Addleson (1986) considera como a ancoragem mecânica da pasta aos poros e irregularidade da base.

Cincotto, Silva e Carasek (1995) conclui que as duas razões contribuem para a aderência inicial da argamassa ao substrato ou seja: tanto a natureza das argamassas, quanto as características de porosidade e rugosidade e das condições de limpeza da base.

#### 2.4.8 Aderência no Estado Endurecido

Sabatini (1986), conceitua a aderência como a camada que possibilita o revestimento resistir as tensões normais e tangenciais atuantes na interface com a base. O autor considera a extensão efetiva da superfície de contato com a base de extrema importância, e que a mesma depende dos seguintes fatores:

- trabalhabilidade da argamassa, e técnica de execução do revestimento: tendo trabalhabilidade adequada a argamassa poderá apresentar contato mais extenso com a base através de um melhor espalhamento;
- natureza e característica da base: o diâmetro, natureza e distribuição dos corpos determinam a textura superficial e a capacidade de absorção da base que

podem ampliar ou não a extensão de aderência e ancoragem do revestimento;

- condições de limpeza da superfície de aplicação: na extensão de aderência é comprometida pela existência de partículas soltas de grãos de areia poeira fungos, concentração de sais na superfície (eflorescência), camadas superficiais de desmoldante ou graxa que constituem em barreiras para a ancoragem do revestimento a base.

Carasek (2010) diz que didaticamente a aderência deriva da conjunção de três propriedades da interface argamassa-substrato

- a resistência de aderência a tração;
- a resistência de aderência ao cisalhamento;
- a extensão de aderência (a razão entre a área de contato efetivo e área total passível de ser unida).

Cincotto, Silva e Carasek (1995) dizem que a aderência é influenciada pelos seguintes fatores:

- condições da base, como a porosidade e absorção da água, resistência mecânica, textura superficial e pelas próprias condições de execução do assentamento de componentes da base;
- natureza do aglomerante (argamassa de cal dolomítica apresentam maior resistência que as de cal cálcica);
- capacidade de retenção de água, da consistência e do conteúdo de ar da argamassa;
- a granulometria fina do agregado influencia favoravelmente a aderência.

Para Bauer (2005) a aderência é uma propriedade básica e fundamental de um sistema de revestimento de argamassas e se desenvolve através da ancoragem mecânica da argamassa com o substrato através da rugosidade e textura da interface, e também pela condição de atrito facilitada pelos compostos hidratados dos aglomerantes que penetram nas porosidades dos substratos.

Segundo o mesmo autor é fundamental que o substrato tenha uma determinada capacidade de absorção para permitir o caminho dos compostos principalmente do cimento, substratos com baixa sucção terão baixa capacidade de aderência.

O processo de execução do revestimento, materiais utilizados, condições climáticas, respondem a pelo menos 33% do resultado do ensaio de resistência de aderência a tração, como ressalta Bauer (2005) , o autor diz que estes ensaios devem ser analisados em relação ao tipo de ruptura ocorrido, tendo em vista que tanto o fato de romper na interface do revestimento argamassa/substrato (aderência pura), quanto no interior dos materiais (falha de estrutura interna), representam fraturas no sistema de revestimento.

A resistência de aderência a tração segundo Silva (2006), é influenciada pelas condições da base como a porosidade a absorção da água a resistência mecânica, a textura superficial e pelas condições de execução do revestimento, depende ainda da capacidade de retenção de água, da consistência e do teor de ar incorporado.

A NBR 13749 - Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas Especificação (ABNT, 2013) estabelece os limites mínimos de resistência de aderência a tração descritos na Tabela 4.

**Tabela 4 - Limite de aderência de resistência à tração (RA) emboço e camada única**

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

**Fonte :NBR 13749 (ABNT, 2013)**

Onde RA (Resistência de aderência a tração), da argamassa no substrato sobre o qual vai ser aplicada, atender este limites mínimos recomendados pela norma cerca a obra de segurança quanto a deslocamento e imprevisto de descolamento deste revestimento do substrato.

#### 2.4.9 Elasticidade ou Capacidade de Absorver Deformações

Elasticidade é a capacidade da argamassa no estado endurecido de apresentar ruptura quando em solicitações diversas, e de retornar a seu estado original quando estas solicitações cessarem (SABATINI, 1994).

Segundo o autor a capacidade de absorver deformações é uma propriedade equacionada pela resistência a tração, e o módulo de deformação do revestimento. Esta é uma propriedade que permite ao revestimento deformar-se gerando microfissuras imperceptíveis quando os esforços atuantes atingem o limite dos esforços de resistência a tração do material.

Elasticidade é, portanto, uma propriedade que determina a ocorrência de fissuras no revestimento, dessa forma, influi decisivamente sobre o grau de aderência da argamassa à base e, conseqüentemente, sobre a estanqueidade e sua durabilidade (CINCOTTO; SILVA; CARASEK, 1995).

Segundo De Souza, Rosa e Arnold (2016), as argamassas com areia de britagem apresentam densidade pouco superior as argamassas com areia natural, coerente com as massas específicas entre os agregados, ou seja a areia de britagem apresenta massa específica maior que a areia natural, o módulo de elasticidade acompanha este crescimento provavelmente em função do crescimento da densidade de massa que é o principal fator que rege o módulo de elasticidade. Sendo estes os mesmos resultados encontrados nesta pesquisa.

Silva (2006), atribui o fato do módulo de elasticidade ser maior nas areia de britagem em função do maior teor de material pulverulento, promovendo assim um grau de empacotamento maior e conseqüentemente uma maior densidade de massa e com isso maior módulo de elasticidade.

Silva e Campiteli (2008), acrescentam que a ocorrência de fissuras em um revestimento de argamassas decorre da elasticidade e da resistência à tração inadequadas diante das tensões de tração resultantes da retração de secagem, retração térmica ou ações externas ao revestimento.

Ainda segundo os autores o modulo de elasticidade está relacionado ao movimento do revestimento fornecendo informações importantes sobre a deformação dos revestimentos, sendo assim fica relacionado as patologias dos revestimentos principalmente as fissuras.

As fissuras são patologias importantes pois permitem uma maior permeabilidade de água no revestimento até o substrato favorecendo assim a deterioração do conjunto.

Gomes (2008), constatou que argamassas ricas em cimento produzem revestimentos mais rígidos favorecendo a fissuração. O aumento do teor de cimento ocasionara um revestimento sem a necessária elasticidade. Ainda segundo o autor, as fissuras abertas por este processo aumentam a permeabilidade das argamassas tornando um caminho aberto e localizado para a penetração de água e outros agentes agressivo.

#### 2.4.10 Retração

Segundo Carasek (2010), retração é o resultado de um mecanismo complexo associado com a variação de volume da pasta aglomerante e apresenta papel fundamental no desempenho das argamassas aplicadas, especialmente quanto a estanqueidade e durabilidade.

Gagné *et.al.* (1999), diz que associa-se sempre a retração a uma deformação da pasta cimentícia hidratada, isto decorre de diferentes fenômenos da natureza, cada um deles contribuindo com uma diferente parcela para a deformação externa total do compósito do cimento.

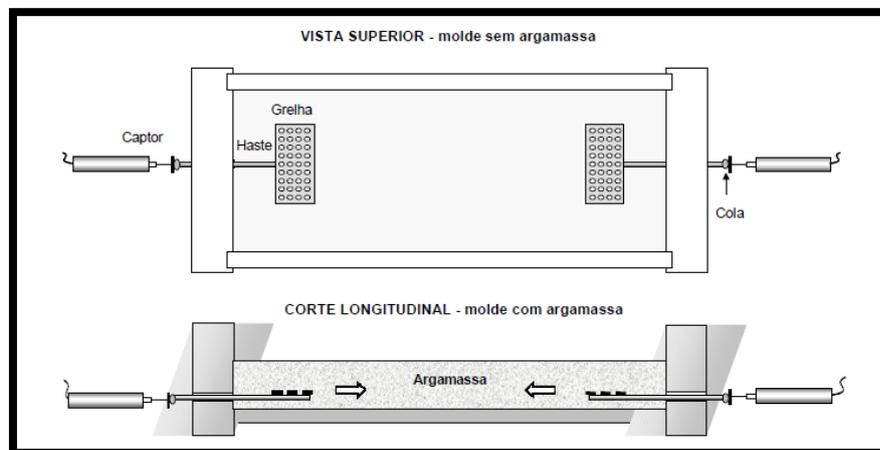
Para Passos *et. al.* (2008) os principais fatores que influenciam a retração plástica são: o consumo de cimento, a composição granulométrica dos agregados miúdos e o teor de finos (grãos menores que 0,075 mm) a quantidade de água que compõe a argamassa e também as condições climáticas desfavoráveis, em locais de clima quente e muito vento são os revestimentos de argamassas que ficam mais suscetíveis a retração.

Para Bastos *et. al.*(2002), a retração aumenta com o aumento do teor de cal na argamassa. Ainda para os autores a umidade do bloco cerâmico exerce grande influência sobre valores da retração atingidos nas primeiras duas horas após a aplicação da argamassa, sobre o bloco seco a retração foi vinte vezes maior que sobre o bloco saturado.

Metha e Monteiro (1994) afirmam que a exposição dos produtos cimentícios recém endurecidos à temperatura e umidade do ambiente faz com que eles, na maioria das vezes sofram contração térmica (deformação de contração associada ao

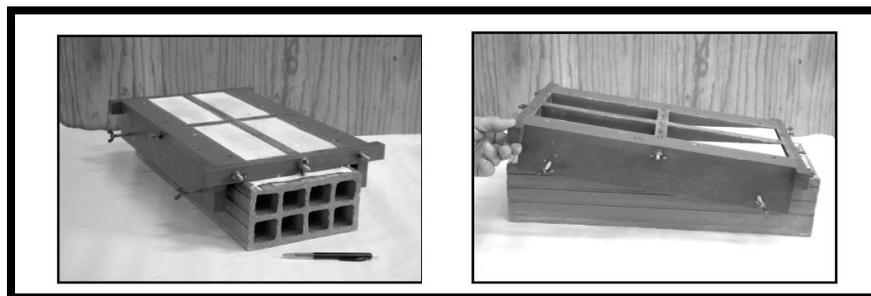
resfriamento) e retração por secagem (deformação de retração associada a perda de umidade). Conclui-se desta forma que a retração total é uma contração volumétrica. Mas mesmo assim é uma propriedade usualmente medida por ensaios em laboratório de forma linear.

Em Bastos *et. al.* (2002), a retração no estado fresco foi medida utilizando um molde de aço inoxidável que permite a moldagem de placas de argamassa de dimensões de 400 mm por 150 mm por 15 a 25 mm, com dois conjuntos de grelha/haste metálica e dois captores do tipo digital ligados, de curso máximo de 2,5mm e precisão 0,001 mm, Figura 6 e 7.



**Figura 6 - Equipamento de medida de retração de argamassa fresca, desenvolvido no INSA de Toulouse (desenho esquemático).**

Fonte: Bastos *et.al.* (2002).



**Figura 7 - Fotografia do conjunto bloco-molde-argamassa dos ensaios.**

Fonte: Bastos *et. al.* (2002)

Ainda segundo os autores a retração é registrada linearmente captando-se o deslocamento de dois conjuntos grelha/haste, posicionados na extremidade do molde e envolvidos pela argamassa na operação de moldagem. Os capacitores funcionam ligados a um computador.

A retração é muito importante no conjunto de esforços da argamassa pois o seu comportamento pode contribuir com o surgimento de patologias como fissuras e deslocamento do revestimento.

#### 2.4.11 Resistências Mecânicas

Segundo Cincotto, Silva e Carasek (1995), a resistência mecânica diz respeito a capacidade das argamassas de resistir a algumas tensões as quais ela pode ser submetida, tais como: tração, compressão, cisalhamento e também ao desgaste superficial.

Carneiro, Cincotto e John (1997), concluíram em seus estudos que com o aumento do valor da massa unitária nas areias, a resistência a tração por compressão diametral, a compressão diametral e o módulo de deformação das argamassas tendem a crescer. Os autores relatam ainda que tende a decrescer o consumo de aglomerantes, o volume de vazios e a relação água/cimento.

Segundo Silva (2006), a resistência a tração na flexão e a compressão aumentam linearmente com o aumento da densidade de massa na argamassa. O mesmo ainda atribui o aumento da densidade de massa a diminuição do volume de vazios justificando esta diminuição em função das massas específicas e unitária do agregado, segundo o autor a massa específica e a massa unitária do agregado no estado solto da areia de britagem é maior que a massa específica e unitária da areia natural, com o aumento da areia de britagem no traço da argamassa faz com que aumente a densidade de massa da mesma.

Guacelli (2015) também afirma que a areia de britagem possui massa específica maior que a areia de extração e um maior teor de material pulverulento, o que contribui para o preenchimento dos vazios, aumentando assim a densidade de massa da argamassa.

Martinelli e Helene (1991), citam a BS 5262- *British Standard* (1976) que descreve em relação as resistências mecânicas as situações ideais ou seja: a resistência mecânica do revestimento deve ser igual à do seu substrato; as resistências devem ser decrescentes das camadas interna para as externas; a deformidade do revestimento deve ser compatível a do seu substrato.

Para que o conjunto revestimento/substrato trabalhe harmonicamente de forma a evitar patologias futuras como por exemplo fissuras é necessário que haja uma compatibilidade entre os materiais do conjunto substrato/revestimento.

Para Gomes (2008), a resistência a compressão em argamassas destinadas a revestimento não é considerada primordial, podendo ser tratada de forma menos preocupante.

Bastos *et. al.* (2002), cita que no meio técnico-científico nacional não existe metodologia adequada que reproduza em laboratório as condições as quais as argamassas serão submetidas em sua realidade nas obras. Estas deficiências se apresentam tanto para medida da retração, quanto das propriedades mecânicas das argamassas.

Ainda segundo Bastos *et. al.* (2002), existem lacunas nestes ensaios, a retração não permite uma leitura adequada no estágio da argamassa fresca, e na resistência a tração o formato dos corpos de prova são inadequados (o formato e dimensões dos corpos de prova indicados pelas normas para a execução dos ensaios não representam a realidade das espessuras do revestimento nas obras), e também ambos não levam em conta a influência do substrato o que prejudica qualitativa e quantitativamente o resultado dos ensaios.

O fato do substrato não ter a devida relevância nos ensaios laboratoriais, pode agravar a situação das patologias por fissuração, pois segundo Thomaz (1989), as fissuras com origem na base do revestimento também tem origem em falhas de projeto e de execução.

## 2.5 CLASSIFICAÇÃO DOS REVESTIMENTOS

Segundo a NBR 13529 (ABNT, 2013), revestimento de argamassa, é o cobrimento de uma superfície com uma ou mais camadas superpostas de argamassa, apto a receber acabamento decorativo ou constituir-se em acabamento final, decorativo ou não.

Os revestimentos de argamassa de parede devem cumprir determinadas funções para permitir um desempenho satisfatório das edificações durante o seu tempo de vida útil. As principais funções desse tipo de revestimento são: proteger a alvenaria e a estrutura contra a ação do intemperismo (no caso dos revestimentos externos), integrar o sistema de vedação dos edifícios conferindo isolamento térmico,

isolamento acústico, estanqueidade a água, segurança ao fogo, resistência ao desgaste e a abalos superficiais, além de regularizar a superfície dos elementos de vedação, servindo como base para acabamentos decorativos e contribuindo para a estética da edificação (ALVES, CARASEK e CASCUDO, 2010).

Os sistemas de revestimento à base de argamassa têm sofrido modificações significativas nos últimos anos.

Essas modificações advêm de novos materiais básicos (novos cimentos, agregados artificiais, por exemplo), novos materiais finais, como o caso das argamassas industrializadas, e novos processos executivos, como por exemplo, as argamassas de revestimento projetadas mecanicamente.

Esses novos materiais e técnicas implicam em mudança dos parâmetros de referência consagrados às argamassas, sendo que grande parte dos problemas atualmente observados têm origem na inobservância de especificações de uso, (BAUER, 2005).

Além destas especificações é necessário ainda atender as normas quanto a espessura das camadas a serem aplicadas. A NBR 13749 (ABNT, 2013), determina a espessura de cada uma das camadas dos componentes do revestimento. Bauer (2005) reforça a necessidade de se cumprir estas recomendações que contribuirão para evitar futuras patologias nos revestimentos.

Na Tabela 5 estão descritas as espessuras determinadas pela norma.

**Tabela 5 - Espessuras admissíveis de revestimentos internos e externos.**

Revestimento	Espessura (e) (mm)
Parede interna	$5 \leq e \leq 20$
Parede externa	$20 \leq e \leq 30$
Teto interno e externo	$e \leq 20$

**Fonte: NBR 13749 (ABNT, 2013)**

A NBR 13529 (ABNT, 2013), traz uma nova classificação para os revestimentos, adequando-se as inovações científicas e tecnológicas do mercado usando terminologia mais atual e recorrente, conforme descrito no Quadro 7.

<b>Termos</b>	<b>Denominações</b>
Relativos ao revestimento	Base ou substrato
	Revestimento de argamassa
	Sistema de revestimento
Relativos ao número de camadas	Revestimento de camada única
	Revestimento de duas camadas
	Demão
Relativos ao ambiente de exposição	Revestimento em contato com o solo
	Revestimento externo
	Revestimento interno
Relativos ao comportamento à umidade, ao calor, ao som e as radiações	Revestimento comum
	Revestimento de proteção radiológica
	Revestimento hidro fugo
	Revestimento de permeabilidade reduzida
	Revestimento termo isolante
	Revestimento acústico
Relativos a função da camada do revestimento	Chapisco
	Emboço
	Reboco
	Revestimento decorativo
Relativos ao acabamento da superfície	Camurçado (feltrado)
	Chapiscado
	Desempenado
	Sarrafeado
	Imitação de travertino
	Raspado
	Lavado
	Tela
Relativos aos materiais e equipamentos auxiliares de aplicação	Grampo
	Colher de pedreiro
	Desempenadeira, talocha ou desempoladeira
	Desempenadeira dentada
	Esponja (feltro)
	Régua
	Serrote ou serra-fita
	Ar amassadeira
	Máquina de projeção
	Canequinha

**Quadro 7 - Classificação dos revestimentos conforme a NBR 13529 (ABNT, 2013)**  
**Fonte: Autoria própria (2016)**

Cada um dos itens acima tem sua relevância na execução de um revestimento. Porém para que possamos desenvolver o assunto objetivo deste trabalho vamos nos ater em alguns dos itens descritos acima: que são: chapisco, emboço, reboco, demão ou camada única.

### 2.5.1 Chapisco

Segundo a NBR 13529 (ABNT, 2013), chapisco é camada de preparo da base, aplicado de forma continua ou descontinua, com a finalidade de uniformizar a superfície quanto a absorção e melhorar a aderência do revestimento.

Silva (2006), diz que o chapisco não é considerado uma camada de revestimento, podendo ser necessário ou não dependendo da natureza da base, dependendo da preparação da mesma. Sua função é fazer a ligação substrato reboco principalmente em situações críticas como:

- Limitações na capacidade de aderência da base: quando a base é muito lisa; ou com porosidade inadequada ou ainda quando a sucção do substrato é incompatível com a aderência do revestimento;
- revestimentos sujeitos a ações de maior intensidade: revestimentos externos e revestimentos de teto;

### 2.5.2 Emboço

A NBR 13529 (ABNT, 2013), define como sendo: camada de revestimento executada para cobrir e regularizar a superfície da base ou chapisco, propiciando uma superfície que permita receber outra camada, de reboco ou de revestimento decorativo, ou que se constitua no acabamento final.

O emboço muitas vezes confundido com reboco tem como finalidade cobrir e regularizar a camada do chapisco, propiciando uma superfície lisa para receber o reboco, ou o revestimento cerâmico ou qualquer outro procedimento a ser realizado. Portanto o emboço é uma camada aplicada geralmente mais espessa, que possui aderência suficiente ao substrato, e apresenta textura adequada para as camadas subsequentes (CANDIA, 1998).

### 2.5.3 Reboco

Segundo a NBR 13529 (ABNT, 2013). Reboco é a camada de revestimento utilizada para cobrimento do emboço, propiciando uma superfície que permita receber o revestimento decorativo ou que se constitua no acabamento final.

Segundo Bauer (2005), sua espessura é apenas o necessário para constituir uma superfície lisa, contínua e íntegra. A textura superficial final do revestimento de camadas múltiplas e função do reboco, e algumas vezes sobre ele é aplicada a pintura direta, portanto é importante que o mesmo tenha capacidade de absorver deformações evitando assim fissuras.

#### 2.5.4 Camada única

Revestimento de um único tipo de argamassa aplicada na base sobre a qual será aplicada uma camada decorativa, como por exemplo, a pintura; também chamado popularmente de “massa única”, ou reboco paulista. Atualmente é o sistema mais usado no Brasil (CARASEK, 2010).

Para Bauer (2005), a camada única tem uma função ampla, pois deve atender as exigências da camada de emboço e também de acabamento (reboco), exigindo desta camada operações específicas de aplicação.

### 2.6 FUNÇÃO DO REVESTIMENTO

Conforme Sabatini (1994) os revestimentos devem apresentar as seguintes funções.

- Evitar a degradação precoce das vedações e da estrutura, das edificações protegendo-as da ação dos agentes agressivos;
- Aumentar a durabilidade e reduzir o custo de manutenção dos edifícios;
- Auxiliar as vedações a cumprir com suas funções tais como: isolamento; termo acústico, estanqueidade a água e aos gases e segurança ao fogo.
- Funções estéticas de acabamento, e aquelas relacionadas com a valorização da construção ou determinação do padrão do edifício.

Carasek (2010), complementa dizendo que ao integrar o sistema de vedação dos edifícios o revestimento tem que cumprir com 30% (trinta por cento) do isolamento térmico, 50% (cinquenta por cento) do isolamento acústico, 70% a 100% (setenta a cem por cento) da estanqueidade da água, segurança ao fogo, e resistência ao desgaste e abalos superficiais.

### 2.7 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NOS REVESTIMENTOS

Para Carasek (2010), as patologias nas argamassa ainda podem ter como origem os seguintes fatores:

- A qualidade dos materiais constituinte da argamassa;
- A composição (ou traço) da argamassa;
- Os processos de execução;
- Os fatores externos (exposição as intempéries, poluição atmosférica, umidade de infiltração, etc).

Segundo a NBR 13749 (ABNT, 2013). Os revestimento podem apresentar os fenômenos patológicos descritos no Quadro 8.

Patologias	Causas	
Fissuras mapeadas	Podem formar-se por retração da argamassa, por excesso de finos no traço, quer sejam de aglomerantes, quer sejam de finos no agregado, ou por excesso de desempenamento. Em geral, apresentam-se m forma de mapa.	
Fissuras geométricas	Quando acompanham o contorno do componente da base, podem ser devidas à retração da argamassa de assentamento. Fissuras na vertical podem ser devidas à retração higtotérmica do componente, interfaces de base constituída de materiais diferentes, locais onde deveriam ter sido previstas juntas de dilatação.	
Vesículas	Causas das vesículas	Hidratação retardada do óxido de cálcio não hidratado presente na cal hidratada (o interior da vesícula é branco)
		Presença de concreções ferruginosas na areia (o interior da vesícula é vermelho)
		Matéria orgânica ou pirita na areia (o interior da vesícula é preto).
Pulverulência	Causas da pulverulência	Excesso de finos no agregado
		Traço pobre em aglomerante
		Carbonatação insuficiente da cal, em argamassas de cal, dificultada por clima seco e temperatura elevada ou por ação do vento.
Empolas pequenas	Oxidação da pirita presente como impureza no agregado, resultando na formação de gipsita, acompanhada de expansão (o agregado apresenta pontos pretos).	
Expansão e deslocamento do revestimento	Preenchimento de fissuras com gesso, por ter endurecimento rápido; a gipsita formada na hidratação do gesso reage com o cimento da argamassa, formando a etringita, acompanhada de expansão.	

**Quadro 8-- Fenômenos patológicos em revestimentos conforme NBR 13749 (ABNT, 2013)**  
**Fonte: Adaptado da NBR 13749 (ABNT, 2013).**

Os revestimentos de argamassas estão sujeitos aos diversos tipos de manifestações patológicas que prejudicam a sua estanqueidade e durabilidade. Tais problemas promovem a deterioração dos revestimentos devido a processos físico-mecânico, químicos e biológicos. (PASSOS *et. al.*, 2008).

Carasek (2010), coloca que esta distinção fica relatada a nível didático pois na prática é extremamente difícil separar o causador das patologias pois eles se sobrepõe sendo necessário considerar as suas interações.

Ainda segundo a autora geralmente estes processos se manifestam de efeitos físicos nocivos, com o aparecimento de rebocos fissuração, deslocamentos, vesículas, aumento de porosidade e permeabilidade.

Segundo Müller e Bücher (1993) *apud* Nakakura e Cincotto (2004), a permeabilidade é um fenômeno de passagem de água no estado líquida ou de vapor, através da argamassa endurecida, este fenômeno é influenciado pelos poros capilares de dimensões maiores que 50mm e também pelas bolhas de ar incorporado que podem chegar até 3mm. Ainda segundo as autoras Nakakura e Cincotto (2004) a capilaridade são espaços não preenchidos pelos compostos hidratados do aglomerante, com o avanço da idade da aplicação da argamassa e o endurecimento da mesma a permeabilidade tende a diminuir pois seu prosseguimento depende da hidratação ao longo do tempo.

Silva (2005) não constatou influência da areia de britagem de rocha calcária na absorção por capilaridade, pois segundo o autor provavelmente devido a retração existem fissuras no interior dos corpos de prova prismáticos que podem prejudicar os resultados dos ensaios.

Segundo Angelim *et. al.* (2003) o aumento do teor de finos aumenta a retração por secagem das argamassas, com exceção dos finos de calcário. As argamassas nas quais foram acrescentados estes finos apresentaram valores de retração por secagem muito próximos aos de argamassas sem adição de finos.

Medeiros e Sabatini (1994), dizem que os sinais de patologia em argamassas simples ou mistas são facilmente encontrados no Brasil na forma de fissuras, deslocamentos, unidade, que geralmente comprometem o desempenho das edificações.

Na Figura 8 pode-se observar revestimento com fissuras em mapa, típico de argamassa com alta retração, fissuras estas que posteriormente tornam-se pontos de movimentação devido as ações térmicas e higroscópicas sobre o revestimento



**Figura 8 - Fissuras causadas por retração.**

**Fonte: Carasek (2010).**

Passos *et. al.* (2008), concluiu que o aumento de finos no material utilizado nas argamassas aumenta a quantidade de fissuração nos revestimentos, e também que o índice de fissuração dos revestimento e bem maior nos três primeiro dias após a aplicação no substrato. Segundo os autores isto se deve ao aumento da retração plástica potencializada pela granulometria uniforme dos agregados, e cimento com alta finura.

A cal hidratada também pode ser uma das causadoras de patologias nas argamassas, a baixa qualidade do produto disponível hoje no mercado com índices de impurezas muitas vezes acima dos permitidos pela norma, acabam por consumido prejudicar o produto final a ser.

Carasek e Cascudo (1999) relatam, sobre a hidratação retardada da cal e a carbonatação que podem causar patologias do tipo desagregação do emboço, ou até mesmo desolamento de peças cerâmicas.

O excesso de material orgânico nos agregados pode também alterar suas características físicas e causar patologias nos revestimentos quando constituintes da argamassa.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta etapa da pesquisa estão descritos todos os materiais utilizado para o desenvolvimento da mesma, bem como os métodos usados para que os objetivos fossem atingidos.

A metodologia desta pesquisa divide-se em cinco etapas:

Etapa 1 - Caracterização dos materiais utilizados, levantamento de seus índices físicos;

Etapa 2 – Análise das argamassas no estado fresco;

Etapa 3 – Análise das argamassas no estado endurecido;

Etapa 4 - Análise dos blocos cerâmicos utilizados. Quanto a absorção de água e resistências mecânicas.

Etapa 5 – Confecção dos painéis cerâmicos revestidos pela argamassa com seus diferentes traços, foi monitorado o comportamento dos painéis quanto a fissuras, permeabilidade e aderência.

Toda esta análise descrita acima foi realizada seguindo a orientação das normas da ABNT e outros organismos internacionais, conforme indicado em cada caso específico.

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS.

A caracterização dos materiais utilizados na pesquisa foi realizada seguindo orientações das normas indicadas pela ABNT, para cada índice físico a ser conhecido foi utilizada a norma indicada para aquele caso.

##### 3.1.1 Cimento

O cimento usado foi o CP II F 32. Optou-se por este cimento pois é o de uso mais comum em obras que não exigem cimentos especiais. O cimento utilizado nesta pesquisa foi doado pela indústria de Cimentos Itambé, sua especificação é fornecida pelo fabricante e está descrita na Tabela 6.

**Tabela 6 - Especificações do cimento Portland CP II F- 32**

Itens a serem especificados	Exigências normativas	Especificações do fabricante
Tempo de início de pega (horas) NBR NM 65 (ABNT, 2003)	$\geq 1$	Início = 4:00hs Final = 5:00hs
MgO (%) NBR 14656 (ABNT, 2001)	$\leq 6,5$	4,06 - Teor encontrado por ser expansivo
Perda ao fogo (%) NBR NM 18 (ABNT, 2012)	$\leq 6,5$	5,04
Resíduos insolúveis (%) NBR NM 15 (ABNT, 2012)	$\leq 2,5$	1,28
SO <sub>3</sub> (%) NBR 14656 (ABNT, 2001)	$\leq 4,0$	2,72
Resistência a compressão (Mpa) NBR 7215 (ABNT, 1997)		
3 dias	$\geq 10$	29,4
7 dias	$\geq 20$	35,6
28 dias	$\geq 32$	44,3
Adições permitidas em (%)		
Escória	0	0
Filer calcário	6 a 10	6 a 10
Material pozolânico	0	0

**Fonte: ABNT e ITAMBÉ**

### 3.1.2 Agregados Miúdos

A areia natural utilizada nesta pesquisa é de dragagem de rios, proveniente de dragas da região metropolitana de Curitiba e adquirida no comércio local. Optou-se por esta areia pois ela é a mais utilizada nas obras da região.

A areia de britagem de rocha calcária é proveniente das jazidas de britagem da indústria de cimento Votorantim, localizada na cidade de Rio Branco, próxima a Curitiba. Foi coletada direto do britador, sem seleção prévia de granulometria, pois é desta forma que a mesma é ofertada para venda e consumo na região.

A venda desta areia está limitada a forma a granel, principalmente para concreteiras da região, que utilizam a mesma em concreto usinado.

As propriedades das areias natural e artificial, foram caracterizadas conforme exigências da ABNT, cada ensaio realizado foi feito com três repetições conforme recomendam as normas, sendo usado a média dos três resultados ou desconsiderado o pior, analisado caso a caso em função das respectivas normas.

Estas propriedades foram determinadas pelos respectivos ensaios conforme descritos no Quadro 9.

<b>Ensaio</b>	<b>Normas utilizadas</b>
Composição granulométrica	NBR NM 248 (ABNT, 2011); NBR 7211 (ABNT, 2005); NM ISO 3310-1 (ISO, 2016); NBR NM 26 (ABNT, 2009); NBR NM 27 (ABNT, 2001);
Massa unitária e volume de vazios	NBR NM 45 (ABNT, 2009); NBR NM 30 (ABNT, 2001); NM ISO 3310; -1 (ISSO, 2016) NBR NM 26 (ABNT, 2009); NBR NM 27 (ABNT, 2001);
Massa específica	NBR NM 52 (ABNT, 2009); NBR NM 26 (ABNT, 2009); NBR NM 27 (ABNT, 2001);
Teor de material pulverulento	NBR NM 46 (ABNT, 2003); NM ISO 3310-1 (ISSO, 2016) NBR NM 26 (ABNT, 2009); NBR NM 27 (ABNT, 2001);
Inchamento	NBR 6467 (ABNT, 2006); NBR NM 45 (ABNT, 2006); NBR NM 26 (ABNT, 2009); NBR NM 27 (ABNT, 2001);
Absorção de água	NBR NM 30 (ABNT, 2001); NBR NM 26 (ABNT, 2009); NBR NM 27 (ABNT, 2001);
Impurezas orgânicas	NBR NM 49 (ABNT, 2001); NBR NM 26 (ABNT, 2009); NBR NM 27 (ABNT, 2001); ASTM C40/C40M: (2011)

**Quadro 9 - Ensaios de caracterização das areias, e normas regulamentadoras. Fonte: Autoria própria (2016)**

### 3.1.2.1 Composição granulométrica

Este ensaio determina a composição do agregado em função do tamanho dos grãos que o constitui. Foi realizado com a série de peneiras conforme determina a NBR NM – ISO 3310-1 - Peneiras de ensaio – Requisitos técnicos e verificações. (2016), e também segundo as determinações da NBR NM 248 (ABNT, 2011).

Foram realizadas seis curvas granulométricas: com 100% de areia de britagem de rocha calcária; com 100% de areia natural, (correspondente ao primeiro traço); com 80% de areia natural e 20% de areia de britagem de rocha calcária, a primeira composição (corresponde ao segundo traço); com 60% de areia natural e 40% de areia de britagem de rocha calcária, a segunda composição (correspondente ao terceiro traço); com 40% de areia natural e 60% de areia de britagem de rocha calcária, a terceira composição (correspondente ao quarto traço); e por último, com 20% de areia natural e 80% de areia de britagem de rocha calcária, a quarta composição (correspondente ao quinto traço).

Para cada uma destas curvas foram utilizadas três amostras de cada composição conforme orienta a norma, e os retidos acumulados usados foram a média das três amostras

O módulo de finura das areias e o diâmetro máximo característico das mesmas, também foram determinados com os resultados obtidos no ensaio de composição granulométrica.

O objetivo da realização dos ensaios de curva granulométrica em todas as composições foi mostrar as compensações de granulometria que ocorrem na mistura das areias.

#### 3.1.2.2 Massa unitária e volume de vazios

Este ensaio foi realizado tendo como parâmetro as instruções da NBR NM 45 - Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios (ABNT, 2009), que determina a massa das partículas da areia que ocupam um determinado volume, e o índice de vazios entre os grãos. O ensaio foi realizado com três amostras para cada uma das areias e o resultado é a média dos resultados obtidos para cada uma das areias.

#### 3.1.2.3 Massa específica

Este ensaio foi realizado com base na norma NBR NM 52 - Agregado miúdo - Determinação de massa específica e massa específica aparente (ABNT, 2009), e tem por objetivo estabelecer a relação da massa do agregado seco e seu volume, excluindo os poros permeáveis.

Este ensaio permite obter também o valor da massa específica aparente do agregado que é a relação entre a massa seca do agregado e seu volume excluindo os poros, e fornece também o valor da massa específica relativa que é a relação entre a massa da unidade de volume de um material, incluindo os poros permeáveis e impermeáveis, a uma temperatura determinada, e a massa de um volume igual de água destilada, livre de ar, a uma temperatura estabelecida.

Foram feitas três repetições com amostras diferentes, conforme prescreve a norma.

O valor da massa específica dos agregados também pode ser obtida por meio do frasco Chapman, como específica a NBR 9776 – Agregados – Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman (ABNT, 1987), porém nesta pesquisa optou-se pela NBR NM 52 (ABNT, 2009) conforme descrito acima.

### 3.1.2.4 Teor de material pulverulento

Este ensaios foi realizado conforme estabelece a NBR NM 46 -. Agregado – Determinação do material fino que passa através da peneira 75  $\mu\text{m}$  por lavagem. (ABNT, 2003), e tem por objetivo determinar a quantidade de material fino que a abertura da malha da peneira de 75  $\mu\text{m}$  da série normal especificada pela NM ISO 3310-1 (2016).

Foram ensaiadas três amostras de cada areia, e feita a média para cada uma das areias, obtendo assim a percentagem de material pulverulento das duas areis, (areia natural e areia de britagem de rocha calcária), foi realizado o ensaio também para cada uma das composições dos traços.

### 3.1.2.5 Inchamento

Este ensaio foi realizado conforme prescrição da norma NBR 6467 - Agregado – Determinação do inchamento do agregado miúdo (ABNT, 2009), e tem por objetivo determinar a variação de volume aparente provocado pela absorção de água livre pelos grãos de agregados e que altera sua massa unitária.

Foram ensaiadas três amostras de areia natural, e três amostras de areia de britagem de rocha calcária. Conforme prescreve a norma foram feitas leituras da massa unitária e umidade aparente com 9 (nove) teores de umidade; 0,5%, 1%, 2%, 3%, 4%, 5%, 7%, 9%, 12%. Com estes resultados foi possível traçar a curva de inchamento de cada areia e ler a umidade crítica das duas areias.

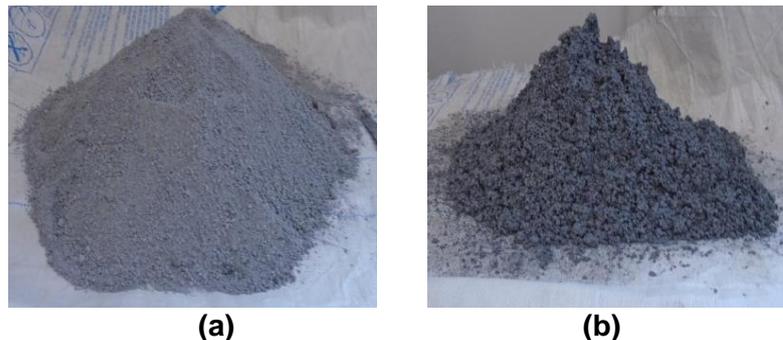
Na Figura 9(a) a areia natural seca no início do ensaio, e em 9(b), com 7% de umidade, permitindo assim a comparação de textura da areia com diferentes umidades.



**Figura 9 - Areia natural, (a) seca e (b) saturada.**  
Fonte: Autoria própria (2016)

Na Figura 10 a areia de britagem de rocha calcária foi registrada em 10(a) está no início do ensaio areia seca e na Figura 10(b) com 7% de umidade.

Observa-se a diferença de textura entre as duas areias analisadas, com a mesma quantidade de água a areia de britagem de rocha calcária está na fase de saturação.



**(a)** **(b)**  
**Figura 10 - Areia britada de rocha calcária, (a) seca e (b) saturada.**  
**Fonte: Autoria própria (2016).**

A perda de coesão entre os grãos causado pela saturação de água nas areias, ocorre na areia de britagem de rocha calcária com menor teor de água do que na areia natural. Este ensaio foi repetido com três amostras de cada areia, e o resultado é a média dos três resultados obtidos para cada material.

#### 3.1.2.6 Absorção de água

Ensaio realizado conforme NBR NM 30 - Agregado miúdo - Determinação da absorção de água (ABNT, 2001), e tem por objetivo determinar o inchamento de massa de um corpo sólido poroso em relação a sua massa em estado seco, devido a penetração de água em seus poros permeáveis.

Na Figura 11 observa-se uma fase intermediária do ensaio de absorção de água realizado na areia de britagem de rocha calcária, onde os cones foram moldados e ficaram coesos sem haver o desmoronamento da areia, indicando que a superfície do material ainda não está totalmente seco, assim deverá ser feitas mais tentativas até o termino do ensaio.



**Figura 11 - Ensaio de absorção de água da areia de britagem de rocha calcária.**  
**Fonte: Autoria própria (2016)**

Foi realizado três amostras para a areia de britagem de rocha calcária e três para a areia natural, conforme determina a norma.

Os resultados do ensaio de absorção são importantes pois indicam como o agregado irá se comportar em relação ao consumo de água nas argamassas, este consumo traz consequências diretas na consistência e resistência das argamassas.

#### 3.1.2.7 Impurezas orgânicas

O objetivo deste ensaio é determinar a percentagem de material orgânico existente no agregado miúdo que não altere a qualidade e desempenho das argamassas quando da sua aplicação, para isso foi utilizada a NBR NM 49 - Agregado miúdo – Determinação de impurezas orgânicas (ABNT, 2001) que orienta para uma determinação colorimétrica destas impurezas.

Este ensaio foi realizado em três amostras de areia natural, não foi realizado na areia de britagem de rocha calcária pois devido a origem rochosa não existe possibilidade da mesma possuir matéria orgânica.

#### 3.1.2.8 Forma e textura dos grãos

Análise realizada no Latec (Laboratório de Tecnologia) da UTFPR (Universidade Tecnológica Federal do Paraná) Curitiba-PR, sede centro, mediante a utilização do MEV (Microscópio Eletrônico de Varredura), as amostras foram moídas, secas em estufas e posteriormente preparadas no Latec com cobertura de pó de ouro, após este processo foram submetidas a análise no MEV.

### 3.1.3 Água

A norma recomenda que nos ensaios de argamassa seja usada água destilada com pH controlado para que este não influencie nas reações do cimento, porém e de conhecimento que nas obras esta não é uma realidade. Como a proposta desta pesquisa é reproduzir ao máximo a realidade das obras optou-se por utilizar água comum com tratamento padrão da rede municipal de água.

### 3.1.4 Aditivo

O objetivo do uso do aditivo nesta pesquisa é substituir a cal na argamassa, sem perder propriedades a ela conferidas como a trabalhabilidade por exemplo. Foi usado o aditivo Vedalit, cujas especificações são fornecidas pelo fabricante e estão descritivas no Tabela 7. No Anexo A estão as características mecânicas fornecidas pelo fabricante.

**Tabela 7 - Características do aditivo Vedalit.**

Itens	Limites
Densidade	1,03 g/cm <sup>3</sup>
Aparência	Líquido escuro isento de cloretos
Composição básica	Ressinato de sódio
	Copolímero acrílico em dispersão aquosa
PH	11 a 11,6
Resina vegetal	3% a 3,8%
Hidróxido de sódio	0,35% a 0,4 %
Breu	1% a 1,3 %
Materiais incompatíveis	Solventes
	Ácidos
Produtos perigosos da decomposição	Oxido de carbono
	Monóxido de carbono

**Fonte: Adaptada da Vedacit, (2016)**

### 3.1.5 Análise Química e Mineralógica das Areias.

Esta análise foi realizada pelo método de espectrometria de fluorescência de raios X no Lamir (Laboratório de Mineralogia) da UFPR (Universidade Federal do Paraná) em Curitiba-PR, e pela difratometria de raios X (DRX) realizado no Latec da UTFPR estas duas análises forneceram subsídios para que se conheça melhor o comportamento das areias e suas reações químicas ao serem submetidas ao contato com os demais materiais usados na composição das argamassas.

### 3.1.5.1 Espectroscopia de fluorescência de raios X

Análise realizada no Lamir na UFPR, seguindo o seguinte procedimento:

- 1 – Confeção das pastilhas, pesando 7g do material a ser analisado com mais 1,4g de cera;
- 2 – Homogeneizar bem o material até não ser percebida a presença da cera;
- 3 – Transferir o material para a capsula da prensa PFAFF;
- 4 – Prensar conforme programa recomendado para o material a ser ensaiado;

Na Figura 12(a) estão registradas as pastilhas prontas para a análise, e na Figura 12(b) o equipamento que fez a prensagem das pastilhas.



Figura 12 - Análise do EFRX, a) pastilhas prontas, (b) aparelho de prensagem das pastilhas.

Fonte: Autoria própria (2016).

Após esta etapa concluída as pastilhas foram analisadas em um Espectrômetro de fluorescência de raios X, *Panalytical*, modelo *Axios Max*. Tubo de raios X: Rh (ródio), obteve-se assim os elementos químicos que compõe as areias.

### 3.1.5.2 Difratometria de raios X (DRX)

Esta análise foi realizada nas dependências do Latec na UTFPR, o aparelho utilizado foi um difratômetro de raios X, especificação – Difratômetro de raios X *Shidzamu XRD 7000*.

## 3.2 ESTUDO DAS ARGAMASSAS

As argamassas foram ensaiadas no estado fresco e endurecido, para obter características físicas e resistência a esforços mecânicos. Considerando as diferentes

composições escolhidas e testadas, com diferentes percentagem de areia de britagem de rocha calcária em sua composição.

Foram mantidas as relações: agregado/aglomerante, bem como água/cimento, mantendo estas relações de quantidade fixas foi possível ter uma comparação real das mudanças ocorridas com a adição ou diminuição da quantidade de areia de britagem de rocha calcária na composição.

### 3.2.1 Definição do Traço

Foi adotado para o desenvolvimento desta pesquisa o traço em volume de 1:2:6. Como um dos objetivos do trabalho é confeccionar argamassa sem cal, para que fosse mantida a proporção aglomerante/agregados foi adotado o traço 1:3 em volume sendo 1 de cimento para 3 de areia.

O estudo foi desenvolvido tendo como base cinco composições com diferentes percentagens de areia natural e areia de britagem de rocha calcária. Foi usado um traço de referência com 100% de areia natural, o qual foi denominado de T-I, o traço T-II terá em sua composição 80% de areia natural e 20% de areia de britagem de rocha calcária, o traço T-III com 60% de areia natural e 40% de areia de britagem de rocha calcária, o traço T-IV com 40% de areia natural e 60% de areia de britagem de rocha calcária, e finalmente o traço T-V com 20% de areia natural e 80% de areia de britagem de rocha calcária.

A relação água/cimento foi determinada por tentativas na *Flow Table*, para definir uma quantidade de água que atendesse um índice de consistência com aparente trabalhabilidade para todas as composições.

Apesar do índice de consistência das diferentes composições apresentar valores diferenciados, para que a análise do comportamento da argamassa fosse verdadeira, mediante as diferentes quantidades de areia de britagem de rocha calcária, foi mantido a relação água/cimento em 0,8.

O aditivo foi usado conforme indicação do fabricante, que determina o uso de 100ml de aditivo para 50kg de cimento.

Na Tabela 8 estão relacionados os traços usados para a realização dos ensaios das argamassas no estado fresco, e no estado endurecido e nomenclatura adotada devidamente legendada na Tabela 8, para identificação dos traços e areias no decorrer da pesquisa.

**Tabela 8 - Composição dos traços para as argamassa, nomenclatura de traços e areias**

Traço	Composição do agregado miúdo (%)		Composição do traço - (1:3)				
	AN	ABRC	Cimento	Agregado miúdo	Água	Água/materia l seco	Aditivo (ml)
T-I	100	0	1	3	0,8	0027	1
T-II	80	20	1	3	0,8	0,27	1
T-III	60	40	1	3	0,8	0,27	1
T-IV	40	60	1	3	0,8	0,27	1
T-V	20	80	1	3	0,8	0,27	1

**Legenda- Traços e areias**

<b>T-I</b>	Traço 1 – 100% de areia natural
<b>T-II</b>	Traço 2 – 80% areia natural e 20% areia de britagem de rocha calcária
<b>T-III</b>	Traço 3 – 60% areia natural e 40% areia de britagem de rocha calcária
<b>T-IV</b>	Traço 4 – 40% areia natural e 60% areia de britagem de rocha calcária
<b>T-V</b>	Traço 5 – 20% areia natural e 80% areia de britagem de rocha calcária
<b>AN.</b>	Areia Natural
<b>ABRC</b>	Areia de Britagem de Rocha Calcária

Fonte: Autoria própria (2016).

A nomenclatura da Tabela 8, será usada na identificação dos traços, e areias em tabelas, figuras, quadros e textos.

### 3.2.2 Planejamento dos Ensaios

Os ensaios foram realizados obedecendo as normas e sequência das fases descritas no Quadro 10.

Ensaios das argamassas no estado fresco	Índice de consistência; NBR 13276 (ABNT, 2005)
	Teor de ar incorporado, NBR 13278 (ABNT, 2005)
	Densidade de massa; NBR 13278 (ABNT, 2005)
	Retenção de água; ASTM C 1506: (2016)
	Caracterização Reologia pelo método de <i>Squeeze-Flow</i> ; NBR 15839 (ABNT, 2010)
	Exsudação; MR-6 (RILEM, 1982)
Ensaios das argamassas no estado endurecido	Resistência a tração na flexão; NBR 13279 (ABNT, 2005),
	Resistência a compressão; NBR 13279 (ABNT, 2005)
	Absorção de água por capilaridade; NBR 9779 (ABNT, 2013)
	Absorção de água, índice de vazios e massa específica; NBR 9778 (ABNT, 2005)
	Densidade de massa no estado endurecido NBR 13280 ABNT, 2005)
	Módulo de elasticidade dinâmico; SONEPLASTIC
Ensaios realizados nos blocos cerâmicos	Dimensões NBR 15270-3, (ABNT 2005)
	Índice de absorção inicial NBR 15270-3, (ABNT 2005)
	Absorção de água NBR 15270-3, (ABNT 2005)
	Resistência a compressão (NBR 015270-3, ABNT 2005)
Ensaios realizados nos painéis	Resistência de aderência a tração; NBR 13528 (ABNT, 2010)
	Absorção da água pelo método do cachimbo; CSTC (1982)
	Contagem e medição de fissuras

**Quadro 10 - Ensaios realizados nas argamassas, cerâmica e painéis.**

Fonte: Autoria própria (2016).

As normas e determinações utilizadas para execução destes ensaios foram: normas técnicas da ABNT, bem como, algumas orientações de normas internacionais ASTM - *American Society for Testing & Materials* e RILEM - *Reunion Internationale Des Laboratoires D'essais Et De Recherches Sur Les Materiaux Et Lês Constructions*.

### 3.3 EXECUÇÃO DOS ENSAIOS

Neste item foram descritos todos os ensaios referentes as argamassa no estado fresco e no estado endurecido, e também os ensaios necessários para conhecer o comportamento das argamassas aplicadas nos painéis de cerâmica.

#### 3.3.1 Argamassas no Estado Fresco

Os ensaios das argamassas no estado fresco foram realizados para todas as composições propostas e seguiram as normas da ABNT, sendo que em alguns ensaios foram consideradas orientações de normas internacionais.

##### 3.3.1.1 Índice de consistência

Ensaio realizado conforme orienta a NBR 13276 (ABNT, 2005), e como já discutido anteriormente o teor água/cimento foi determinado através de várias tentativas, até chegar a uma consistência ideal para todas as composições. Nas Figuras 13 observa-se o ensaio de T-I.



**Figura 13 - Ensaio de T-I (a) cone moldado, (b) cone já feito o abatimento**

**Fonte: Aatoria própria (2016).**

Na Figura 14 observa-se o ensaio de traço T-V, mesmo antes de começar os golpes para o abatimento este traço que possui 80% de areia de britagem. O maior teor usado nas composições, já apresentava um abatimento natural.



**(a)**  
**(b)**  
Figura 14 - Ensaio de ABRC, (a) cone moldado, (b) cone já feito o abatimento.  
Fonte: A autoria própria (2016)

O teste foi repetido 3 vezes para cada traço até ser registrado um teor de água que resultasse em um índice de consistência entre 260 mm a 290 mm.

#### 3.3.1.2 Teor de ar incorporado

Procedimento normatizado pela NBR 13278 - Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado (ABNT, 2005), consiste em calibrar um recipiente cilíndrico de PVC, não flexível, com capacidade aproximada de 400 cm<sup>3</sup>. Este procedimento foi necessário para obter o volume exato do recipiente.

Feito isto foi preparado a pasta conforme indicado na NBR 13176 (ABNT, 2005), em seguida foi enchido o recipiente com esta pasta obtendo assim a massa do conjunto.

Com estes dados apurados foram feitos os cálculos da densidade de massa e em seguida o teor de ar incorporado da mesma.

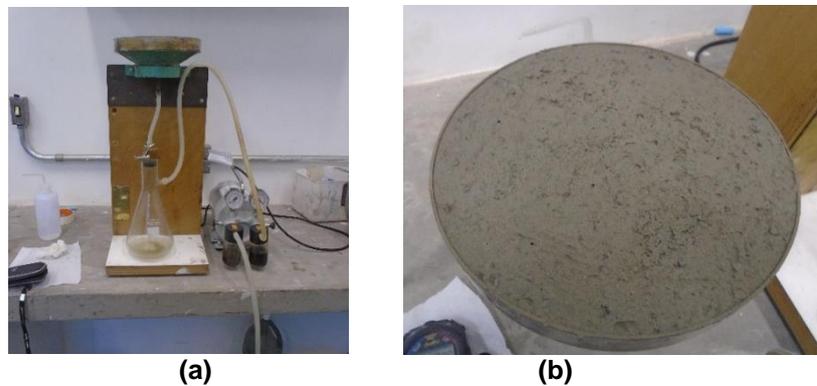
#### 3.3.1.3 Densidade de massa.

O ensaio da determinação da densidade de massa é o mesmo normatizado pela NBR 13278 (ABNT, 2005), descrito no item 3.1.3.2, pois é necessário conhecer

o valor da densidade de massa para assim fazer os cálculos do ar incorporado das argamassas.

#### 3.3.1.4 Retenção de água

Este ensaio foi realizado conforme a NBR 13277 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos -Determinação da retenção de água (ABNT,- 2005), seguindo as orientações da, ASTM C 91-90 (2016), que descreve o funil de *Buchmer* modificado, apresentado na Figura 15.



**Figura 15 - (a) funil de *Buchmer*, (b) funil com argamassa após a sucção.**

**Fonte: Autoria própria (2016).**

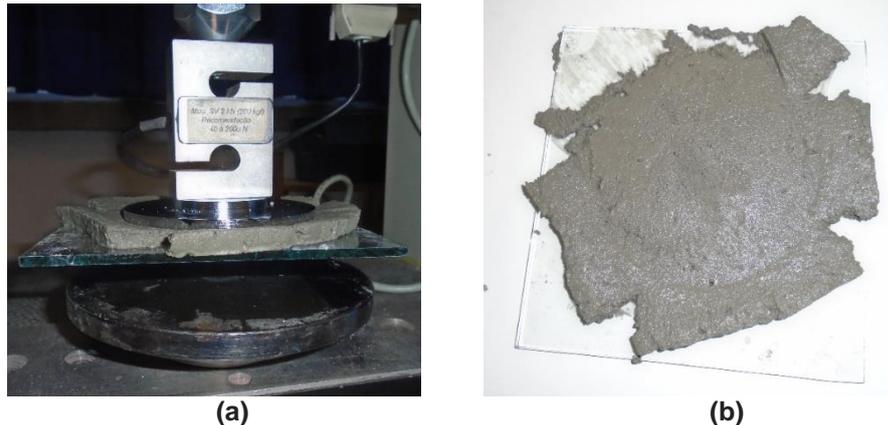
Na Figura 15 observa-se o ensaio em andamento, e também o funil cheio de argamassa já aspirada após o procedimento que foi executado seguindo os passos da NBR 13277 (ABNT, 2005). Na Figura (b) pode se observar os vãos na argamassa causados pela retirada da água através da sucção, efetuada pelo conjunto funil e bomba. As medidas de sucção foram realizadas aos 5 mm, 10mm e 15 mm.

#### 3.3.1.5 Caracterização reológica pelo método de *Squeeze-Flow*

Este ensaio é regulamentado pela NBR 15839 (ABNT, 2010) A norma define que este ensaio analisa o comportamento reológico de argamassas de assentamento e revestimento no estado fresco em solicitações de *Squeeze-Flow*.

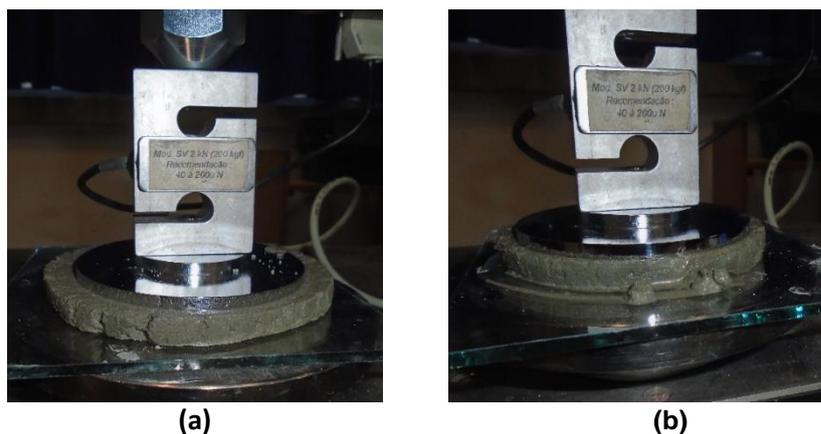
O ensaio consiste em moldar corpos de prova e submete-los a esforços ainda em seu estado fresco, em tempos e velocidades diferentes, medindo a deformação de cada corpo de prova.

Para executar o ensaio, foram moldados dois corpos de prova de cada traço, sobre placas de vidro e em argolas de PVC, para serem ensaiados em dois tempos diferentes conforme determina a norma. O equipamento usado foi uma prensa EMIC, modelo SV 2KN (200kgf) recomendação de 40 a 2000N. Na Figura 16 pode se observar a execução do ensaio com o primeiro traço T-I de areia natural.



**Figura 16 - (a) amostra do traço T-I, (b) espalhamento da amostra do traço T-I na placa de vidro.**  
**Fonte: Autoria própria (2016).**

O espalhamento da argamassa de T-I na placa de vidro foi irregular demonstrando a baixa plasticidade deste traço, o conjunto argamassa/placa de vidro aderiu a placa superior da prensa ao ser removido, como pode-se ver na Figura 16(a).



**Figura 17 - (a) e (b), ensaios realizados com o traço T-V, na placa de vidro**  
**Fonte: Autoria própria (2016).**

Observa-se na Figura17(b) que o traço com areia de britagem de rocha calcária apresenta um espalhamento mais uniforme na placa em relação ao traço da Figura 17(a). A amostra da Figura 17(b) amostra não apresenta as deformações por

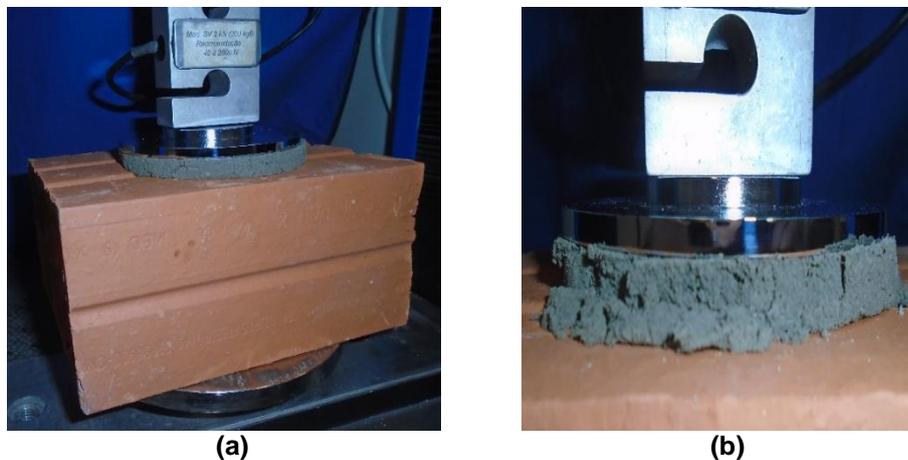
rachaduras apresentadas na Figura 17(a). A superfície das placas determinadas pela norma para o ensaio são completamente lisas, não oferecendo qualquer tipo de aderência ou sucção de água existente na argamassa, mostrando assim uma situação ideal de deformação da argamassa.

Como esta pesquisa se propõe a analisar o comportamento das argamassas compostas por areia natural e areia de britagem de rocha calcária, em base de cerâmica, foi reproduzida uma situação mais semelhante a aplicação da argamassa em obras, com o seguinte procedimento:

1 – Foram usados os mesmos blocos cerâmicos usados na confecção dos painéis para o ensaio de aderência a tração. Estes blocos foram colocados em estufa para a secagem.

2 – Retirados 24hs após e deixado esfriar ao ar.

3 – A partir desta etapa foi repetida a sequência, de ensaio determinada pela NBR 15839 (ABNT, 2010), moldando os corpos de prova sobre os blocos cerâmicos como está demonstrado na Figura 18.



**Figura 18 - Teste de *squeeze flow* realizado sobre a base de bloco cerâmico.**  
**Fonte: Autoria própria (2016)**

Observa-se na Figura 18(a) e (b) que a água é expulsa da argamassa pela pressão da prensa sobre a amostra e totalmente absorvida pelo bloco cerâmico, impedindo o deslizamento desta argamassa sobre a base, na Figura 17(b) observa-se também fissuras na lateral da amostra provocadas por um espalhamento desuniforme.



(a) (b)  
**Figura 19 - Traço T-V sendo ensaiado em (a)placa de vidro e (b) bloco cerâmico.**  
**Fonte: Autoria própria (2016)**

Na Figura 19 pode ser constatada a diferença de textura da argamassa do mesmo traço ao ser ensaiada sobre a placa de vidro e sobre o bloco cerâmico onde acontece a absorção da água ao ser moldado e prensado o corpo de prova.

#### 3.3.1.6 Exsudação

O ensaio de exsudação é normatizado pela RM-6 (RILEM, 1994). Foi executado obedecendo seus critérios. Para a preparação das argamassas ensaiadas foram obedecidos os critérios exigidos pela NBR 13276 (ABNT, 2005).

Em seguida a amostra foi colocada em cinco recipientes iguais preenchendo até a marca de 500ml, para possibilitar a retirada da água exsudada com o tempo de 15 min, 30 min, 60 min, 120 min, 240 min. Os recipientes ficaram acomodados de forma a não sofrer trepidação e cobertos com uma lâmina de vidro para não perder umidade. Nas Figuras 20(a) e 20(b) observa-se respectivamente o traços T-I e T-V aos 60min, momento em que teoricamente atingiram o pico máximo de exsudação.



(a) (b)  
**Figura 20 - (a) T-I aos 60min de repouso, (b) T-V aos 60min de repouso.**  
**Fonte: Autoria própria (2016)**

A água exsudada foi retirada com uma pipeta plástica e pesada para cada horário, possibilitando assim a construção da curva de exsudação de cada um dos traços propostos.

O cálculo da exsudação foi feito através da porcentagem de água exsudada em cada amostra em relação ao total da água de amassamento usada para processar a referida amostra. O ponto crítico de perda de água foi obtido através dos gráficos.

### 3.3.2 Argamassas no Estado Endurecido

Os ensaios para caracterizar as argamassas no estado endurecido foram realizados seguindo as orientações das normas técnicas NBR da ABNT. Foram realizados ensaios necessários para estabelecer uma relação entre os cinco traços propostos pela pesquisa analisando as características físicas e mecânicas das argamassas para se analisar esta relação.

Alguns ensaios levaram em consideração orientações de normas internacionais, devidamente mencionadas em cada caso.

#### 3.3.2.1 Resistência à tração na flexão

Ensaio realizado conforme NBR 13279 - Argamassa para revestimento e assentamento de paredes e tetos – Determinação da Resistência à tração na flexão e à compressão (ABNT, 2005). Foi preparada a argamassa conforme recomendações da NBR 13276 (ABNT, 2005), em seguida foram preparados os moldes prismáticos de 40 mm x 40 mm x 160 mm, Embora a norma exige 3(três) corpos de prova por dia de rompimento foram moldados 6(seis) corpos de prova para cada data. Os corpos de prova foram armazenados no laboratório em ambiente conforme recomenda a norma, temperatura  $(23 \pm 2)^{\circ}\text{C}$  e umidade relativa do ar  $(60 \pm 5)\%$  até a data de rompimento, Nas Figuras 21(a) e 21(b) pode-se observar a mesa de adensamento usada para os trabalhos e alguns corpos de prova moldados.



(a) (b)  
**Figura 21 - (a) mesa de adensamento, (b) corpos de prova moldados para rompimento.**  
**Fonte: Autorial própria (2016)**

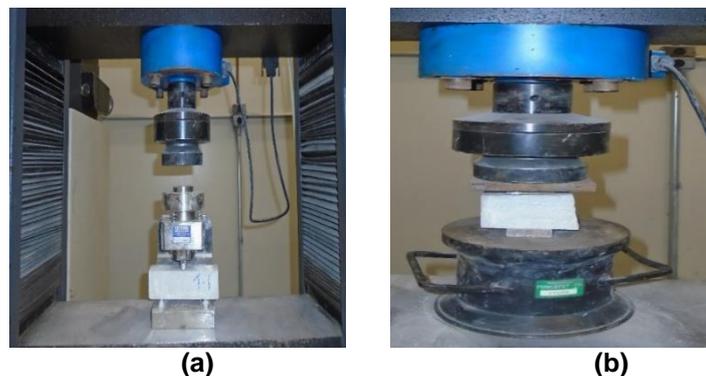
Os corpos de prova foram rompidos conforme determina a norma com 3 dias, 7 dias e 28 dias, foram rompidos 6 corpos de prova de cada traço, ou seja T-I, T-II, T-III, T-IV e T-V, para cada idade totalizando 90 corpos de prova.

### 3.3.2.2. Resistência à compressão

O ensaio de resistência à compressão para argamassas também é regulamentado pela NBR 13279 (ABNT, 2005), esta norma determina que após os corpos de prova serem rompidos à tração na flexão, pega-se as metades destes corpos de prova e rompe as mesmas à compressão simples, desta forma obtém-se a resistência desta argamassa à compressão simples

Na Figura 22(a) observa-se um CP sendo rompido a tração na flexão e na Figura 22(b), uma metade deste mesmo CP submetido aos esforços de rompimento para a leitura de resistência à compressão simples.

A prensa usada é de marca EMIC, modelo DL-30.000. Célula de carga com capacidade de 300 KN, precisão de 10N.



(a) (b)  
**Figura 22 - (a) rompimento à tração na flexão, (b) rompimento à compressão**  
**Fonte: Autorial própria (2016).**

Assim como no ensaio anterior foram rompidos 6 corpos de prova para cada traço nas idades de 3 dias, 7 dias e 28 dias.

### 3.3.2.3 Absorção de água por capilaridade

Este ensaio foi executado conforme a NBR 9779 - Argamassa e concreto endurecidos — Determinação da absorção de água por capilaridade (ABNT, 2013), que determina a moldagem de corpos de prova cilíndricos de 50 mm de diâmetro por 100 mm de altura, os mesmos devem ser moldados conforme orienta a NBR 7215 (ABNT, 1996).

A norma determina no mínimo três corpos de prova para execução do ensaio, foram moldados seis corpos de prova para cada traço proposto. Após a cura dos corpos de prova por 28 dias em condições exigidas pela norma os mesmos foram pesados, determinando assim a massa inicial de cada um, em seguida foram levados a estufa para secagem até atingir a constância de massa.

Após serem resfriados foi feita a leitura de sua massa seca. Em seguida foram colocados em recipiente adequado para absorver a água, e foram acompanhados fazendo a leitura de sua massa saturada com 3hs, 6hs, 24hs, 48hs, 72hs.

Na Figura 23 (a) e (b) pode se observar os corpos de prova colocados para absorção com lamina de 5mm de água.



**Figura 23 - Corpos de prova disposto para a absorção em lamina de água de 5mm.**

**Fonte: Autoria própria (2016)**

Após 72hs foram retirados da imersão para serem rompidos a compressão diametral, e feito a leitura da ascensão capilar da água em seu interior. Esta medida foi feita com um paquímetro, e o resultado é a média dos seis corpos de prova para cada traço.

### 3.3.2.4 Absorção de água, índice de vazios e massa específica

Este ensaio foi realizado seguindo orientações da NBR 9778 - Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica (ABNT, 2005 – versão corrigida de 2009). Os corpos de prova foram moldados conforme determina a NBR 7215 (ABNT, 1996), com 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura, na quantidade de 30 corpos de prova, seis para cada traço proposto na pesquisa.

Na Figura 24 estão os corpos de prova após secagem e identificados para a imersão e fervura.



**Figura 24 - corpos de prova pesados e identificados para a imersão.**  
**Fonte: A autoria própria (2016)**

O ensaio foi realizado com os corpos de prova na idade de 28 dias e, seguiu a sequência determinada pela norma: secagem das amostras em estufa por 72hs, com posterior pesagem, saturação das amostras por imersão em água por 72hs.

Na sequência as amostras foram cobertas de água e levadas a ebulição a 100°C, mantidas por 5hs, após esfriarem até 23°C foram pesadas na balança hidrostática, secas e pesadas novamente em balança normal. Os cálculos foram feitos em função das massas encontradas nas pesagens realizadas durante o ensaio.

### 3.3.2.5 Densidade de massa no estado endurecido

Este ensaio é normatizado pela NBR 13280 (ABNT, 2005), e foi realizado conforme suas determinações, os corpos de prova foram moldados e curados por 28 dias conforme a NBR 13279 (ABNT, 2005).

Aos 28 dias, com o auxílio de um paquímetro foi calculado o volume de cada CP, e seu peso em balança de precisão. Com estes dados foi possível calcular a densidade de cada CP, conforme determina a norma.

### 3.3.2.6 Módulo de elasticidade dinâmico

A norma brasileira regulamentadora do ensaio de módulo de elasticidade dinâmico é a NBR 15630 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultrassônica (ABNT, 2009), que orienta o uso de corpos de prova prismáticos 40 mm x 40 mm x 160 mm, e o uso de um aparelho de ultra som regulamentado pela mesma norma.

Entretanto para a realização deste ensaio foi utilizado um aparelho denominado SONEPLASTIC, que permite o uso de corpos de prova de vários formatos, cujo o princípio também reside em leitura de ondas sonoras, através de um impulso vibratório.

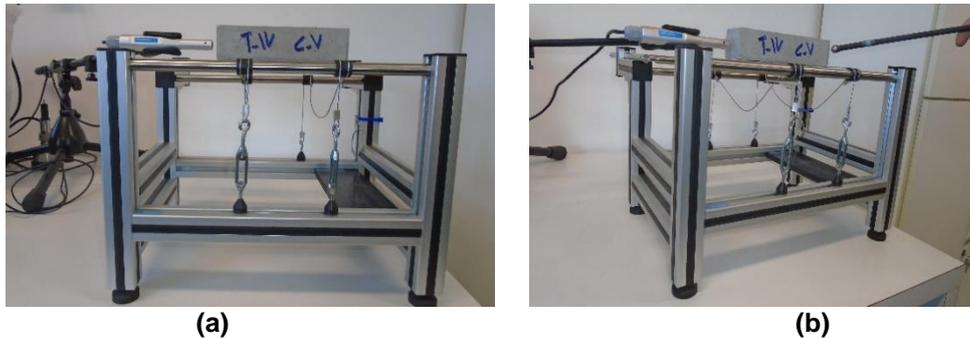
Este aparelho é normatizado pela ASTM - *American Society for Testing & Materials*, e faz parte do conjunto de ensaios programa de computador, que após ler as ondas vibratórias do corpo de prova transfere os dados e calcula o módulo de elasticidade dinâmico de cada do corpo de prova.

O conjunto de normas que regulamenta a fabricação e uso deste aparelho está descrito no Quadro 11.

<b>Fabricante</b>	<b>ATCP Engenharia Física</b>
Modelo	SONEPLASTIC
Ensaio	Caracterização do módulo de elasticidade e do amortecimento de materiais pela Técnica de Excitação por Impulso (técnica das frequências naturais)
Normas técnicas	ASTM E1876 - 15 - <i>Standard Test Method for Dynamic Young's Modulus, Shear Modulus, and Poisson's Ratio by Impulse Excitation of Vibration</i>
	ASTM C1259 – 08 - <i>Standard Test Method for Dynamic Young's Modulus, Shear Modulus, and Poisson's Ratio for Advanced Ceramics by Impulse Excitation of Vibration</i>
	ASTM E756 – 05 - <i>Standard Test Method for Measuring Vibration-Damping Properties of Materials</i>
	ASTM E1875 – 08 - <i>Standard Test Method for Dynamic Young's Modulus, Shear Modulus, and Poisson's Ratio by Sonic Resonance</i>
	ASTM C1198 – 09 - <i>Standard Test Method for Dynamic Young's Modulus, Shear Modulus, and Poisson's Ratio for Advanced Ceramics by Sonic Resonance</i>
	ASTM C597 – 09 - <i>Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete</i>
	□ ASTM C1548 – 02 - <i>Standard Test Method for Dynamic Young's Modulus, Shear Modulus, and Poisson's Ratio of Refractory Materials by Impulse Excitation of Vibration</i>
	ASTM C215 – 08 - <i>Standard Test Method for Fundamental Transverse, Longitudinal, and Torsional Resonant Frequencies of Concrete Specimens</i>
Frequência	100 Hz a 30 kHz
Módulo de elasticidade	1 a 1.000 GPa.

**Quadro 11 - Dados, especificações e normas técnicas regulamentadoras do SONEPLASTIC. Fonte: Autoria própria (2016).**

No SONEPLASTIC o corpo de prova é colocado da forma determinada pelo executor do ensaio, após fixado e dado uma batida com bastão em uma das extremidades do corpo de prova provocando as vibrações conforme apresentado na Figura 25.



**Figura 25 - Aparelho SONEPLASTIC, sendo realizado o ensaio**  
**Fonte: Autoria própria (2016).**

Estas vibrações em forma de ondas sonoras são captadas por um microfone, este transmite ao computador que faz a leitura e junto com dados previamente fornecidos ao programa como, dimensões do CP, (para o cálculo do volume e densidade do mesmo), coeficiente de Poisson, o programa fornece os resultados como frequência, amplitude da onda e o módulo de elasticidade dinâmico do corpo.

### 3.3.3 Análise dos Blocos Cerâmicos

Os blocos cerâmicos utilizados para a execução do substrato dos painéis usados para os ensaios de aderência a tração das argamassas e permeabilidade pelo método do cachimbo foram adquiridos no comércio local, são blocos de 6 furos com finalidade de uso na execução em alvenaria de vedação, e foram submetidos aos ensaios conforme orienta a NBR 15270-3 - Componentes cerâmicos Parte 3: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação – Métodos de ensaio. (ABNT, 2005), descritos no Quadro 12,

<b>Característica determinada</b>	<b>Método de ensaio</b>
Índice de absorção inicial	NBR 15270-3 (ABNT, 2005)
Massa seca e índice absorção de água	NBR 15270-3 (ABNT, 2005)
Resistência a compressão	NBR 15270-3 (ABNT, 2005)
Características geométricas	NBR 15270-3 (ABNT, 2005)

**Quadro 12 - Ensaios para caracterização dos blocos cerâmicos.**  
**Fonte: Autoria própria (2016)**

Foi utilizada também a NBR 15270-1 Componentes cerâmicos Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação – Terminologia e requisitos. (ABNT, 2005), para análise de especificações e resultados obtidos nos ensaios destes blocos cerâmicos. Todos os ensaios foram realizados com seis corpos de prova conforme determina a norma.

#### 3.3.3.1 Índice de absorção inicial de água

Este ensaio foi realizado conforme determina a NBR 15270-3 (ABNT, 2005), e está descrito no Anexo E, tem por objetivo determinar a sucção de água pelo bloco nos primeiros 60s em contato com a água, esta sucção vai determinar o seu comportamento quando em contato inicial com a argamassa de revestimento.

#### 3.3.3.2 Massa seca e índice de absorção de água

Ensaio realizado conforme orienta a NBR 15270-3 (ABNT, 2005), Anexo B, e determina a capacidade total de absorção de água do bloco cerâmico.

#### 3.3.3.3 Resistência a compressão

Ensaio realizado conforme orienta a NBR 15270-3 (ABNT, 2005), descrito nas Tabelas do Anexo E, e determina a resistência do bloco cerâmico a compressão. A norma diz que os blocos cerâmicos devem ser ensaiados comprimindo a face a ser utilizada. No caso da argamassa de revestimento foi feito o capeamento das maiores faces do bloco utilizadas no revestimento de paredes, e os blocos foram ensaiados a compressão, saturados como determina a norma, com o mesmo deitado apoiado na face de maior área com os furos na horizontal.

#### 3.3.3.4 Características geométricas

Ensaio realizado conforme determina a NBR 15270-3 (ABNT, 2005) Anexo E, este ensaio orienta a forma como determinar as seguintes características geométricas dos blocos:

- Medidas das faces – dimensões efetivas;
- Espessura dos septos e paredes externas dos blocos;
- Desvio em relação ao esquadro (D);
- Planeza das faces (F);
- Área bruta ( $A_b$ ) e área líquida ( $A_{liq}$ ).

### 3.3.4 Estudo da Aderência das Argamassas

Para a análise da aderência das argamassas foram confeccionados 5(cinco) painéis de 1 m<sup>2</sup> cada, estes painéis foram revestidos primeiro com chapisco e em seguida com argamassas produzidas com as composições propostas pela pesquisa, denominadas de T-I, T-II, T-III, T-IV, T-V.

Os painéis foram executados deitados para facilitar o corte das argamassas necessário para colagem das patilhas, bem como o sucessivo arrancamento das mesmas.

#### 3.3.4.1 Confeção dos painéis de alvenaria

Os painéis foram confeccionados para realizar o ensaio de aderência das argamassas, os ensaios de permeabilidade pelo método do cachimbo e também a leitura da formação de fissuras das argamassas.

Os passos para a execução dos painéis foram os seguintes:

1 – Foi feito um gabarito de madeira de 1m<sup>2</sup> para cada painel ser montado dentro do mesmo, assegurando assim a rigidez dos painéis;

2 - Os Tijolos foram rejuntados para formar a base ou substrato de alvenaria necessária para o revestimento;

3 – Foi executado o chapisco;

4 - Em seguida foi executado o reboco, este foi aplicado de uma altura de queda de 90 cm, procurando reproduzir o mais verdadeiro possível a energia da aplicação de um reboco em obra. Esta altura de queda iguala-se a força com a qual o pedreiro aplica a camada de reboco na obra.

Na Figura 26(a) e (b) esta demonstrada o início a execução dos painéis e a técnica usada para esta execução.



**Figura 26 - (a) montagem substrato cerâmico, (b) rejunte substrato cerâmica.**

**Fonte: Autoria própria (2016)**

Na Figura 27 observa-se o chapisco realizado em dois dos painéis.



**Figura 27 - Painéis com chapisco.**

**Fonte: Autoria própria (2016)**

Na Figura 28(a) e (b), está representado a confecção do reboco, e a altura de queda de 80 cm, igualando assim a força a aplicada na hora na execução de um reboco em obra.



**Figura 28 - (a) altura de queda do reboco, (b) alisamento do reboco.**

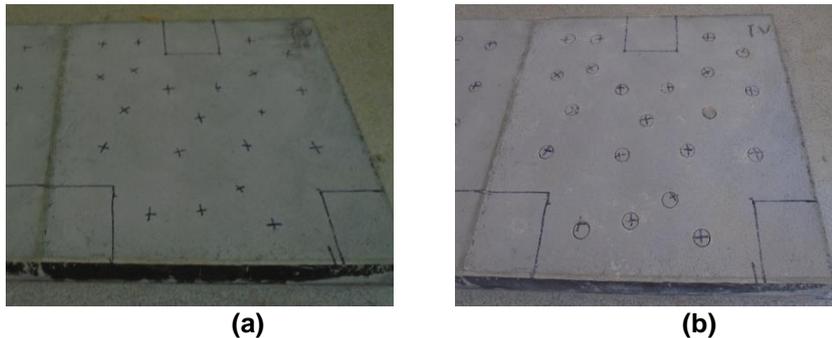
**Fonte: Autoria própria (2016).**

O reboco foi aplicado nos painéis 7 dias após a aplicação do chapisco. Os cinco painéis foram confeccionados simultaneamente como mostram as Figuras 26(a) e (b), 27 e 28(a) e (b) usando o mesmo sistema de execução mudando somente a composição do traço conforme o objetivo da pesquisa.

#### 3.3.4.2 Resistência de aderência à tração

Este ensaio foi realizado tendo como referência a NBR 13528 - revestimento de paredes de argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração (ABNT, 2010), após 28 dias de cura da argamassa. O aparelho usado para o ensaio de arrancamento é da marca SOLOTESTE e o arrancamento foi feito na velocidade de 250 N/s.

Na Figura 29(a) e (b) está demonstrado a marcação dos painéis e os cortes prontos para a colagem das pastilhas.



**Figura 29 - (a) marcação do painel para corte e colagem das pastilhas, (b) cortes realizados no painel.**  
**Fonte: Autoria própria (2016).**

Na Figura 30(a) e (b) observa-se as pastilhas coladas para arrancamento e o equipamento fazendo o arrancamento.



**Figura 30 - (a) pastilhas coladas para o arrancamento, (b) aparelho de arrancamento em funcionamento.**  
**Fonte: Autoria própria (2016).**

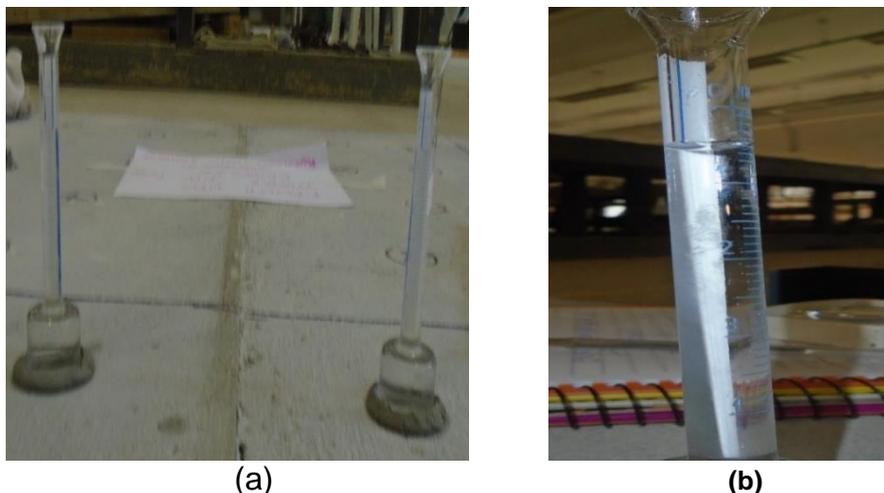
### 3.3.5 Absorção de Água e Permeabilidade Pelo Método do Cachimbo

Este ensaio é proposto pelo *Centre Scientifique et Technique de la Construction* (CSTC, 1982) e pela *Réunion Internationale des Laboratoires d'Essais et de Recherches sur les Matériaux et lês Constructions 62* (RILEM, 1982).

O ensaio foi realizado de acordo com a seguinte metodologia:

- 1 - Com massa de calafetar foi fixado o cachimbo de vidro confeccionado de acordo com a CSTC, no painel;
- 2 - Com o auxílio de uma pisseta plástica completar o cachimbo com água até marca de referência de nível zero, acionando o cronometro;
- 3 - Em seguida foi efetuada a leitura a cada minuto até atingir os 4cm<sup>3</sup> de marcação ou 15min de ensaio.

Na Figura 31(a) estão fixados os cachimbos para a realização do ensaio, e Figura 31(b), o ensaio em andamento.



**Figura 31 - (a) cachimbos fixados no painel, (b) ensaio em andamento.  
Fonte: Autoria própria (2016)**

Foram utilizados três pontos em cada painel para a execução do ensaio, a norma orienta leituras em 5 min, 10 min, e 15min, optou-se por leituras com intervalo de 1 min para obter um maior número de pontos para construção da curva.

### 3.3.6 Contagem e medição de fissura

Os painéis foram monitorados a partir da primeira semana após a sua execução para detectar possíveis fissuras que poderiam acontecer no revestimento, e foi constatado apenas uma fissura no painel com a composição do traço T-II.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 AREIAS

Os resultados encontrados nos ensaios de levantamento das características físicas e químicas das areias foram analisados de forma criteriosa para entender como estas podem influenciar no comportamento das argamassas.

#### 4.1.1 Granulometria

No apêndice A estão os resultados tabelados para cada areia e cada composição. Na Tabela 9 estão descritos os resultados das frações retidas acumuladas de cada areia e composição, para montar as curvas granulométricas.

**Tabela 9 - Percentagens retidas acumuladas para as curvas granulométricas. NBR NM 248 (ABNT, 2011). Legenda das areias e traços.**

Peneiras Ø (mm)	ABRC Racumulado (%)	AN Racumulado (%)	T-II Racumulado (%)	T-III Racumulado (%)	T-IV Racumulado (%)	T-V Racumulado (%)
4,8	0	0	0,026	0,02	0,12	
2,4	24,23	0,37	4,26	11,71	15,37	25,05
1,2	56,69	3,04	14,86	28,17	36,55	51,53
0,6	78,46	20,85	30,13	46,47	54,32	67,05
0,3	89,26	62,04	71,08	77,67	79,36	83,19
0,15	95,88	90,01	91,46	94,43	94,64	94,55
0,075	99,75	99,79	99,25	99,48	99,77	99,79
Fundo	100,00	100,00	100,00	100	100	100

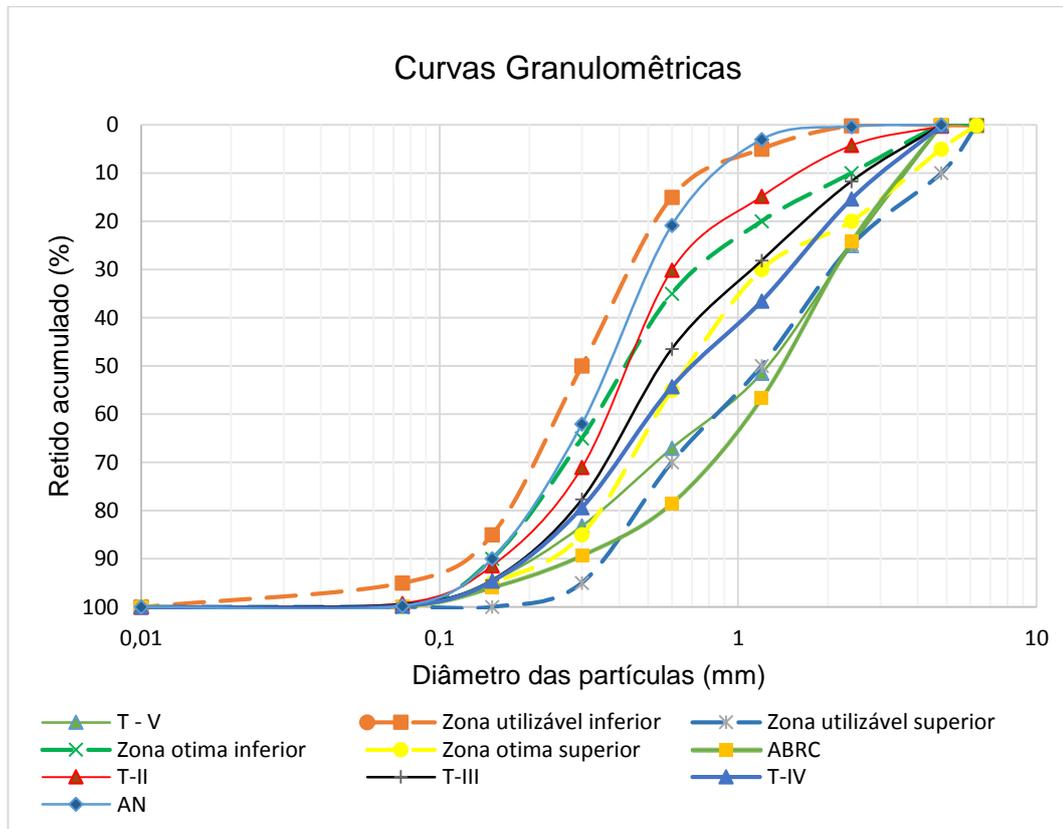
  

Legenda	
Traços	
T-I	Traço 1 - 100% areia natural
T-II	Traço 2 – 80% areia natural, 20% areia de britagem de rocha calcária
T-III	Traço 2 – 60% areia natural, 40% areia de britagem de rocha calcária
T-IV	Traço 2 – 40% areia natural, 60% areia de britagem de rocha calcária
T-V	Traço 2 – 20% areia natural, 80% areia de britagem de rocha calcária
Areias	
ABRC	Areia de Britagem de Rocha Calcária
AN	Areia Natural

**Fonte: Autoria própria, 2016**

Na Figura 32, foram elaborados, com os dados obtidos nos ensaios e demonstrados na Tabela-1, as curvas granulométricas das areias e das composições dos traços. Para que se possa fazer uma análise mais detalhada da granulometria das

areis foi colocado no gráficos a zonas ótima e utilizável recomendadas pela NBR 7211 (ABNT2005).



**Figura 32 - Curvas granulométricas das areias e das composições da AN com ABRC**  
**Fonte: Autoria própria (2016).**

Na análise da Figura 32 observa-se que a curva da areia de britagem de rocha calcária do ponto 0,3 a 1,2 no eixo dos diâmetros encontra-se fora de todas as zonas aceitáveis de utilização. O intervalo que foge das zonas recomendadas pela norma, apresenta uma granulometria acima da zona utilizável superior, areia natural ficou com sua granulometria próxima a zona utilizável superior indicando uma areia fina, sendo um indicador de maior consumo de água e aglomerante na argamassa.

A composição granulométrica das duas areias de britagem e natural é viável visto que apresentam uma compensação granulométrica nos traços.

A composição granulométrica das areia natural e areia de britagem apresentadas no gráfico da Figura 32 o traço T-V coincide com a zona utilizável superior, enquanto o T-IV fica entre a zona utilizável superior e a zona ótima superior recomenda pela norma a composição granulometria destas composições indica que podem ser usadas em argamassas no que diz respeito a análise granulométrica.

Os traços T-I e T-II estão, de acordo com a Figura 32, localizados dentro das zonas utilizável e ótima superior, o que indica um agregado de granulometria fina que pode ser utilizado na confecção de argamassas porem demanda um maior consumo de água e cimento para uma consistência ideal.

O traço T-III está localizado, de acordo com a Figura 32, dentro da zona ideal de utilização recomendada pela norma, indicando assim que esta é a melhor composição para ser utilizada nas argamassas quando analisamos a composição granulométrica das areia natural e areia de britagem de rocha calcária.

O ensaio de granulometria nos permite analisar também o módulo de finura (MF), material pulverulento (MP), dimensão máxima característica dos grãos (DMC), e material passante pela peneira 75 $\mu$ m, que estão descritos na Tabela 10.

**Tabela 10 - Índices físicos extraídos das curvas granulométricas. NBR 7211 (ABNT, 2005)**

	ABRC	AN	T-II	T-III	T-IV	T-V	Norma
MF	4,14	2,72	3,11	3,57	3,80	4,21	Conforme Tabela-3
DMC (mm)	4,8	1,2	2,40	4,80	4,80	4,80	Sem indicação normativa
MPPP 0,075mm (%)	14,34	4,05	11,14	7,55	12,33	12,82	AN – 3% a 5% ABRC- 10% a 12%
MP (%)	14,55	4,78	11,81	8,69	12,33	12,01	

**LEGENDA**

MF	Módulo de finura
DMC	Dimensão máxima característica dos grãos
MPPP 0,075mm	Material passante pela peneira 75 $\mu$ m
MP	Material pulverulento

**Fonte: Autoria própria (2016).**

Na análise da Tabela 10 conclui-se que teor de material pulverulento na areia de britagem de rocha calcária é maior que o permitido por norma, a areia natural está dentro dos parâmetros da norma. Apesar da areia de britagem apresentar um teor elevado de MP, quando composta com a areia natural este valor baixa e fica dentro do intervalo exigido pela norma, conforme Tabela 10.

Na Tabela 11, estão descritos os limites dos módulos de finura que devem apresentar as areias para serem utilizadas como agregados miúdos.

**Tabela 11 - Limites do módulo de finura, NBR 7211 (ABNT, 2005)**

Zona de utilização	Modulo de finura
Utilizável inferior	1,55 a 2,20
Ótima	2,20 a 2,90
Utilizável superior	2,90 a 3,50

**Fonte: Autoria própria (2016).**

Analisando os módulos de finura apresentados na Tabela 10, e comparado com a indicação da NBR 7211 (ABNT, 2005) Tabela 11, conclui-se que a areia de britagem apresenta um módulo de finura superior ao indicado pela norma mesmo tendo como referência o utilizável superior, a areia natural pode ser considerada um material com ótimo módulo de finura. Os traços T-II e T-III, ficam dentro da zona utilizável superior. Os traços T-IV e T-V tem um módulo de finura superior ao aceitável por norma, ou seja quanto maior a percentagem de areia de britagem no traço maior o módulo de finura.

Agregados com valores altos de módulo de finura, resultam uma argamassa com maior consumo de cimento para uma consistência ideal. Com os índices apresentados nesta etapa da caracterização das areias conclui-se que as composições T-II, T-III, e T-IV possuem as características granulométricas necessárias para argamassas de revestimento.

#### 4.1.2 Caracterização Física das Areias

Na Tabela 12 são apresentados os resultados obtidos nos ensaios de caracterização física da areia natural e da areia de britagem.

**Tabela 12 - Caracterização física das areias**

Índices físicos.	AN	ABRC
Absorção de água (%)	0,75	2,95
Massa específica aparente do agregado seco - $d_1$ (g/cm <sup>3</sup> )	2,25	2,73
Massa específica do agregado saturado superfície seca - $d_2$ (g/cm <sup>3</sup> )	2,25	2,82
Massa específica - $d_3$ (g/cm <sup>3</sup> )	2,26	2,99
Massa unitária do agregado seco - $\rho_a$ (Kg/dm <sup>3</sup> )	1,61	1,77
Massa unitária do agregado saturado superfície seca $\rho_{as}$ (kg/dm <sup>3</sup> )	1,62	1,83
Índice de volume de vazios (%)	28,43	34,75
Índice de inchamento (%)	1,47	1,42
Umidade crítica (%)	1,7	3,20
Impurezas orgânicas - (%)	0	0
Umidade superficial (%)	5,39	8,40

**Fonte: Autoria própria (2016)**

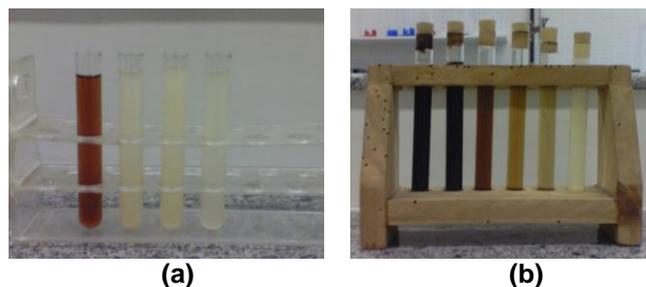
Os índices físicos analisados, comparados a resultados de autores como Ishikawa e Pereira (2012), Arnold (2011), Drago, Vermey e Pereira (2009), Silva (2006) são semelhantes aos valores descritos pelos mesmos autores em seus trabalhos. As normas utilizadas nos ensaios dos índices físicos apresentados na Tabela 12 não determinam limites para estes índices

A areia de britagem apresenta índices mais elevados que a areia natural nas massas específicas e unitárias, que contribuirão para elevar a densidade de massa da argamassa. A absorção de água pelos grãos é maior na areia de britagem em função da quantidade de finos que ela possui, mesmo possuindo maior quantidade de finos a areia de britagem tem uma dimensão máxima característica (DMC) maior que a areia natural, o que justifica o maior índice de volume de vazios encontrado na areia de britagem.

O coeficiente de inchamento é importante, pois o agregado miúdo tem uma alta capacidade de absorção de água em função da sua quantidade de finos, a umidade crítica é o ponto onde o agregado passa a não mais absorver água ou também onde a absorção tende a constância, indicando assim o ponto em que a massa se torna constante não aumentando mais de volume.

Está demonstrado nos índices encontrados na Tabela 12 que o coeficiente de inchamento difere pouco da areia natural para a areia de britagem, porém a umidade crítica é diferente mostrando que elas atingem constância de volume em momentos diferentes com umidades diferentes, podendo influenciar na consistência e trabalhabilidade da argamassa.

Na Figura 33 esta demonstrado o resultado da análise feita em duas amostras da areia natural, foi constatado pela comparação das cores do liquido resultante que o teor de impurezas orgânicas desta areia, está dentro do limite permitido pela NBR NM 49 (ABNT 2001), que é de 10%.



**Figura 33 - Impurezas orgânicas em duas amostras de AN.**  
Fonte: Autoria própria (2016).

Na Figura 33(a) e (b) estão expostas duas amostras da areia natural submetidas aos reagentes indicados na norma e pela cor final da amostra constatou-se que a areia natural não apresenta impurezas orgânicas

#### 4.1.3 Análise química e mineralógica das areis

Esta análise foi realizada através Espectroscopia de Fluorescência de raios X e da Difractometria de raios X(DRX) com o objetivo de quantificar os componentes químicos das areias e sua possível influência na pega da argamassa.

#### 4.4.3.1 Espectroscopia de fluorescência de raios X

Na Tabela 13 estão descritos os resultados da análise química das areias realizado através de Espectroscopia de Fluorescência de raios X

**Tabela 13 - Análise química das areias e cimento**

Componentes (%)	AREIA IPT	AN	ABRC	CIMENTO
SiO <sub>2</sub>	99,79	98,8	7,6	8,74
CaO	0,004	< 0,1	43,4	61,27
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,014	0,4	1,3	2,66
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,054	0,4	1,3	4,21
K <sub>2</sub> O	0,007	0,1	0,4	
MgO	0,003	< 0,1	7,9	3,70
TiO <sub>2</sub>	0,026	0,1	0,1	
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		< 0,1	-	
ZrO <sub>2</sub>	0,01	< 0,1	-	
SO <sub>3</sub>		-	0,1	2,70
Na <sub>2</sub> O	0,002	-	0,1	
MnO		-	< 0,1	
SrO		-	< 0,1	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		-	< 0,1	
CaO I				0,59
R. Ins				1,43
Eq. Alc				0,72
P.F.	0,06	0,11	37,64	4,76
<b>PEGA (h:min)</b>				
Início				4:18
Fim				5:02

Fonte: Lamir, Itambé e IPT (2016)

Nos resultados obtidos observou-se que a areia natural é classificada como quartzosa em comparação com a do IPT que classifica a sua areia de quartzosa. A areia de britagem contém, um alto teor de CaO, este componente classifica a mesma

como uma areia calcária. Este alto índice de CaO na areia de britagem compostos com os demais itens da areia podem fazer com que ela modifique algumas características de reação do cimento no tempo e forma da pega da argamassa. Em LAFARGE BRASIL (2001), consta que o CaO livre é um dos parâmetros químicos que influenciam a pega do cimento, e seus efeitos podem variar em função da interação com outros parâmetros.

Este fato pode provocar maior absorção de água pelas argamassas com a possibilidade de formação de patologias, com posterior inchamento e de fissuras ao longo do tempo da vida útil dos revestimentos.

#### 4.1.3.2 Difractometria de raios X (DRX)

O difratograma de raios X detectou os componentes que ocorrem com maior frequência e intensidade nas areias pesquisadas, pode-se assim fazer a análise e comparação do comportamento das areias e da sua influência nas argamassas. Estes componentes estão apresentados no Quadro 13.

Posição em $\theta$	Código	Formula química	Mineral
Areia de britagem de rocha calcária			
31-segundo maior pico	110078	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	Dolomita
29- maior pico	240027	$\text{CaCO}_3$	Calcita
20-terceio maior pico	461045	$\text{SiO}_2$	Quartzo
Vários picos dispersos	291489	$\text{Al}_4\text{Si}_4\text{OH}_8\text{O}_{10} \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	Haloisita hidratado
Areia natural			
26-maior pico	46-1045	$\text{SiO}_2$	Quartzo
20 segundo maior pico	38-0360	$\text{SiO}_2$	Moganite
Vários picos dispersos	38-0443	$\text{Al}_2\text{O}_3(2\text{SiO}_2)3\text{H}_2\text{O}$	Alofa (Allophane)

**Quadro 13 - Compostos identificados nas areias pela difratometria de raios X DRX.**  
**Fonte: Aatoria própria (2016)**

Na Figura 34(a) está representado o difratograma da areia de britagem, na Figura 34(b) está o difratograma da areia natural e a Figura 34(c) é uma composição dos difratogramas das duas areias onde pode-se observar os pontos de pico máximo para cada uma das areias. Nas Figuras 34 (a) e (b) os picos estão identificados por códigos das suas formações cristalinas, observa-se que a areia natural apresenta uma intensidade maior em seus picos do que a areia de britagem.



pico composto por calcita, seguido de dolomita, o quartzo está presente no terceiro maior pico da areia de britagem.

A intensidade máxima de amplitude do pico da areia natural é 4 vezes maior que a amplitude máxima do pico da areia de britagem, os componentes encontrados pela difratometria diferem entre as areias, sendo que dos principais componentes o único que se aproxima é o quartzo que apresenta na areia de britagem um pico 10 vezes menos que na areia natural.

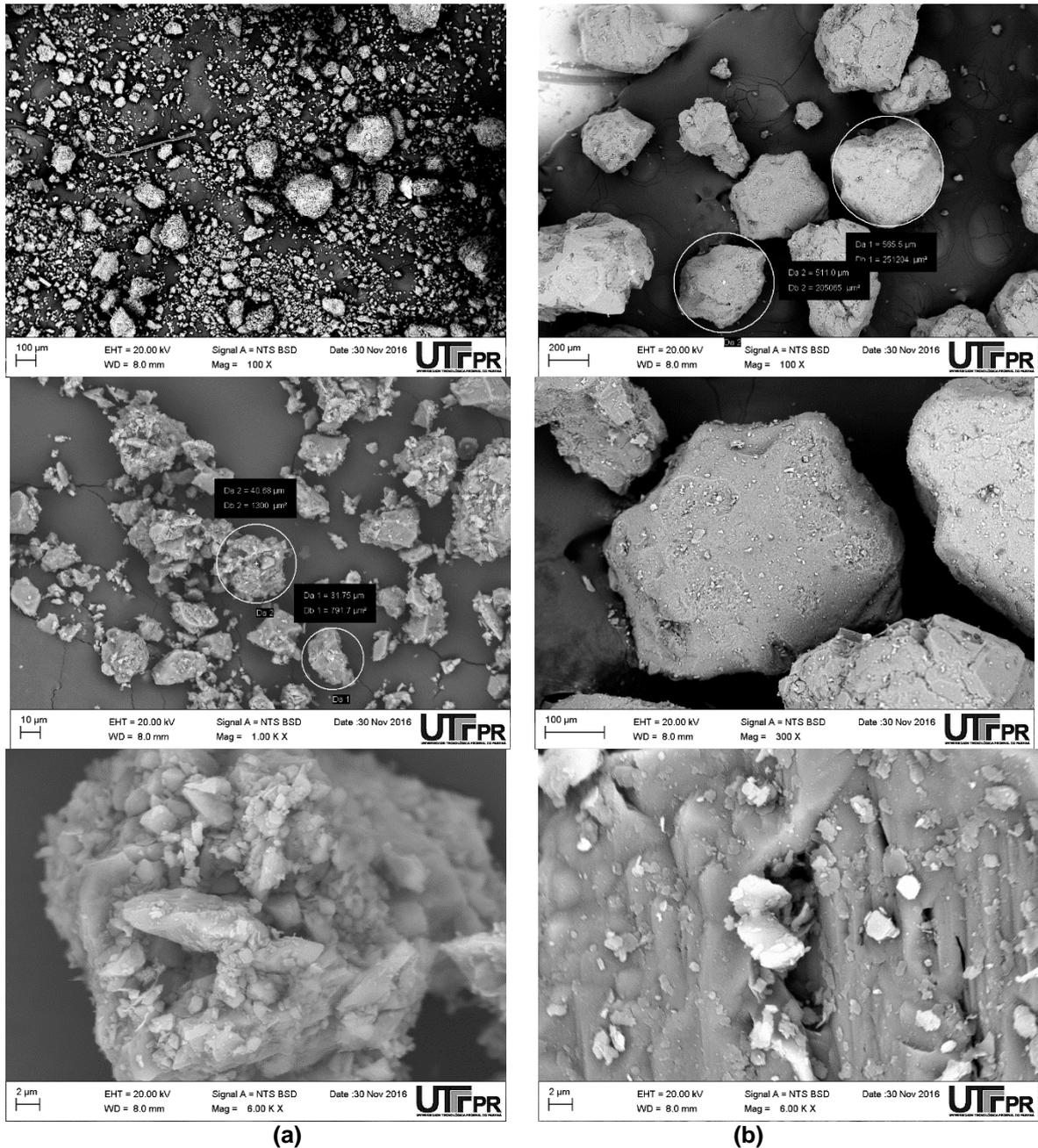
A areia natural apresenta picos mais longos com menos distribuídos enquanto a areia de britagem apresenta picos menos intensos e mais distribuído ao longo da leitura. A principal diferença detectada pela difratometria das areias é a quantidade de calcita e dolomita na areia de britagem, que não existe na areia natural e que são componentes que podem alterar a pega e cura das argamassas.

#### 4.1.3.3 Forma e textura dos grãos

A Figura 35(a) e (b), foram obtidas no MEV (Microscópio Eletrônico de Varredura), as fotos foram registradas com diferentes ampliações para cada areia, na coluna (a) estão as fotos da areia de britagem de rocha calcária, e na coluna (b) as fotos da areia natural, lado a lado elas apresentam a mesma ampliação, portanto pode-se observar a grande quantidade de finos contidas na areia de britagem.

Os finos da areia de britagem aderem mais a fita por serem mais leves e aparecem em maior quantidade na foto de ampliação 100X, primeira foto apresentada na Figura 35 e sua forma mais irregular e angulosa só é realmente perceptível a partir da ampliação de  $\times$ , foto do meio da Figura 35.

A elevada quantidade de finos observada na foto (a)-1 a, areia de britagem, quando comparada a foto (b)-1, areia natural, são provenientes do material pulverulento como pode-se conferir nos resultados da caracterização física das areias, (item 4,1,2), e também na granulometria da areia com 14,15% de material pulverulento na areia de britagem e 4,78% de material pulverulento na areia natural, o MEV permite um estudo mais detalhado da forma destes finos e com a definição desta forma a possibilidade da análise dos efeitos dos mesmos nas argamassas.



**Figura 35 - Análise das areias pelo MEV, (a) ABRC de cima para baixo 100X, 1000X e 6000X ampliação, (b) AN de cima para baixo 100X, 1000X, e 6000x de ampliação. Fonte: Autoria própria (2016). Realizado no LAMEC da UTFPR.**

A forma irregular e ângulos agudos, bem como a elevada rugosidade superficial perceptível da areia de britagem é observada com clareza na foto (a)-2 enquanto a areia natural foto (b)-2 apresenta uma forma arredondada, conclui-se portanto que a compacidade do material aumenta, se o seu grão for mais arredondado. A área específica das areias também é afetada pelos parâmetros textuais dos grãos sendo que grãos mais rugosos fornecem maiores áreas

específicas, porém não é possível fazer uma correlação da área específica com o empacotamento dos grãos.

Arnold (2011) afirma na conclusão de suas análises de laboratório, que a influência da forma dos grãos das areias no empacotamento das partículas é marcante. Araújo *et. al.* (2015) afirmam com base nos resultados de sua pesquisa que o fator de empacotamento das partículas, propriedade importante oriunda da forma das areais, apresenta alta relação com a consistência das mesmas de forma que quanto maior o fator de empacotamento, maior a consistência das argamassas.

Conclui-se portanto que a forma e a textura da areia de britagem que apresenta diferenças relevantes da areia natural neste levantamento fotográfico vai exercer influência determinante nos resultados desta pesquisa.

A influência nos resultados desta pesquisa em função da diferença de forma e textura das duas areias encontradas no levantamento fotográfico é confirmada por Araújo *et. al.* (2015), quando afirmam que a mineralogia do agregado influencia na forma dos grãos.

Os parâmetros texturas das areias vão exercer uma forte influência no índice de vazios das areias, influenciando, estes parâmetros no teor de ar incorporado no estado fresco da argamassa, para Tristão (2005) estes parâmetros podem influenciar mais que a própria granulometria dos grãos, quanto mais arredondados os grãos maior o índice de vazios das argamassas.

Pode-se observar ainda na foto (b)-2 fissuras no grão da areia natural que não caracterizam rugosidade mas sim falhas na própria estrutura do grão, esta fenda é mostrada na ampliação da partícula na foto (b)-3. Comparando a foto (a)3 da areia de britagem com (b)3 areia natural constatamos a evidência da rugosidade da ABRC,

O aumento da consistência das argamassas produzidas com esta areia em função dos parâmetros textuais e da compensação granulométrica, (conforme já visto no estudo da granulometria das areias), é mais favorável em função da variação dos diâmetros da partícula e com isso melhora a plasticidade, esta melhora pode não ser compensatória, pois a alta rugosidade e aresta afiadas dos grãos prejudica a aplicação da argamassa.

## 4.2 ARGAMASSAS

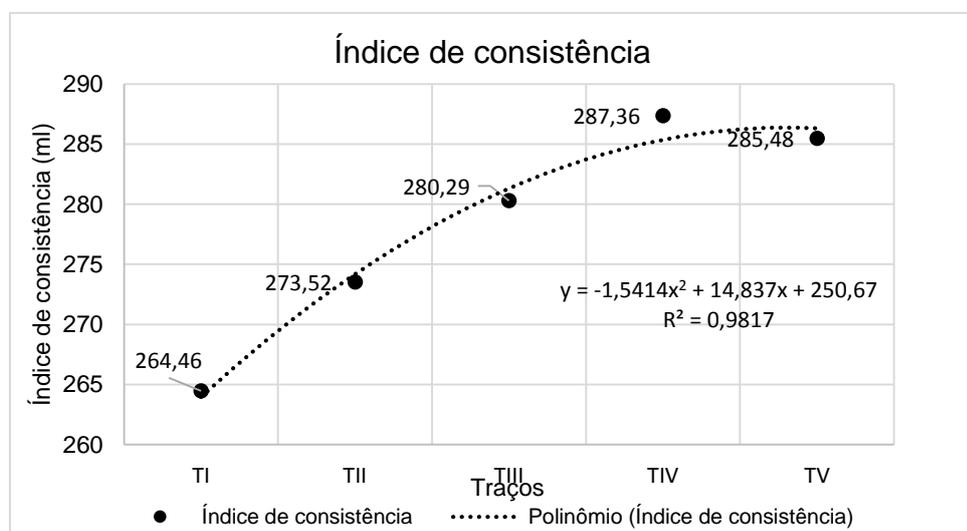
### 4.2.1 Argamassas no Estado Fresco

O comportamento da argamassa no estado fresco é determinante para o bom desempenho do revestimento, em função disto o conhecimento e controle da forma como isto vai ocorrer. As tabelas demonstrativas dos índices e cálculos bem como o tratamento estatístico ANOVA e o teste de Tukey para verificar estatisticamente se houve influência da areia de britagem de rocha calcária nas propriedades das argamassas estão descritas no apêndice C. Os testes foram realizados com 95% de confiança.

#### 4.2.1.1 Índice de consistência.

No ensaio *Flow Table*, foram apurados os dados demonstrados na Figura 36, observa-se que o índice de consistência aumenta com o aumento da quantidade de areia de britagem na composição, melhorando assim a trabalhabilidade que é diretamente influenciada pela consistência das argamassas, a partir do traço IV existe uma tendência a estabilizar esta consistência.

Pode-se observar também uma pequena queda do T-IV, para o T-V com 2mm de diferença entre os dois demonstrando assim uma tendência a estabilização deste índice a partir desta quantidade de areia, mantendo-se água e aditivo constantes.



**Figura 36 - Gráfico do índice de consistência.**  
**Fonte: Autoria própria (2016)**

A NBR 13276 (ABNT, 2002) que orienta o ensaio da *flow table* não fixa valores para o índice de consistência, e a NBR 13281 (ABNT, 2005) que fixa os parâmetros para a classificação das argamassas não faz referência ao índice de consistência. Silva (2006) para a sua pesquisa fixa o índice de consistência em 270 mm  $\pm$ 10 mm.

Optou-se em deixar este parâmetro variável, porém atendendo um índice aceitável de trabalhabilidade comparado a outros estudos consultados. Observa-se no gráfico aumento de 23 mm no ensaio de consistência por espalhamento da argamassa de T-I para T-IV, mostrando uma leve queda de T-IV para T-V.

Uma das causas deste aumento pode ser explicado pelo fato de a massa unitária da areia de britagem (1,83 kg/dm<sup>3</sup>), ser maior que a massa unitária da areia natural, (1,63 kg/dm<sup>3</sup>), pois segundo Carasek *et. al.* (2016) a massa unitária das areis desempenha, um papel importante na consistência das argamassas pois o aumento desta provoca um aumento substancial da fluidez das ,misturas, pois a massa unitária, esta ao mesmo tempo, levando em conta o fator de empacotamento do conjunto particular de agregados, bem como todos os outros fatores que interferem neste parâmetro, ou seja forma e textura das partículas, sua distribuição granulométrica, se uniforme ou não, os teores de finos e frações finas presentes

No tratamento estatístico ANOVA obteve-se valores baixos para o coeficiente de variação, comprovando assim a uniformidade do ensaio, conforme observado pelo coeficiente R<sup>2</sup>.

O teste estatístico ANOVA também provou que a areia de britagem exerce influência na consistência do traço pois obteve-se um F<sub>calculado</sub> maior que o F<sub>crítico</sub>, parâmetro de comparação fornecido pela tabela.

O teste de Tukey mostrou que entre os traços T-IV e T-V não há diferença significativa entre as médias de suas consistências apesar de suas diferentes percentagens de areia de britagem, o traço T-III mostra semelhanças de comportamento entre T-II e (T-IV e T-V). Enquanto T-II se aproxima ao mesmo tempo e T-II e de T-I.

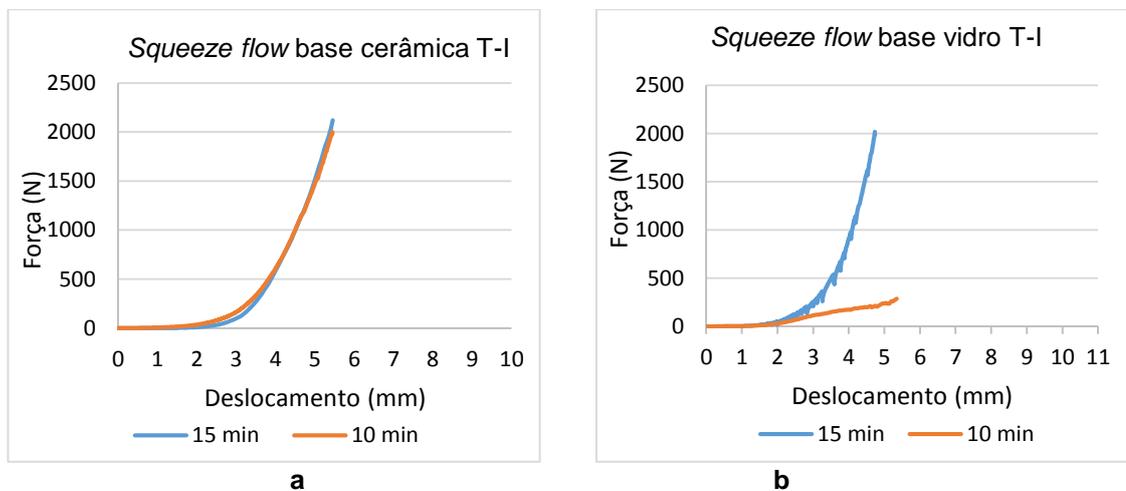
#### 4.2.1.2 Caracterização reológica pelo método de *Squeeze-Flow*

Este ensaio foi realizado conforme a norma NBR 15839 (ABNT, 2010), Nas \Figuras 37 a 41, estão apresentados as curvas resultantes do ensaio de *squeeze flow*.

A opção de ensaiar as argamassas não só sobre uma superfície lisa como determina a norma, mas também sobre a cerâmica com a qual foram confeccionados os painéis utilizados para o ensaio de aderência a tração, permiti uma análise do comportamento inicial das argamassas após a sua aplicação.

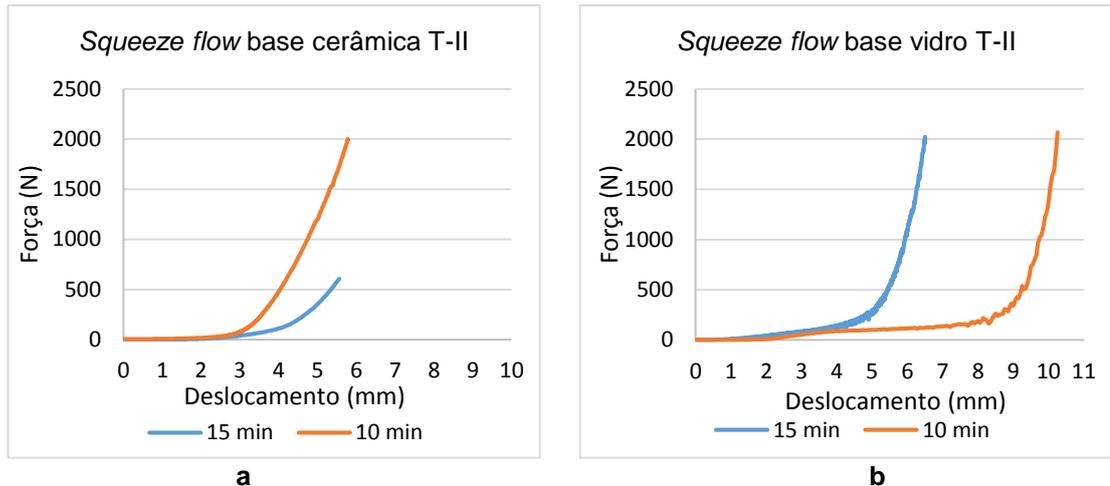
O teste de *squeeze flow*, foi realizado com dois tempos para cada mistura e em duas bases diferentes, de vidro e cerâmica. A velocidade usada foi de 3 mm/s para a argamassa após 10 min de preparo e 0,1 mm/s, para a argamassa após 15 min de preparo.

Pode se observar na Figura 37 que o deslocamento atingido entre 4 mm e 5mm aos 10 min, bem como entre 5 mm e 6 mm na base cerâmica necessita de uma força 4 vezes maior que o mesmo deslocamento atingido na base de vidro para os mesmos tempos e velocidades empregados. Isto é devido ao fato que a cerâmica tem uma absorção de água da argamassa que não acontece na base de vidro, tornando a mesma mais pastosa exigindo maiores forças para o mesmo deslocamento.



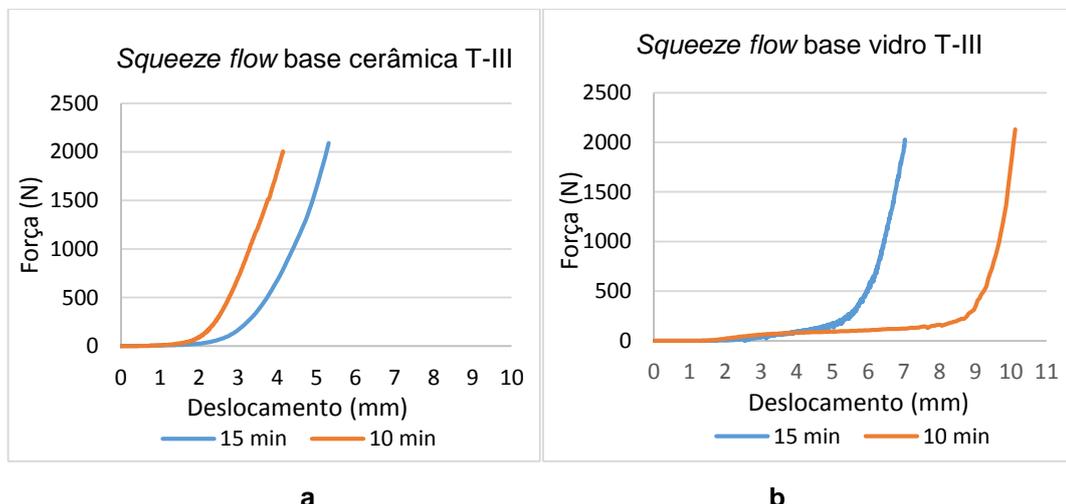
**Figura 37 - Gráficos *squeeze flow*. T-I (a) base cerâmica, (b) base vidro**  
**Fonte: Autoria própria (2016).1**

Na Figura 37, o traço T-I na base cerâmica teve um desempenho igual para os dois tempos de ensaio significando que a perda de água e enrijecimento neste traço é mais lenta do que nos demais. Na base de vidro para 10 min o deslocamento é maior a argamassa sofre uma deformação maior também em função da água de amassamento ainda contida na mesma o que favorece um deslizamento maior, pois com este tempo a argamassa ainda não sofreu tanta perda de água como aos 15 min.



**Figura 38 - Gráficos *squeeze flow*. T-II (a) base cerâmica, (b) base vidro**  
**Fonte: Autoria própria (2016).**

Na Figura 38 o traço T-II com a base cerâmica teve aos 15 min de ensaio um resultado com provável destruição das estruturas das ligações dos materiais componentes do traço da argamassa aconteceu, com pouca força aplicada uma deformação rápida. Na base de vidro aos 10 min a argamassa sofre uma deformação maior que aos 15 min na ordem de 45% a mais, isto deve-se a maior rigidez da argamassa aos 15 min por perda de água durante os 5 min a mais de repouso.

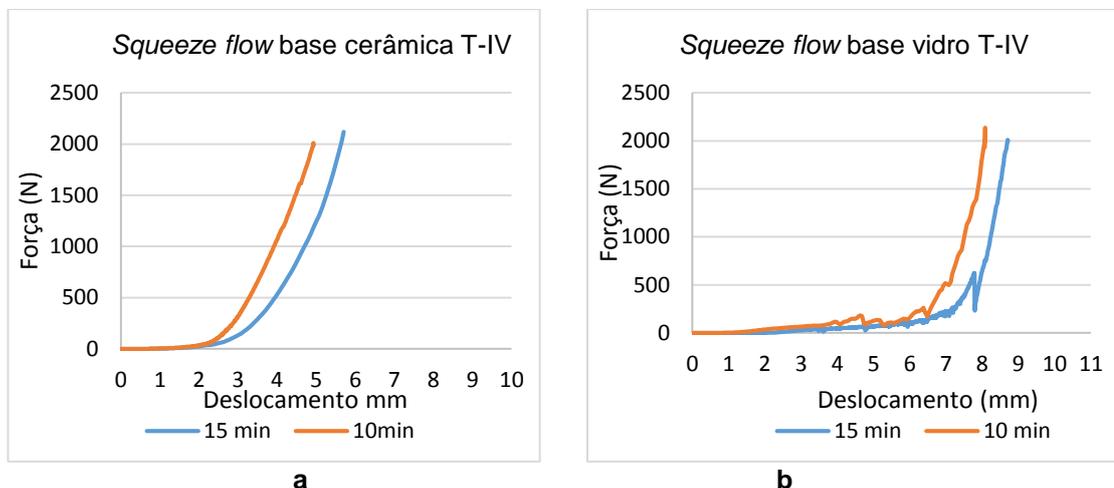


**Figura 39 - Gráficos *squeeze flow*. T-III (a) base cerâmica, (b) base vidro.**  
**Fonte: Autoria própria (2016)**

Na Figura 39 o traço T-III, para os dois tempos analisados 10 min e 15 min, na base cerâmica apresentou um deslocamento como pode-se observar, em função da absorção pela cerâmica, da água retida na argamassa, sobre a qual a mesma foi aplicada provocando assim uma maior rigidez da argamassa mais rápido do que na

placa de vidro, a argamassa na base de vidro apresentou, para os dois tempos analisados um deslocamento maior pois a água retida pela argamassa produz uma maior fluidez da mesma sobre a placa de vidro que não oferece nenhuma condição de absorção da mesma .

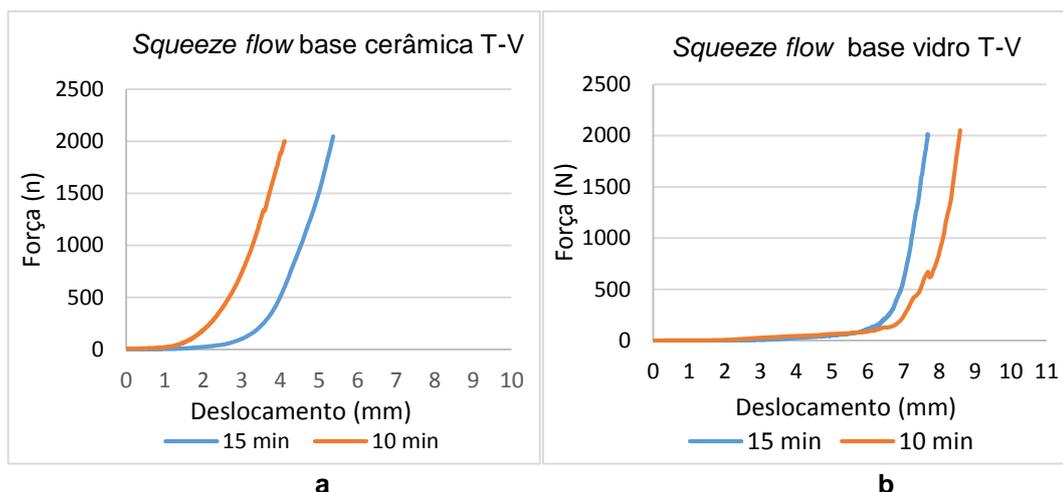
Pode-se observar que aos 15 min o deslocamento é menor na base de vidro em função da perda de água por evaporação da argamassa em repouso, na placa cerâmica acontece o inverso pois aos 15 min essa perda de água por evaporação vai significar menor aderência da argamassa a base, permitindo um maior deslocamento da mesma.



**Figura 40 - Gráficos *squeeze flow* T-IV (a) base cerâmica, (b) base vidro.**  
**Fonte: Autoria própria (2016).**

Na Figura 40 no traço T-IV, o deslocamento foi 1 mm maior que T-III na base cerâmica, pois a retenção de água do mesmo é menor como está apresentado na Figura 43 (gráfico de retenção de água das argamassas) diminuindo a aderência da argamassa ao substrato, na placa de vidro o comportamento da argamassa foi diferenciado em relação aos demais traços deslocando menos aos 10 min do que aos 15 min com uma deformação não uniforme, causada pelos grãos de areia de granulometria maior devido ao aumento no traço da areia de britagem.

Na Figura 41 o traço T-V apresenta deslocamentos semelhantes ao T-IV na base cerâmica começa a sofrer deformações aos 3 mm de deslocamento, chegando ao máximo de deslocamento de 4 mm aos 10 min de aplicação da força e 5 mm de deslocamento aos 15 min de aplicação da força mantendo assim o mesmo desempenho de T-IV.



**Figura 41 - Gráficos *squeeze flow* T-V. (a) base cerâmica, (b) base vidro. Fonte: Autoria própria (2013).**

Na base de vidro o desempenho de T-V e de T-IV, os dois começam a deformação aos 6 mm de deslocamento e interrompe o deslocamento aos 9 mm. Pode-se observar na Figura 41 que T-V também mantém o padrão já descrito para T-I, T-II, e T-IV onde os deslocamentos são maiores aos 15 min na base cerâmica e os mesmos deslocamentos são maiores aos 10 min na base de vidro.

Os resultados dos ensaios das argamassas sobre a placa de vidro no tempo de 15 min para T-I apresenta um início de deformação aos 3,6 mm de deslocamento, T-II, e T-III aos 5,6 mm de deslocamento, e T-IV com 7,9 mm e T-V com 6,8 mm totalizando uma espaço de 4 mm de diferença de T-I, para T-V de deslocamento para início da deformação e um final também de aproximadamente 4 mm de diferença, seguindo o mesmo padrão para as deformações aos 10 min porem com deslocamentos maiores como mostram as Figuras 37 a 41.

Os traços T-II e T-III apresentam uma grande semelhança no desempenho e estão bem próximos do T-V. O T-I e o T-IV tiveram resultados diferentes entre si e também dos demais traços.

Na superfície do vidro a inexistência da absorção da água da argamassa, favorece a permanência da água retida na argamassa mantendo o teor de água, constante para aquele tempo diferentemente da base cerâmica, este fato inverteu o comportamento das composições, pois na argamassa resultante formam-se distâncias Inter partículas maiores, tornando as argamassas menos viscosas.

Isso favorece o escorregamento relativo dos agregados, aumentando consideravelmente a viscosidade das argamassas proporcionando uma maior

deformação com menos carga como pode ser constatados nas Figuras 37(b), 38(b), 39(b), 40(b) e 41(b).

Este fato confirma que o comportamento reológico das argamassas é influenciado pelo teor de água existente nas mesmas, e como a base dos blocos cerâmicos possui uma absorção inicial de 16,22%, conforme Tabela 78 do apêndice E, exerce um papel importante no comportamento reológico da argamassa.

O deslocamento máximo da argamassa na base cerâmica foi de 5,3 mm para o tempo de 15 min no traço T-II, a maior diferença de deslocamento para o tempo de 10 min e 15 min, foi maior para T-III de 1,3 mm, o início da deformação na base cerâmica começa em 2,00 mm para T-II, T-IV e T-V, 3,00 mm para T-II, e 2,5 mm para T-I. O traço T-I composto apenas de areia natural, apresentou o mesmo comportamento para o teste *squeeze flow*, descrevendo a mesma curva para os dois tempos ensaiados como mostra a Figura 37.

Ficou constatado também que a adição da areia de britagem nos traços T-IV e T-V provocou deslizamentos irregulares na base de vidro, pois a curva descrita apresenta saltos não uniformes atribuídos a diferença granulométrica e a textura irregular dos grãos da areia de britagem, conforme se observa nas Figuras 40(b) e 41(b).

#### 4.2.1.3 Densidade de massa e teor de ar incorporado

O ensaio de densidade de massa no estado fresco e teor de ar incorporado, foi realizado com 3 amostras para cada composição e seus resultados estão demonstrados na Tabela 14.

**Tabela 14 - Densidade de massa e teor de ar incorporado nas argamassas no estado fresco. NBR 13278 (ABNT, 2005)**

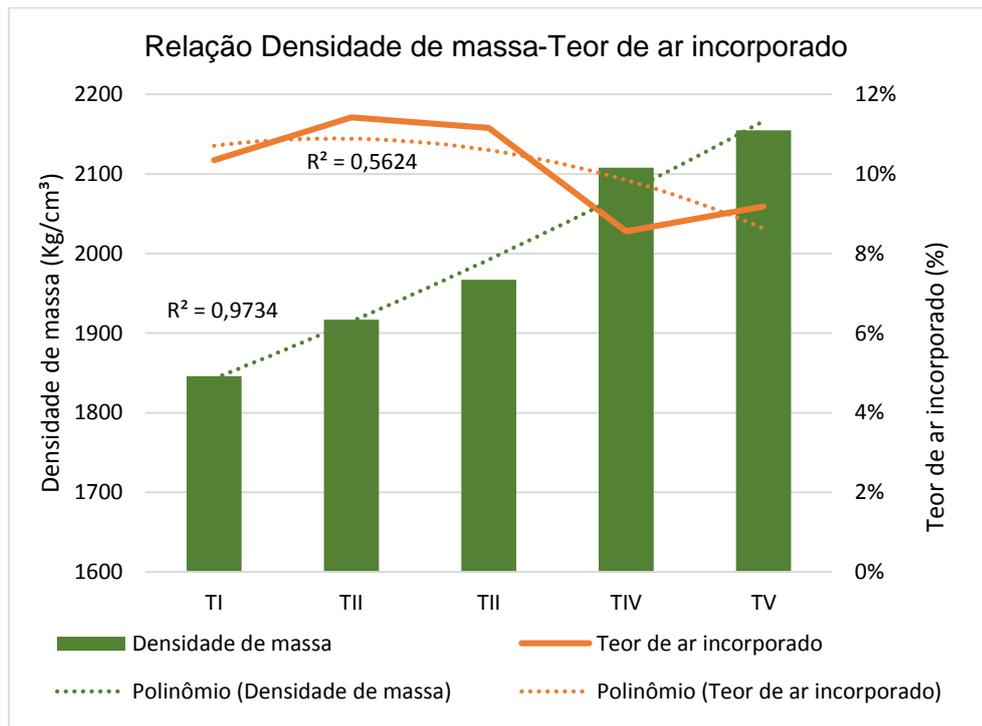
	T-I	T-II	T-III	T-IV	T-V
Densidade de massa (Kg/cm <sup>3</sup> )	1.846,00	1.917,00	1.967,00	2.108,00	2.155,00
Teor de ar incorporado (%)	10	11	11	9	9

**Fonte: Autoria própria (2016)**

Na Tabela 14 está descrito numericamente o aumento da densidade de massa da argamassa no estado fresco conforme aumenta a quantidade de areia de

britagem nas composições isto atribui-se ao fato da massa específica da areia de britagem ser maior ( $2,99 \text{ g/cm}^3$ ) que a da areia natural ( $2,26 \text{ g/cm}^3$ ), o T-I composto somente de areia natural apresenta a menor densidade de massa, e a mesma sobe gradativamente conforme aumenta a quantidade de areia de britagem na composição do traço.

A representação gráfica deste resultados está apresentada na Figura 42.



**Figura 42 - Gráfico da densidade de massa no estado fresco e teor de ar incorporado.**

Fonte: Autoria própria (2016).

Na Figura 42 observa-se que a densidade de massa da argamassa no estado fresco aumenta conforme aumenta a quantidade de areia de britagem na argamassa, diferente do ar incorporado que apresenta seu teor máximo no T-II e T-III. Este aumento da densidade de massa é justificado pois a massa específica da areia de britagem é maior aumentando a sua quantidade aumenta a densidade de massa.

Os valores da densidade encontrados classificam as argamassas conforme a NBR 13281 (ABNT,2005) em D4, para as argamassas T-I, T-II, T-III, e D5 para as argamassas T-IV e T-V.A aplicação da ANOVA mostra que as amostras são significativas, e que a adição gradativa da areia de britagem influenciou no resultado final da densidade de massa das argamassas no estado fresco, com  $F_{\text{calculado}}$  maior que  $F_{\text{crítico}}$ .

A aplicação do teste de Tukey para a densidade de massa da argamassa no estado fresco mostra que o comportamento do traço T-IV e T-V não apresenta diferença significativa entre as médias, apesar das quantidades diferentes de areia de britagem que compõe cada um deles, o mesmo ocorre com T-II e T-II que apresentam comportamentos semelhantes entre si e diferentes de T-IV e T-V, já T-I apresenta um comportamento diferenciado dos demais traços, muito provavelmente pelo fato de ser composto somente com areia natural.

O teor de ar incorporado calculado varia 11% a 9% representando uma variação de 10,18% do maior índice em relação ao menor. Silva (2016) encontrou valores mais baixos que este, seus índices variaram de 0,08% a 3,08%, no entanto seus traços continham cal, e não continham aditivos. Ainda segundo o autor o aumento dos teores de finos, cal e material pulverulento, aumentam o grau de empacotamento do conjunto agregado/aglomerante.

No anexo A, na Tabela fornecida pelo fabricante estão descritos os ensaios realizados para determinar as características físicas e mecânicas do aditivo utilizado nas argamassas, observa-se nesta Tabela que foram ensaiados três traços de argamassa sendo que no traço-2 (1:2); cimento/areia e aditivo, e traço-3 (16) cimento/areia e aditivo, sem a presença da cal, no ensaio de teor de ar incorporado foram encontrados os índices de: traço-2 9,8% e traço-3 8,1% de teor de ar incorporado.

Os valores apresentados pelo fabricante comprovam a possibilidade do aditivo ter contribuído para que as argamassas tenham apresentado valores altos de ar incorporado, O alto teor de ar incorporado contribui no aumento da trabalhabilidade das argamassas, porém pode também ser a causa de porosidade excessiva em argamassas permitindo o aumento de permeabilidade e infiltrações, que por sua vez contribuem com patologias nos revestimentos

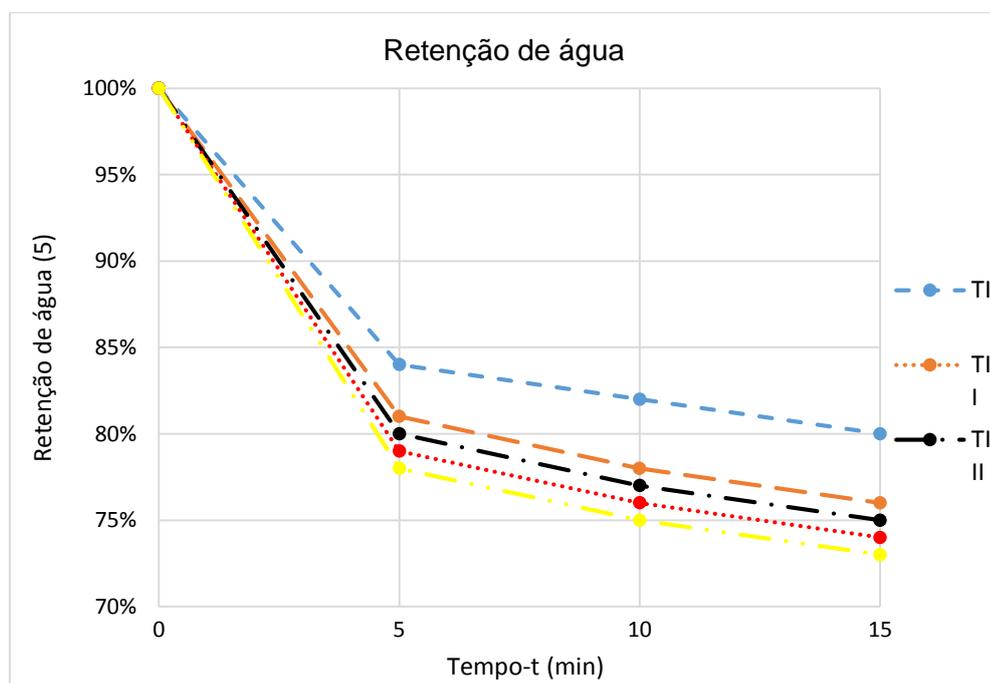
O valor elevado do teor de ar incorporado pode contribuir para a aplicação da argamassa na execução dos revestimentos

A análise estatística, ANOVA, dos dados levantados provam que as amostras são homogêneas em função do seu coeficiente de variância constatando que os diferentes teores de areia de britagem na composição das argamassas, não altera significativamente o teor de ar incorporado nas argamassas, pois  $F_{\text{calculado}}$  (1,32) ficou abaixo de  $F_{\text{crítico}}$  (3,48).

A aplicação do teste de Tukey, comprovou que no fator estatístico os cinco traços de argamassas ensaiados para o teor de ar incorporado não apresentam diferenças significativas ou seja esta propriedade não sofreu alterações significativas com o acréscimo gradativo da areia de britagem em suas composições.

#### 4.2.1.4 Retenção de água

A NBR 13277 (ABNT, 2005), determina que seja feita a pesagem do funil com argamassa para determinação da retenção da água aos 15 min de duração de sucção da bomba ligada, nesta pesquisa foram feitas três pesagens, possibilitando a leitura de três retenções de água aos 5 min, 10 min e 15 min, isto possibilitou a observação da constância e regularidade desta retenção. Na Figura 43 estão representadas as curvas de retenção de água.



**Figura 43 - Curvas de retenção de água das argamassas no estado fresco.**  
**Fonte: Autoria própria (2016)**

Observa-se na Figura 43 que o perfil de T-I (100%) areia natural está um pouco distanciado dos demais, e apresenta o maior nível de retenção de água, nos demais traços quanto maior a quantidade de areia de britagem menor a retenção de água da argamassa. A diminuição da retenção de água é constante, não são constatados variações de leituras, caindo 3% do tempo de leitura 5min para 10 min e

2% do tempo de leitura de 10 min para o tempo de 15 min, nos quatro traços com areia de britagem.

Na Tabela 15 estão descritos os resultados para a retenção de água nas argamassas.

**Tabela 15 - Retenção de água da argamassa no estado fresco NBR 13277 (ABNT, 2005)**

Tempo t(min)	T-I	T-II	T-III	T-IV	T-V
Água retida em (%)					
5	84	81	80	79	78
10	82	78	77	76	75
15	80	76	75	74	73

**Fonte: Autoria própria (2016).**

Os valores apresentados na Tabela 15 variam de 84% a 80% na areia natural, e de 81% a maior retenção no T-II e 73% a menor no T-V, que são compostos por areia de britagem, Silva (2006) obteve valores de 61,80% a 40,15% na areia natural e 69,68% e 47,89% na areia de britagem. Observa-se que para o autor os traços compostos com areia de britagem tiveram uma retenção maior de água do que os traços compostos com areia natural.

Os valores encontrados nesta pesquisa são maiores que os encontrados pelo referido autor em ambas as composições, a diferença entre elas reside no fato de Silva (2006) ter usado cal nas composições dos traços das argamassa, enquanto esta pesquisa substituiu o mesmo por aditivo plastificante, diminuindo assim consideravelmente a quantidade final de finos.

O aumento de perda de água por sucção ou diminuição da retenção desta água na argamassa justifica o fato de, quanto maior a quantidade de areia de britagem na composição menor a retenção de água.

Angelim, R; Angelim, MS e Carasek (2003) afirmam que o aumento no teor de finos aumenta a relação água/cimento das argamassas, contudo nas argamassas de calcário o efeito é inverso, mostrando uma diminuição nos valores em relação a argamassa de referência usada na pesquisa, reforçando assim o resultado obtido nesta pesquisa com menor retenção de água para maior quantidade de areia de britagem de rocha calcária.

A menor retenção de água pela argamassa diminui a sua consistência, este fato pode vir a prejudicar a mesma na hora da aplicação no substrato pois terá a sua

plasticidade também diminuída. No caso desta pesquisa foi adotado o uso do aditivo plastificante com o objetivo de amenizar os efeitos da falta da cal nas argamassas.

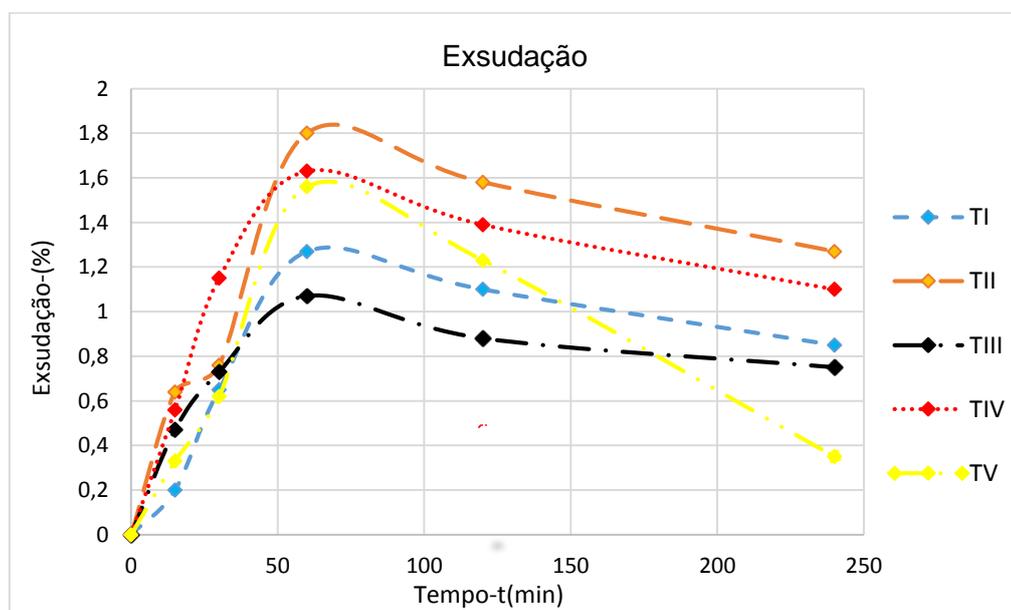
A aplicação da ANOVA no conjunto de dados comprova a validade das amostras pois o desvio padrão manteve-se em torno de 0,02 e o coeficiente de variância em torno de 3, índices baixos que indicam a homogeneidade das amostras, enquanto entre  $F_{\text{calculado}} (3,37)$ ,  $F_{\text{crítico}} (3,47)$  não há diferença significativa.

Na aplicação do teste de Tukey para estas médias, observou-se que mesmo na condição de composições diferentes no item quantidade de areia de britagem e areia natural o T-II, T-III, T-IV estatisticamente não apresentam diferenças, já T-I pode apresentar alguma semelhança com T-II, T-III, T-V, mas não tem semelhanças com T-V, e T-V por sua vez também pode apresentar algum comportamento próximo a T-II, T-III, e T-IV.

Segundo a NBR 13281 (ABNT, 2005) no item retenção de água a classificação dos traços é U2, que abrange a faixa de 72% a 885% o teor de retenção de água.

#### 4.2.1.5 Exsudação

Este ensaio foi realizado com orientação na norma RM-6 (RILEM, 1982), segundo Na Figura 44, está descrita a evolução da exsudação das argamassa analisadas.



**Figura 44 - Exsudação da água nas argamassas no estado fresco, MR (RILEM 1982).**

Fonte: Autoria própria (2016).

Na Figura 44 observa-se pelo gráfico que todas as composições obtiveram um ápice de exsudação no tempo de 60 min, independente da percentagem de areia de britagem de rocha calcária adicionada a composição, concluindo-se assim que o tempo necessário para a argamassa atingir o máximo de sua exsudação não depende da quantidade de areia de britagem usada na composição.

Os resultados observados no gráfico não permitem traçar uma relação entre o aumento de areia de britagem e a diminuição da exsudação, existe sim uma relação entre o tempo de mistura e a diminuição da exsudação, a partir dos 60min esta começa a diminuir, diminuindo com menor intensidade dos 120min aos 180min. Na Tabela 16 estão descritos os valores da exsudação lidas para cada traço nos tempos propostos para o ensaio.

**Tabela 16 - Exsudação da argamassa no estado fresco. RM-6 (RILEM, 1982)**

Tempo t(min)	(% Exsudada em relação a água de amassamento)				
	T-I	T-II	T-III	T-IV	T-V
15	0,20	0,64	0,47	0,56	0,33
30	0,52	0,76	0,73	1,15	0,62
60	1,27	1,80	1,07	1,63	1,56
120	1,10	1,58	0,88	1,39	1,23
240	0,85	1,27	0,75	1,10	0,35
Média	0,814	1,21	0,7	1,166	0,818

**Fonte: Autoria própria (2016).**

Analisando os resultados da Tabela 16 constata-se que a composição com maior percentagem de areia de britagem não é a que apresenta maior índice de exsudação aos 60min, está exsudação máxima ocorre no traço T-II, composto por 80% de areia natural e 20% de areia de britagem, seguido do T-IV, T-V, T-I e T-III. Os traços T-I, T-II, T-II, T-V se mantem praticamente constantes após os 60 min, apenas o T-V sofre uma queda brusca dos 120 min para os 240 min. A maior média de exsudação ocorre com o traço T-IV, composto por 40% areia natural e 60% de areia de britagem.

A análise estatística feita pela ANOVA mostra que o aumento gradativo de areia de britagem nas composições, não influenciou o resultado final da exsudação pois  $F_{\text{calculado}}$  (1,89) ficou abaixo de  $F_{\text{crítico}}$  (2,67). O teste de Tukey comprovou que pelo comportamento dos traços não há diferença significativa das amostras, com aumento gradativo da areia de britagem nas composições.

## 4.2.2 Argamassas no Estado Endurecido

### 4.2.2.1 Análise das argamassas por difratometria de raios X após o endurecimento

A difratometria permitiu o levantamento das diferentes composições químicas que se formaram nas argamassas após a pega e cura das mesmas em função das diferentes percentagens de areias que compõe os traços Os Quadros 14, 15 e 16, estão descritos as principais composições formados em cada um dos traços.

Código	Formula química	Nome do composto
<b>T-I</b>		
330306	$1,5\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$	Silicato de cálcio hidratado
461045	$\text{SiO}_2$	Quartzo
130272	$\text{Ca}_{54}\text{Mg Al}_2 \text{Si}_{16}\text{O}_{90}$	Silicato óxido de alumínio, magnésio e cálcio
421410	$\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$	Sulfato de alumínio
070326	$\text{CaAl}_2\text{Si}_4\text{O}_{12} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Wairalkite
120739	$\text{Ca H}_4\text{Si}_2\text{O}_7$	Silicato de hidrogénio e cálcio
200452	$\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8 \cdot 4(\text{H}_2\text{O})$	Gisnondine
250123	$\text{Ca}_2\text{Al}(\text{SiAl})\text{O}_7$	Gehlenite
290329	$\text{Ca}_5\text{Si}_6\text{O}_{16}(\text{OH})_2$	Tobemorite,9A
290331	$\text{Ca}_5\text{Si}_6\text{O}_{16}(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	Tobemorite-14A
431488	$\text{Ca}_5\text{Si}_6\text{O}_{15}(\text{OH})_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Hidróxido de silicato de cálcio
380360	$\text{SiO}_2$	Moganite
380449	$\text{Al}_2\text{O}_3(2\text{SiO}_2)3\text{H}_2\text{O}$	Alofa
<b>T-II</b>		
380860	$\text{SiO}_2$	Moganite
380449	$\text{Al}_2\text{O}_3(2\text{SiO}_2)3\text{H}_2\text{O}$	Alofa
451045	$\text{SiO}_2$	Quartzo
110078	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	Dolomita
240027	$\text{CaCO}_3$	Calcita
291489	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Haloisita hidratada
030596	$\text{CaCO}_3$	Calcita
070326	$\text{CaAl}_2\text{Si}_4\text{O}_{12} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Wairalkite
120739	$\text{Ca H}_4\text{Si}_2\text{O}_7$	Silicato de hidrogénio e cálcio
130272	$\text{Ca}_{54}\text{Mg Al}_2 \text{Si}_{16}\text{O}_{90}$	Silicato óxido de alumínio, magnésio e cálcio
140083	$\text{Ca}_4\text{Al}_2\text{CO}_9 \cdot 11\text{H}_2\text{O}$	Óxido de cálcio e alumínio
170536	$\text{Fe}^{+3}(\text{OH})$	Goethite
190052	$\text{Ca}_5\text{Si}_5\text{Al}(\text{OH})_{17} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	Torbermorite de alumínio
200452	$\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8 \cdot 4(\text{H}_2\text{O})$	Gisnondine
250123	$\text{Ca}_2\text{Al}(\text{SiAl})\text{O}_7$	Gehlenite
271064	$\text{CaSiO}_3$	Wallastonite\IT1\RG
290329	$\text{Ca}_5\text{Si}_6\text{O}_{16}(\text{OH})_2$	Tobemorite,9A
330306	$1, 5\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$	Silicato de cálcio hidratado

**Quadro 14 - Fases observadas na composição do traço T-I e T-II**

Fonte: Autoria própria (2016)

No Quadro 15 estão descritas as fases encontradas nas composições formadas pelas argamassa de traços T-III e T-IV

Código	Formula química	Nome do composto
<b>T-III</b>		
110078	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	Dolomita
240027	$\text{CaCO}_3$	Calcita
291489	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Haloisita hidratada
461045	$\text{SiO}_2$	Quartzo
380360	$\text{SiO}_2$	Moganite
380449	$\text{Al}_2\text{O}_3(2\text{SiO}_2)3\text{H}_2\text{O}$	Alofa
030596	$\text{CaCO}_3$	Calcita
070326	$\text{CaAl}_2\text{Si}_4\text{O}_{12} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Wairalkite
120739	$\text{Ca H}_4\text{Si}_2\text{O}_7$	Silicato de hidrogénio e cálcio
130272	$\text{Ca}_{54}\text{Mg Al}_2 \text{Si}_{16}\text{O}_{90}$	Silicato óxido de alumínio, magnésio e cálcio
140083	$\text{Ca}_4\text{Al}_2\text{CO}_9 \cdot 11\text{H}_2\text{O}$	Óxido de cálcio e alumínio
190052	$\text{Ca}_5\text{Si}_5\text{Al}(\text{OH})_{0.17.5}\text{H}_2\text{O}$	Torbermorite de alumínio
200452	$\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8 \cdot 4(\text{H}_2\text{O})$	Gisnondine
210133	$\text{CaAl}_2\text{Si}_7\text{O}_{18} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Silicato de Cálcio e alumínio
250123	$\text{Ca}_2\text{Al}(\text{SiAl})\text{O}_7$	Gehlenite
271064	$\text{CaSiO}_3$	Wallastonite\IT1\RG
290329	$\text{Ca}_5\text{Si}_6\text{O}_{16}(\text{OH})_2$	Tobemorite,9A
290331	$\text{Ca}_5\text{Si}_6\text{O}_{16}(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	Tobemorite-14A
330306	$1, 5\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$	Silicato de cálcio hidratado
<b>T-IV</b>		
380360	$\text{SiO}_2$	Moganite
380449	$\text{Al}_2\text{O}_3(2\text{SiO}_2)3\text{H}_2\text{O}$	Alofa
461045	$\text{SiO}_2$	Quartzo
110078	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	Dolomita
240027	$\text{CaCO}_3$	Calcita
291489	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Haloisita hidratada
030596	$\text{CaCO}_3$	Calcita
070326	$\text{CaAl}_2\text{Si}_4\text{O}_{12} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Wairalkite
120739	$\text{Ca H}_4\text{Si}_2\text{O}_7$	Silicato de hidrogénio e cálcio
130272	$\text{Ca}_{54}\text{Mg Al}_2 \text{Si}_{16}\text{O}_{90}$	Silicato óxido de alumínio, magnésio e cálcio
140083	$\text{Ca}_4\text{Al}_2\text{CO}_9 \cdot 11\text{H}_2\text{O}$	Óxido de cálcio e alumínio
170536	$\text{Fe}^{+3}(\text{OH})$	Goethite
190052	$\text{Ca}_5\text{Si}_5\text{Al}(\text{OH})_{0.17.5}\text{H}_2\text{O}$	Torbermorite de alumínio
200452	$\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8 \cdot 4(\text{H}_2\text{O})$	Gisnondine
210133	$\text{CaAl}_2\text{Si}_7\text{O}_{18} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Silicato de Cálcio e alumínio
250123	$\text{Ca}_2\text{Al}(\text{SiAl})\text{O}_7$	Gehlenite
271064	$\text{CaSiO}_3$	Wallastonite\IT1\RG
290329	$\text{Ca}_5\text{Si}_6\text{O}_{16}(\text{OH})_2$	Tobemorite,9A
290331	$\text{Ca}_5\text{Si}_6\text{O}_{16}(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	Tobemorite-14A

**Quadro 15 - Fases observadas na composição do traço T- T-III e T-IV**  
**Fonte: Autoria própria (2016)**

No Quadro 16 estão descritas as fases encontradas nas composições formadas pelas argamassa de traços T-V.

	Formula química	Nome do composto
<b>T-V</b>		
030596	CaCo <sub>3</sub>	Calcita
070326	CaAl <sub>2</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>12</sub> .2H <sub>2</sub> O	Wairalkite
120739	Ca H <sub>4</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	Silicato de hidrogénio e cálcio
140083	Ca <sub>4</sub> Al <sub>2</sub> CO <sub>9</sub> .11H <sub>2</sub> O	Óxido de cálcio e alumínio
170536	Fe+30(OH)	Goethite
190052	Ca <sub>5</sub> Si <sub>5</sub> Al(OH) <sub>0</sub> 17.5H <sub>2</sub> O	Torbermorite de alumínio
200452	CaAl <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>8</sub> .4(H <sub>2</sub> O)	Gisnondine
210133	CaAl <sub>2</sub> Si <sub>7</sub> O <sub>18</sub> .2H <sub>2</sub> O	Silicato de Cálcio e alumínio
250123	Ca <sub>2</sub> Al(SiAl)O <sub>7</sub>	Gehlenite
271064	CaSiO <sub>3</sub>	Wallastonite\IT1\RG
290329	Ca <sub>5</sub> Si <sub>6</sub> O <sub>16</sub> (OH) <sub>2</sub>	Tobemorite,9A
290331	Ca <sub>5</sub> Si <sub>6</sub> O <sub>16</sub> (OH) <sub>2</sub> .8H <sub>2</sub> O	Tobemorite-14A
330306	1, 5CaO.SiO <sub>2</sub> .xH <sub>2</sub> O	Silicato de cálcio hidratado
350469	Ca(Si <sub>6</sub> Al <sub>2</sub> )O <sub>16</sub> .5H <sub>2</sub> O	Goosecreekite
421410	Al <sub>2</sub> (SiO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	Sulfato de alumínio
431488	Ca <sub>5</sub> Si <sub>6</sub> O <sub>15</sub> (OH) <sub>3</sub> .2H <sub>2</sub> O	Hidróxido de silicato de cálcio
461045	SiO <sub>2</sub>	Quartzo
110078	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Dolomita

**Quadro 16 - Fases observadas na composição do traço T-V.**  
**Fonte: Autoria própria (2016)**

Na análise dos Quadros 14 e 15 e 16, observa-se as mudanças na formação das composições em T-I o quartzo incide com mais constância do que o cálcio embora este também apareça em várias composições. A medida que se aumenta a quantidade de areia de britagem no traço o quartzo vai diminuindo nas composições e em T-V surge apenas uma incidência de quartzo, uma de ferro e uma de alumínio.

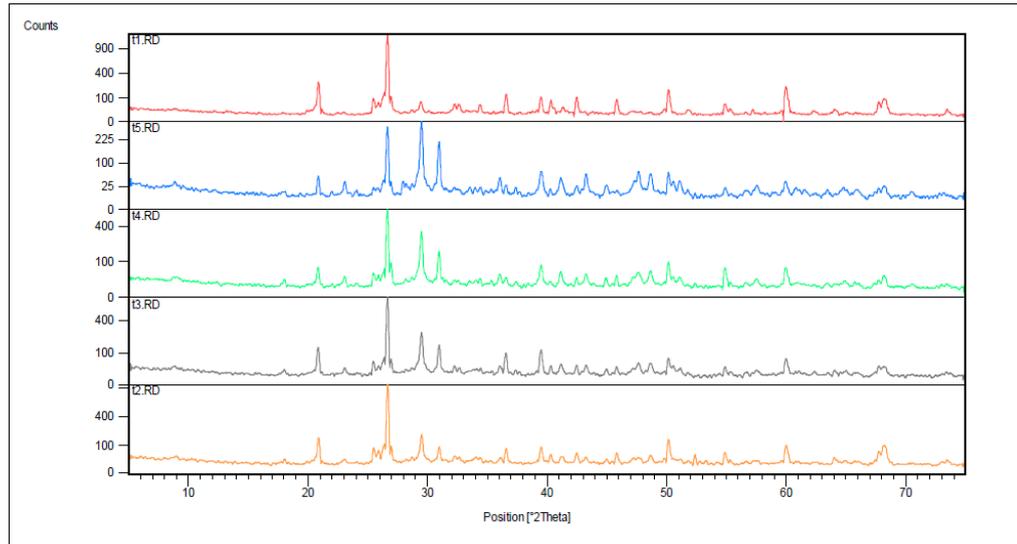
As demais (15 composições) as quais a difratometria consegue detectar, tem cálcio em sua formula.

Observa-se nos difratogramas dos 5 traços que houve uma queda no pico do quartzo e também no da calcita e dolomita apresentados nos difratogramas das areias Figura 34 pagina 98, em função da adição do cimento e seus componentes que reagiram com os componentes das areias e formaram outros compostos.

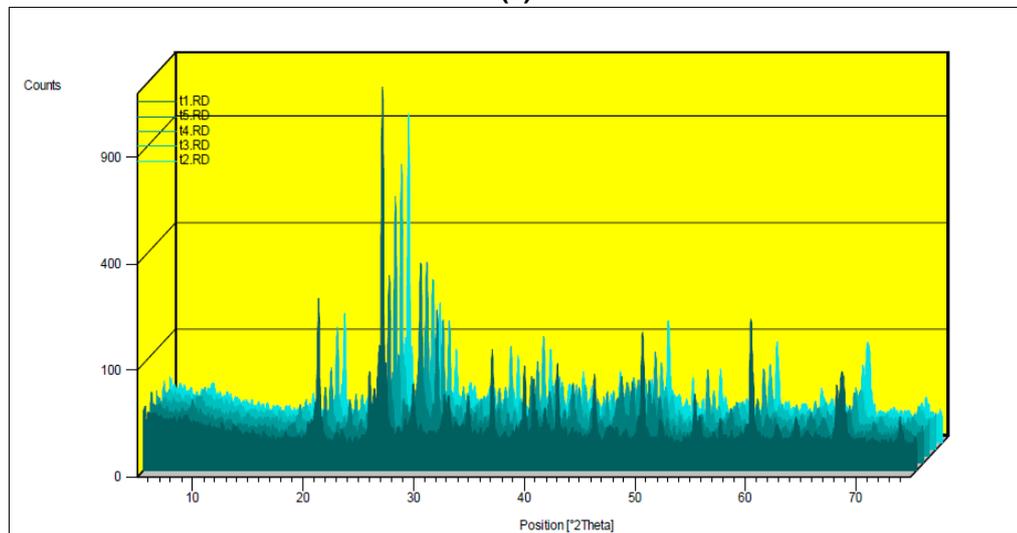
Os componentes de cada areia reagem de forma diferenciada com os componentes do cimento em função disto os difratogramas diferem para cada traço.

Na Figura 45(a) estão representados os difratogramas dos 5 (cinco) traços de argamassas usados na pesquisa, que permite uma visualização dos componentes que surgiram nas argamassas com o aumento da areia de britagem de rocha calcária. e na Figura 45(b) estes difratogramas estão apresentados em 3D. onde pode-se observar os maiores picos de cada traço.

Os difratogramas individuais de cada argamassa estão apresentados no apêndice D pág. 274



(a)



(b)

**Figura 45- Comparação das difratometria entre os traços, (a) no plano, (b) em 3D**  
**Fonte: Autoria própria e (2016)**

Na Figura 45(a) observa-se as diferenças existentes entre os difratogramas (estes estão na ordem do superior para o inferior, T-V, T-I, T-II, T-III e T-IV), os picos máximos não acontecem na mesma posição do eixo X, onde se registra o ângulo teta de leitura dos componentes dos traços, T-I o primeiro apresentado possui um pico de maior relevância, como este traço e composto apenas por areia natural este pico tem a sua maior concentração de quartzo como mostra o Quadro 12. Este pico não apresenta a mesma amplitude que o quartzo na areia natural pois já sofreu interferência do cimento na pega e cura da argamassa.

O segundo difratograma da Figura 45(a) é de T-V, este traço é o de maior concentração de areia de britagem de rocha calcária, os picos estão distribuídos mais

uniforme e de menor amplitude, este difratograma assemelha-se mais ao da areia de britagem da e suas composições, tem cálcio em sua maioria.

Na Figura 45(b), os difratogramas em 3D, observa-se com mais clareza as diferenças entre os picos máximos dos traços. Em primeiro plano o T-I apresenta o maior pico de todos no T-V o quartzo aparece em apenas um dos três picos mais significativos. A amplitude dos picos decresce do T-I para o T-V.

Existem diferenças significativas nas composições apresentadas nos Quadros 12 e 13, que podem ser analisadas também nos difratogramas com seus pico e suas amplitudes. Como a única variante nos traços é a quantidade de areia de britagem em cada um, conclui-se que esta areia possui componentes químicos capaz de alterar a mistura influenciando a pega e cura das argamassas.

4.2.2.2 Absorção de água por capilaridade e coeficiente de capilaridade

Este ensaio foi realizado conforme a NBR 15259 (ABNT, 2005) que determina o índice de capilaridade, da absorção de água, e o modo de ruptura dos corpos de prova para a leitura e mediada da ascensão capilar da água na argamassa. Na Figura 46(a) está demonstrado o coeficiente de capilaridade dos traços e na Figura 46(b) a ascensão capilar da água nos corpos de prova.

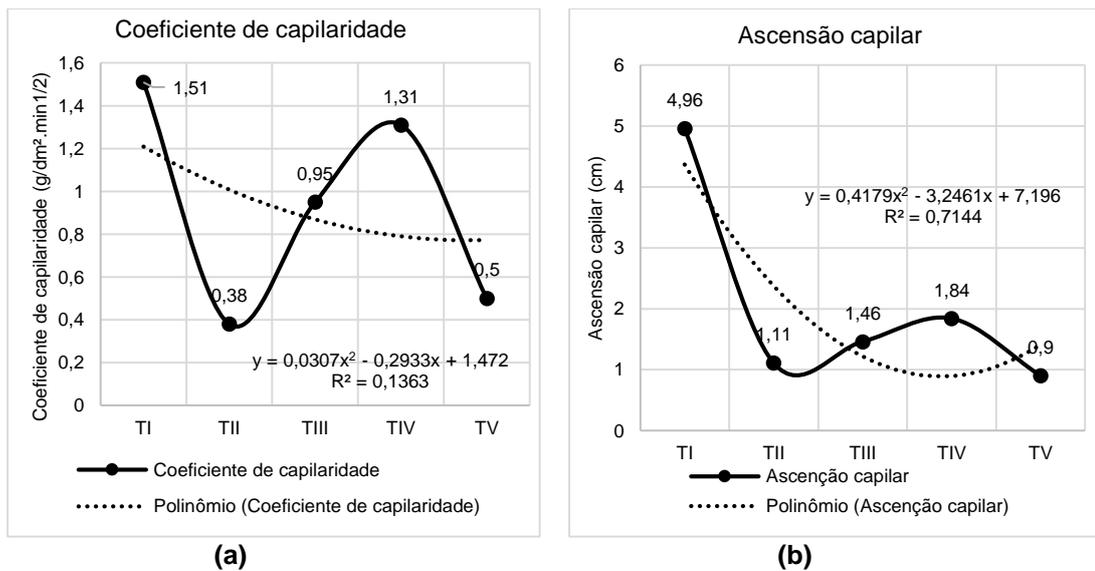


Figura 46 - (a) coeficiente capilar, (b), ascensão capilar.  
 Fonte: Autoria própria (2016).

Observa-se na Figura 46(a) e (b) que o coeficiente de capilaridade e a ascensão capilar tem um comportamento semelhante para os respectivos traços, ou seja T-I apresenta o maior coeficiente de capilaridade dos cinco traços e também a maior ascensão capilar, o coeficiente de capilaridade baixa na ordem de 300% de T-I para T-II. A ascensão capilar também baixa de T-I para T-II na ordem de 300%. Estes valores aumenta em T-III e T-IV, para o coeficiente capilar na ordem de 150% e para a ascensão capilar em torno de 30% apresentando uma queda de 60% para o coeficiente de capilaridade e 50% para a ascensão capilar do T-IV para o T-V.

A característica da areia natural, mais arredondada e uniforme que a areia de britagem, mais irregular e rugosa, conforme já discutido na análise do MEV, faz com que a elas criem interligações e poros diferenciados nas argamassas. A uniformidade da areia natural, pode criar poros mais constantes sem muitas interrupções e com isso diâmetros capilares menores permitindo uma maior ascensão da água.

A areia de britagem por sua vez apesar de apresentar uma maior quantidade de finos estes apresentam maior irregularidade de forma, tamanho e rugosidade, cria poros mais irregulares e interrompidos dificultando a ascensão da água no seu interior, isto explica o fenômeno de ascensão capilar e o coeficiente de capilaridade serem maiores em T-I composto apenas de areia natural como agregado.

Estas diferenças apresentadas pela análise das médias e dos gráficos não é confirmada pela análise estatística ANOVA que mostrou um  $F_{\text{calculado}}$  (2,54) praticamente igual ao  $F_{\text{crítico}}$  (2,75) provando assim que o uso da areia de britagem nas argamassas não alterou estas características, o teste de Tukey também provou a igualdade de comportamento para todos os traços testados.

A classificação destas argamassas segundo a NBR 13281 (ABNT, 2005) quanto ao coeficiente de capilaridade é na categoria C1.

Na Tabela 17 estão descritas as médias dos valores da absorção de água para cada conjunto de corpos de prova em cada tempo de leitura

**Tabela 17 - Absorção de água por capilaridade e NBR 15259 (ABNT, 20015)**

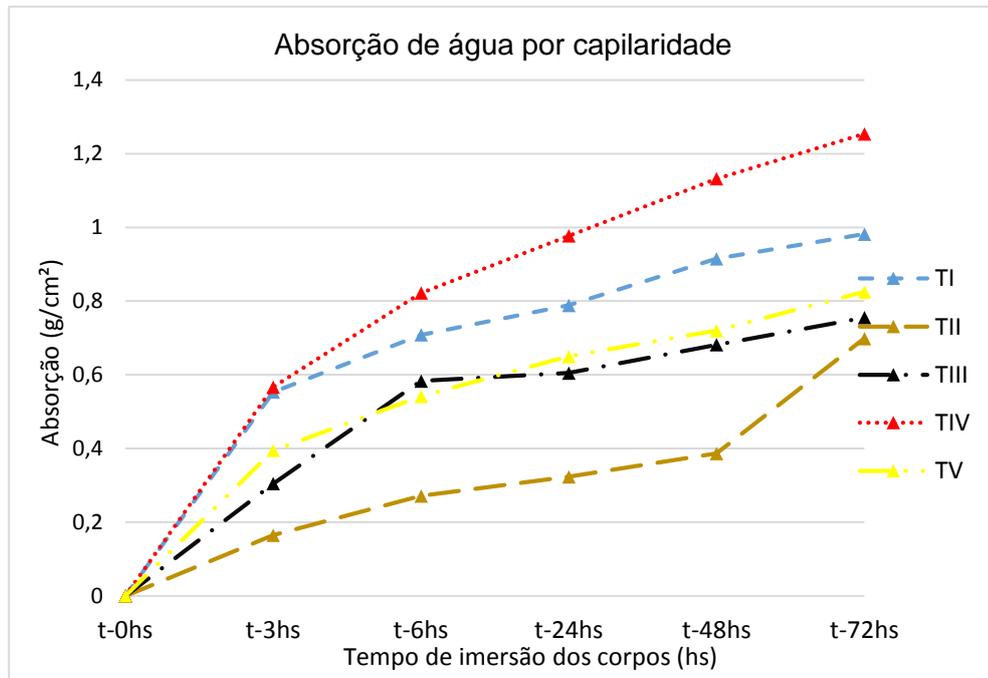
	T-I	T-II	T-III	T-IV	T-V
Absorção (g/cm <sup>2</sup> )					
t-3hs	0,55 <sup>a</sup>	0,17 <sup>a</sup>	0,31 <sup>a</sup>	0,57 <sup>a</sup>	0,40 <sup>a</sup>
t-6hs	0,71 <sup>a</sup>	0,27 <sup>a</sup>	0,58 <sup>a</sup>	0,82 <sup>a</sup>	0,54 <sup>a</sup>
t-24hs	0,79 <sup>a</sup>	0,32 <sup>a</sup>	0,61 <sup>a</sup>	0,98 <sup>a</sup>	0,65 <sup>a</sup>
t-48hs	0,92 <sup>ab</sup>	0,39 <sup>b</sup>	0,68 <sup>ab</sup>	1,13 <sup>a</sup>	0,72 <sup>ab</sup>
t-72hs	0,98 <sup>a</sup>	0,70 <sup>a</sup>	0,76 <sup>a</sup>	1,25 <sup>a</sup>	0,83 <sup>a</sup>

Teste de Tukey com 95% de confiança

Fonte: Autoria própria (2016)

Analisando os valores da Tabela 17 constata-se que a diferença do traço de menor absorção T-II para o traço de maior absorção T-IV é em média de 200%.

A Figura 49 descreve o comportamento dos 5 traços estudados em relação a absorção de água pelos mesmos.



**Figura 47 - Absorção de água por capilaridade.**  
**Fonte: Autoria própria (2016)**

Observa-se no gráfico da Figura 47 que o traço T-IV alcançou a maior absorção entre todos os traços seguido do T-I, T-V, T-III e T-II, os resultados da absorção por capilaridade não seguem a mesma proporção dos índices de capilaridade e da absorção capilar. Já foi discutido anteriormente que a ascensão capilar acontece por meio de uma força da água para vencer uma determinada altura e esta força é inversamente proporcional ao diâmetro do capilar aonde ela ocorre, porém a maior distância percorrida pela água não significa, maior quantidade de água absorvida.

Para Nakakura e Cincotto (2004) o ensaio de capilaridade relaciona-se à permeabilidade enquanto o ensaio de absorção de água está ligada ao volume de vazios ou poros da argamassa. Visto que este volume de vazios está relacionado com a forma das partículas e o tipo de ligação que ocorre entre elas constata-se que no T-IV onde ocorre a maior absorção em volume de água pode estar ocorrendo ligações diferenciadas das partículas em função das areias de diferente texturas.

Na análise estatística da ANOVA feita para cada horário de leitura da absorção nos corpos de prova constatou-se que a areia de britagem nas argamassas não influenciou a absorção por capilaridade das argamassas, pois para todas os traços obteve-se um  $F_{\text{calculado}}$  menor que o  $F_{\text{crítico}}$ , resultado não significativo. O teste de Tukey mostrou uma igualdade de comportamento das argamassa para os horários de leitura de 3hs, 6hs, 24hs, e 72hs. Apenas nos dados colhidos da absorção às 48hs mostra um comportamento diferenciado dos traços, onde T-I, T-III, T-IV apresentam um mesmo comportamento Enquanto T-II e T-V, apresentam comportamentos diferenciados entre si e também dos demais.

#### 4.2.2.3 Absorção de água, índice de vazios e massa específica

O ensaio de absorção por imersão, permite calcular a absorção total de água, a massa específica da amostra seca, massa específica da amostra saturada massa específica real e índice de vazios da argamassa no estado endurecido. Na Figura 50 está demonstrado a absorção de água por imersão e o índice de vazios.

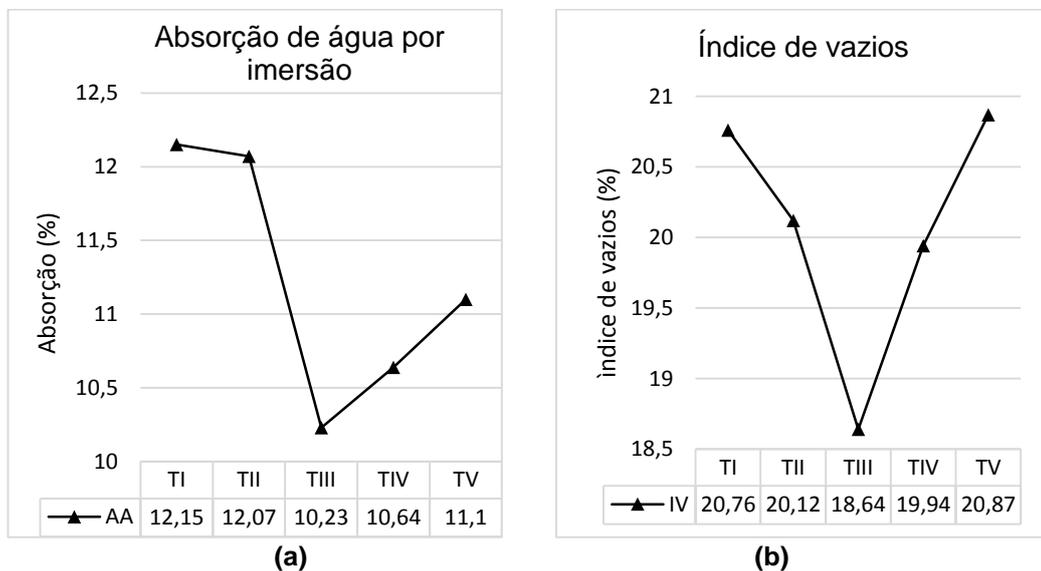


Figura 48 - (a) absorção por imersão; (b) índice de vazios.  
Fonte: Autoria própria (2016).

Na Figura 48 pode-se observar que a absorção de água é diretamente proporcional ao índice de vazios de cada argamassa. Quarcioni *et. al.* (2009) diz que a quantidade de água absorvida por um material está associada ao índice de vazios

presentes em sua microestrutura, que por sua vez, determina a permeabilidade do material

Observa-se na Figura 48, que o T-III é o traço que apresenta o menor índice de vazios e o que absorve menos água de todos os cinco traços estudados. Já o T-I é o que mais absorve água. No estado endurecido argamassas com maior teor de finos, podem comportar-se de forma a apresentar um menor índice de vazios, este fato gera o uma diminuição do volume de vazios durante o processo de cura da argamassa.

Observando as curvas granulométricas da Figura 32, pode-se concluir que o T-III é o único traço que apresenta uma composição granulométrica dentro dos limites das zonas ótimas inferior e superior descritas pela norma. O fato deste traço estar composto pela granulometria de desempenho adequado em relação a todos os cinco traços, explica o seu melhor desempenho no fator índice de vazios, e também apresentar a absorção de água inferior a todos os outros.

A análise da ANOVA mostra que a adição de areia de britagem nos traços não influenciou nos resultados finais do índice de vazios e nem na absorção da água pois  $F_{\text{calculado}}$  em ambos os casos para o índice de vazios 1,66 e para a absorção de água 1,36 ficou menor que o  $F_{\text{crítico}}$  2,75 para os dois índices. No teste de Tukey realizado para os cinco traços, estes não apresentam diferenças de comportamento para os indicadores índice de vazios e absorção de água apesar da diferença das quantidades de areia de britagem em cada um deles.

Analisando o coeficiente de variância destes testes estatísticos observa-se que as amostras são confiáveis para o índice de vazios pois o mesmo encontra-se no intervalo de 2,83% a 12,66% mostrando a homogeneidade das amostras para este teste. Já para a absorção de água o traço T-II resultou em um coeficiente de variância de 32,11%, enquanto os outros traços tiveram uma variação de 3,37% a 10,85%. Conclui-se assim que as amostras do T-II não apresentaram uma homogeneidade total nos resultados obtidos no teste de absorção total da água.

Na Tabela 18 e na Figura 51 estão descritos os resultados obtidos para o índice de vazios, absorção total e as massas específicas secas saturadas e real.

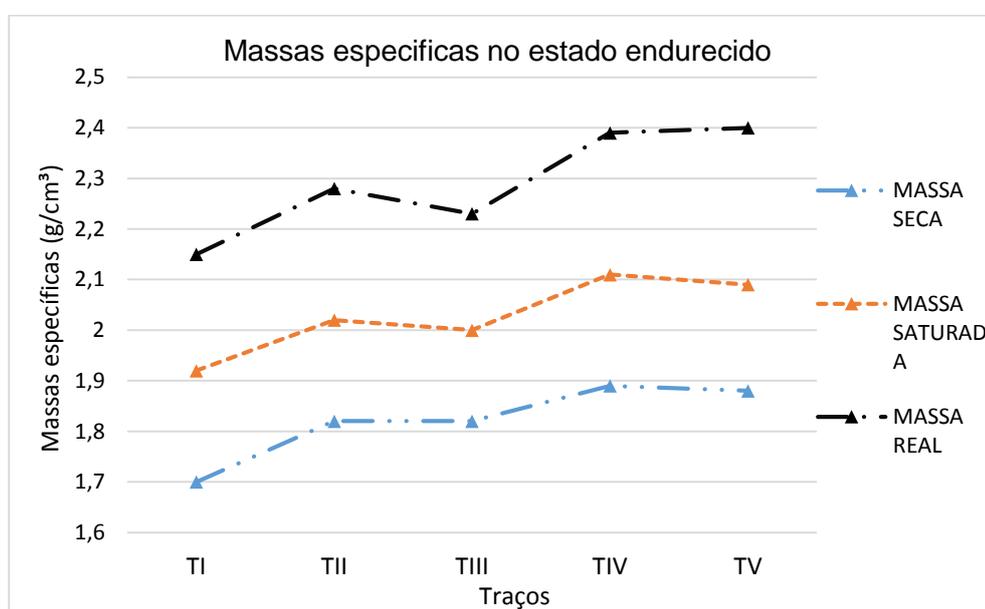
**Tabela 18 - Absorção por imersão, índice de vazios, massa específica NBR 977(ABNT, 2005), e**

Traços	T-I	T-II	T-III	T-IV	T-V
Absorção por imersão (%)	12,15 <sup>a</sup>	12,07 <sup>a</sup>	10,23 <sup>a</sup>	10,64 <sup>a</sup>	11,1 <sup>a</sup>
Índice de vazios (%)	20,76 <sup>a</sup>	20,12 <sup>a</sup>	1,64 <sup>a</sup>	19,94 <sup>a</sup>	20,86 <sup>a</sup>
M. específica. Seca (g/cm <sup>3</sup> )	1,70 <sup>a</sup>	1,82 <sup>a</sup>	1,82 <sup>b</sup>	1,89 <sup>b</sup>	1,87 <sup>c</sup>
M. específica saturada (g/cm <sup>3</sup> )	1,92 <sup>a</sup>	2,02 <sup>a</sup>	2,00 <sup>b</sup>	2,11 <sup>b</sup>	2,09 <sup>b</sup>
M. específica real (g/cm <sup>3</sup> )	2,15 <sup>a</sup>	2,28 <sup>a</sup>	2,23 <sup>b</sup>	2,39 <sup>b</sup>	2,40 <sup>c</sup>

Teste de Tukey com 95% de confiança

Fonte: Autoria própria, (2016).

Observa-se na Tabela 18 que a massa específica seca é a menor para todos os traços e a massa específica real é a maior para todos os traços. Na Figura 51 estes valores estão representados em forma de gráficos.



**Figura 49 - Massa específica seca, massa específica saturada e massa específica real da argamassa no estado endurecido.**

Fonte: Autoria própria (2016).

Pode-se observar na Figura 49 que as massas específicas seca, saturada e real aumentam conforme aumenta a quantidade de areia de britagem no traço, isto se deve ao fato da massa específica da areia de britagem ser maior (2,99 g/cm<sup>3</sup>), enquanto a massa específica da areia natural é menor (2,26 g/cm<sup>3</sup>).

Observa-se um aumento das massas específicas, da seca para a saturada e para a real, porém elas mantem o mesmo comportamento ou seja este aumento e proporcional e semelhante para cada traço de argamassa nas três massas específicas. O traço três apresenta um comportamento diferenciado das demais quebrando a linearidade de crescimento das massas. A variação total e de 0,70 g/cm<sup>3</sup>,

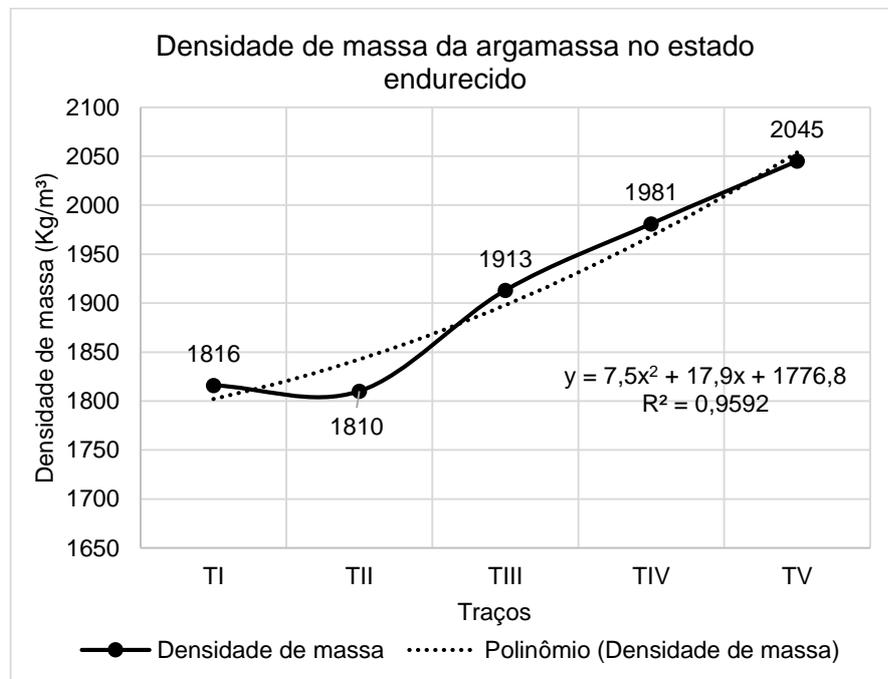
sendo a massa específica seca do T-I  $1,70 \text{ g/cm}^3$  e a massa específica real de T-V  $3,40 \text{ g/cm}^3$

A análise da ANOVA comprova a influência da adição da ABRC nos traços, pois para as três situações  $F_{\text{calculado}}$  é maior que  $F_{\text{crítico}}$ . O coeficiente de variação oscilou de 0,69% a 3,78% estes valores demonstram a homogeneidade das amostras ensaiadas, comprovando a credibilidade do ensaio.

O teste de Tukey revela o comportamento dos traços, sendo que o T-I e T-II comportam-se igual para as três situações calculadas, o traço T-III se comporta da mesma maneira para as três situações e igual ao traço T-IV para as massas secas a saturadas, O traço T-IV tem um comportamento semelhante ao três para a massa específica real, já o traço T-V tem comportamento diferente dos demais para a massa seca e saturada e semelhante ao T-IV para massa real.

#### 4.2.2.4 Densidade de massa no estado endurecido

Este ensaio foi realizado conforme a NBR 13280 (ABNT, 2005), e seus resultados estão demonstrados na Figura 50



**Figura 50 - Densidade de massa da argamassa no estado endurecido.**  
 Fonte: Autoria própria (2016).

Observa-se na Figura 50 que quanto maior a quantidade de areia de britagem no traço maior a densidade de massa. Um dos fatores que influenciam este resultado é o aumento dos finos na argamassa que preenche os poros da argamassa aumentando assim seu peso, pois conforme a NBR 13280 (ABNT, 2005) a densidade de massa é a relação da massa do corpo pelo seu volume.

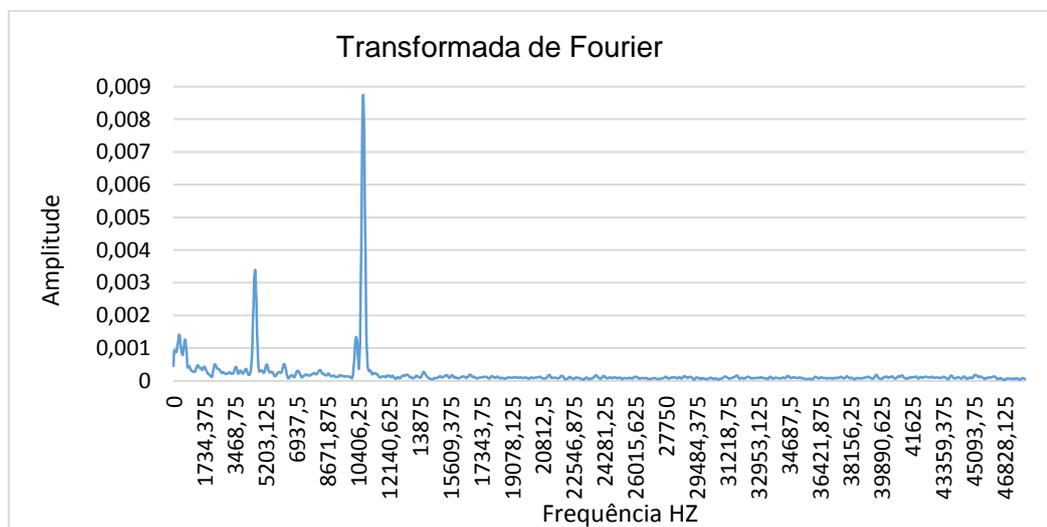
Na análise da ANOVA o  $F_{\text{calculado}}$  (16,40) é maior que  $F_{\text{crítico}}$  (2,46), comprovando que a areia de britagem influencia na densidade de massa das argamassas. O CV do teste varia de 6,51% para T-I, a 0,80% para T-V, estes valores baixos atestam a homogeneidade e credibilidade das amostras usadas neste ensaio.

O teste de Tukey, mostra que os traços T-I e T-II apresentam o mesmo comportamento e tem comportamento semelhante a T-III, T-III apresenta comportamento semelhante a T-IV e T-IV assemelha-se a T-V.

A classificação das argamassas segundo a NBR 13281 (ABNT, 2005) é M6 para todos os traços.

#### 4.2.2.5 Módulo de elasticidade dinâmico

Este ensaio foi realizado no aparelho SONEPLASTIC, foram ensaiados seis corpos de prova para cada traço, cada um deles gera uma transformada de Fourier. O programa gera um gráfico para cada um dos trinta corpos de prova onde pode ser analisada individualmente amplitude/frequência, como mostra a Figura 51, inserida de forma ilustrativa.



**Figura 51 - Transformada de Fourier para cálculo do módulo de elasticidade dinâmico. Fonte: Autoria própria, gerada no aparelho SONEPLASTIC, (2016)**

Para o cálculo da elasticidade de cada amostra foram feitas leituras da transmissão de ondas sonoras da amostra posicionada de forma longitudinal, nesta posição do corpo de prova é utilizado a seguinte fórmula para o cálculo da elasticidade.

$$E = 16mf^2 [L / (\pi D^2 K)]$$

Onde:

E = Módulo de Young (Pa)

m = Massa da barra

L = Comprimento da barra

f<sub>r</sub> = Frequência fundamental para a barra em módulo flexional (Hz)

K = Fator de correção.

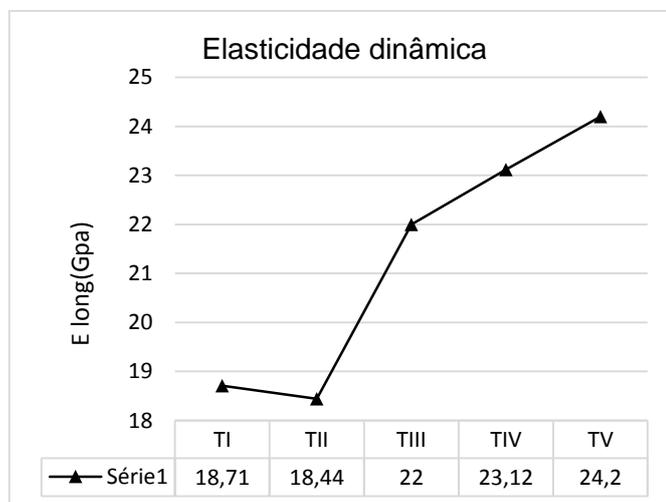
D = Diâmetro efetivo da barra.

$$D^2 = 2 (b^2 + t^2)/3$$

b = Largura da barra

t = Espessura da barra

Em posse do E calculado para cada corpo de prova, foram feitas as médias da elasticidade de cada traço, que estão apresentadas na Figura 54.



**Figura 52 - Módulo de elasticidade dinâmico para as argamassas no estado endurecido. Aparelho SONEPLASTIC.**

**Fonte: Autoria própria (2016).**

Observado a Figura 52 conclui-se que o aumento gradativo da areia de britagem no traço das argamassas aumenta proporcionalmente o módulo de elasticidade dinâmico destas argamassas, isto deve-se principalmente ao fato da densidade da argamassa aumentar com o aumento da areia de britagem.

Comparando com os valores encontrados por Silva, Campiteli e Gleize (2007), que usaram composições de areia natural, cimento e cal, e areia de britagem, cimento e cal encontraram para o módulo de elasticidade respectivamente de 8,05 GPa e 9,81 GPa inferiores aos valores encontrados nesta pesquisa.

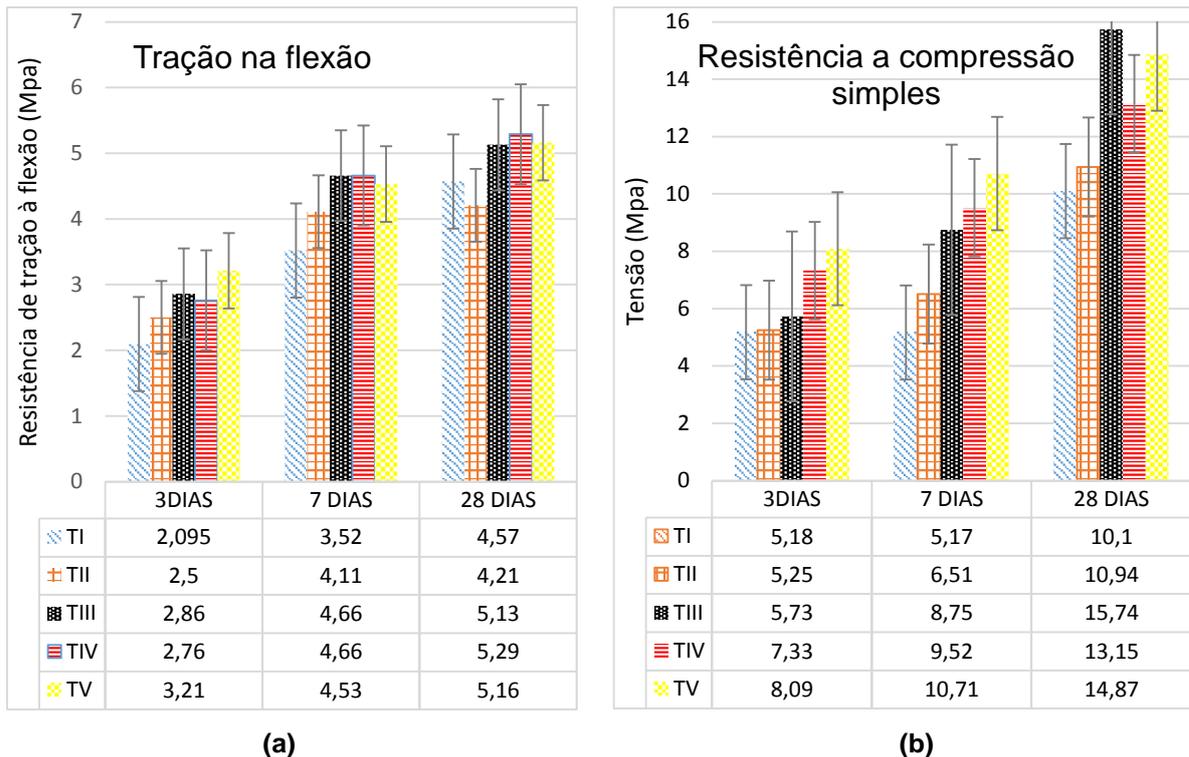
Os valores determinados no ensaio pelo SONEPLASTIC variaram conforme Figura 54 de 18,44 GPa a 24,2 GPa. Este aumento deve-se ao fato de que não usando a cal diminuí a porosidade da argamassa aumentando assim a densidade de massa da mesma, que nos traços sem a cal também foi maior segundo a Figura 52 variou de 1810 kg/m<sup>3</sup> a 2045 kg/m<sup>3</sup>. Enquanto Silva, Campiteli e Gleize (2007), encontraram um máximo de 1714 kg/m<sup>3</sup> para a areia natural e 1831 kg/m<sup>3</sup> para a areia de britagem, comprovando assim que o módulo de elasticidade aumenta com o aumento da densidade da argamassa. Guacelli, Ribson e Carbonari (2015) também confirmam o aumento da elasticidade com o aumento da areia de britagem no traço da argamassa.

Na análise da ANOVA está demonstrado um  $F_{\text{calculado}}$  igual a 41,32 bem maior que o  $F_{\text{crítico}}$  igual a 2,76 provando assim a influência da areia de britagem nos traços das argamassas em relação ao módulo de elasticidade dinâmico. O CV das amostras teve uma variação de 8,6% a 1,17%, estes valores baixos comprovam a homogeneidade das amostras dando credibilidade ao ensaio.

O teste de Tukey realizado mostra as diferenças de comportamento entre os traços, o T-I e o T-II apresentam o mesmo comportamento, diferente de todos os outros traços, o T-III apresenta um comportamento em partes semelhante ao T-IV, e o T-IV apresenta um comportamento semelhante ao T-V.

#### 4.2.2.6 Resistência à tração na flexão e resistência à compressão simples

Estes ensaios foram realizados conforme a NBR 13279 (ABNT, 2005), foram moldados 6 corpos de prova de cada traço para cada data de rompimento totalizando de 90 corpos de prova, rompidos aos 3 dias, 7 dias e 28 dias. Na Figura 53 está demonstrado o crescimento destas resistências ao longo do período.



**Figura 53 - (a) Resistência à tração na flexão, (b) Resistência à compressão simples**  
**Fonte: Autoria própria (2016).**

O Traço T-III atinge 15,74 MPa na média da resistência à compressão simples aos 28 dias, 50,74% a mais que o traço T-I. Já para o T-V a média da resistência a compressão simples ficou em 14,87 MPa aos 28 dias ou seja 40,87% maior que T-I comprovando o aumento da resistência à compressão simples com o acréscimo de areia de britagem aos traços.

Este aumento é justificado pelo fato de os finos da areia de britagem preencherem melhor os vãos da argamassa aumentando a densidade da mesma no estado endurecido, e em consequência disto aumentando as resistências mecânicas das mesmas.

Na análise estatística da ANOVA os corpos de prova de rompimento aos 3 dias tem o menor CV de 1,39 % a 7,72%, no rompimento aos 7 dias o maior CV é 34,37% para as amostras de T-I, e para o rompimento aos 28 dias as amostras de T-I apresentaram um CV de 35,72 %, as de T-V de 37,66%, permitindo a aceitação das amostras. A influência da areia de britagem nos esforços de compressão simples da argamassa e confirmada pois  $F_{\text{calculado}}$  das três idades de rompimento é menor do que  $F_{\text{calculado}}$  mostrando que a influência é bastante significativa aos 3 dias de idade com  $F_{\text{calculado}}$  igual a 30,336, e  $F_{\text{crítico}}$  igual a 2,76.

O teste Tukey realizado mostrou comportamento diferenciado dos traços em cada data de rompimento, aos três dias T-I, T-II, e T-III apresentam o mesmo comportamento, diferente de T-IV e T-V, semelhantes entre si, porém diferentes dos demais. Na idade de 7 dias T-I e T-II são semelhantes, diferentes de T-III, T-IV e T-V que apresentam o mesmo comportamento, já aos 28 dias T-I tem comportamento semelhante a T-II e T-IV, T-II semelhante a T-IV e T-V, e T-III semelhante a T-IV e T-V. Segundo a NBR 13281 (ABNT 2005) todos os traços estão classificados como P6.

Na resistência à tração na flexão o traço T-IV atingiu 5,29 Mpa aos 28 dias seguido de T-V 5,16 Mpa e T-III 5,13 Mpa.

Na análise estatística da ANOVA pode-se concluir que em todas as idades T-I apresenta os maiores CV, observa-se também que a areia de britagem tem influência nos valores finais das resistências de tração à flexão, pois em todas as idades  $F_{\text{calculado}}$  é maior que  $F_{\text{crítico}}$ .

No teste de Tukey, T-II, T-III e T-IV aos 3 dias se comportam da mesma forma e T-I e T-V diferentes entre si mas semelhantes a T-II, T-III e T-IV. Aos 7 dias de idade T-III, T-IV e T-V são iguais, e semelhante a T-I e T-V. Aos 28 dias de idade T-III, T-IV e T-V são iguais, e semelhantes a T-I que por sua vez é semelhante a T-II. A classificação segundo a NBR 13281 (ABNT, 2005) é R6.

Em todas as situações apresentadas na Figura 23 os esforços mecânicos aumentam na comparação de T-I e T-V ou seja crescem com a adição da areia de britagem, e crescem também da idade de três dias para 7 dias e para 28 dias.

As resistências crescem com o aumento da areia de britagem de rocha calcária, pois como já foi discutido anteriormente a massa específica da areia de britagem é maior que a massa específica da areia natural. Em função das massas específicas das areias, a massa específica da argamassa com maior quantidade de areia de britagem também será maior, aumentando a densidade desta argamassa e consequentemente as suas resistências mecânicas.

#### 4.3 ANÁLISE DOS BLOCOS CERÂMICOS

Na Tabela 19 estão descritos os resultados dos ensaios nos blocos cerâmicos usados nos painéis.

**Tabela 19 - Características blocos cerâmicos NBR 15270-1 (ABNT,2005), NBR 15270-3 (ABNT,2005 ),**

Característica determinada		Número de corpos de prova	Resultado médio	Requisitos da norma
Absorção inicial (g/200,00cm <sup>2</sup> /min),		06	16,22	
Absorção total (%)		06	20,37	8%≤AA≤22%
Resistência à compressão (Mpa)		06	3,90	Blocos usados com furo na horizontal ≥ 1,5
Dimensões (mm)	Determinação individual	06	L=88,30	Tolerância dimensional da média ± 3mm, e individual ±5mm.
			H=139,73	
			C=185,58	

Fonte: Autoria própria (2016)

#### 4.4 ADERÊNCIA E PERMEABILIDADE DAS ARGAMASSA

##### 4.4.1 Resistência de Aderência à Tração

Este ensaio foi realizado nos painéis aos 28 dias após terem recebido o reboco, e os resultados foram analisados da forma geral comparando o desempenho dos traços das argamassas, e também foi analisado o desempenho da argamassa em função da forma de ruptura dos corpos de prova. Na Tabela 20 estão descritos os resultados encontrados.

**Tabela 20 - Resistência de aderência à tração. NBR 13528 (ABNT, 2010)**

Traços	T-I	T-II	T-III	T-IV	T-V
Umidade (%)	2,4	2,6	2,52	2,59	2,25
RA (MPa)	0,55	0,73	0,72	0,58	0,65

Fonte: Autoria própria (2016)

Observa-se na Tabela 20 que após 28 dias de cura as argamassas não apresentam o mesmo teor de umidade, embora a diferença seja da ordem de 15,5% do traço T-II= 2,6% para o T-V=2,25% de umidade, considerando que todos os traços foram feitos com a mesma quantidade de água, esta diferença pode ser atribuída a falta de uniformidade da umidade do substrato como também a retenção de água pelas argamassas.

A primeira análise de RA (resistência de aderência a ruptura) foi feita com a média geral de cada traço sem levar em consideração a forma de ruptura dos corpos de prova, ou seja a que profundidade do revestimento aconteceu esta ruptura,

definindo T-II com a mais elevada resistência, RA=0,73 Mpa e T-I apresentou a menor resistência, RA=0, 55.MPa.

A análise estatística da ANOVA resultou em  $F_{\text{calculado}} = 2,25$  e um  $F_{\text{crítico}} = 2,44$ , mostrando assim que areia de britagem não exerce influência na resistência a aderência à tração das argamassas. O teste de Tukey classificou todas as amostras no grupo (a), confirmando também que areia de britagem não influencia na resistência a aderência das argamassas. Segundo a NBR 13281 (ABNT, 2005) todos os traços são classificados como A3, pois tem  $RA \geq 0,3$ .

Silva (2006), encontrou para RA valores que variaram de 0,09 a 0,28 Mpa para a areia natural e 0,11 Mpa a 0,29MPa para areia de britagem, inferiores aos encontrados nesta pesquisa, ainda segundo o autor quanto maior o teor de cal nas amostras menor a resistência de aderência à tração da argamassa, explicando assim os valores mais elevados sem o uso da cal e com aditivo, composição de T-I, T-II, T-III, T-IV e T-V.

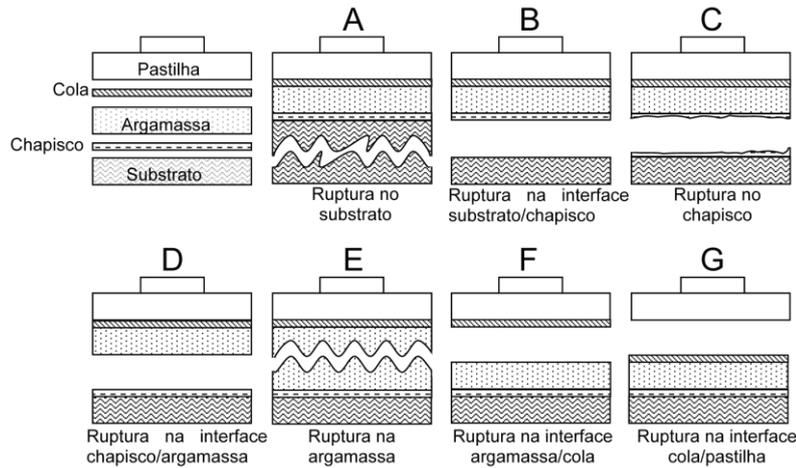
A NBR 13528 (ABNT, 2010) orienta a análise diferenciada de RA para os diferentes tipos de ruptura, estes valores estão descritos na Tabela 21.

**Tabela 21 - Resistência de aderência à tração. Formas de ruptura dos corpos de prova**

Forma de ruptura		T-I	T-II	T-III	T-IV	T-V
Substrato	RA (MPa)	0,53	0,5	0,74	0,57	0,67
	Quantidade de CP (%)	16,67	20	23,08	17,38	21,87
Substrato/chapisco	RA (MPa)	0,49	0,27	0,56	0,35	0,75
	Quantidade de CP (%)	10	10	23,92	13,04	15,63
Chapisco	RA (MPa)	0,7	0,62	0,65	0,51	0,45
	Quantidade de CP (%)	16,67	13,33	11,54	26,09	12,5
Chapisco/argamassa	RA (MPa)	0,58	0,7	0,63	0,47	0,44
	Quantidade de CP (%)	3,33	13,33	7,69	8,70	12,5
Argamassa	RA (MPa)	0,57	1,27	0,77	0,74	0,86
	Quantidade de CP (%)	23,33	20	11,54	26,09	12,5
Argamassa/cola	RA (MPa)	0,51	0,69	0,97	0,99	0,66
	Quantidade de CP (%)	30	23,33	19,02	8,70	25

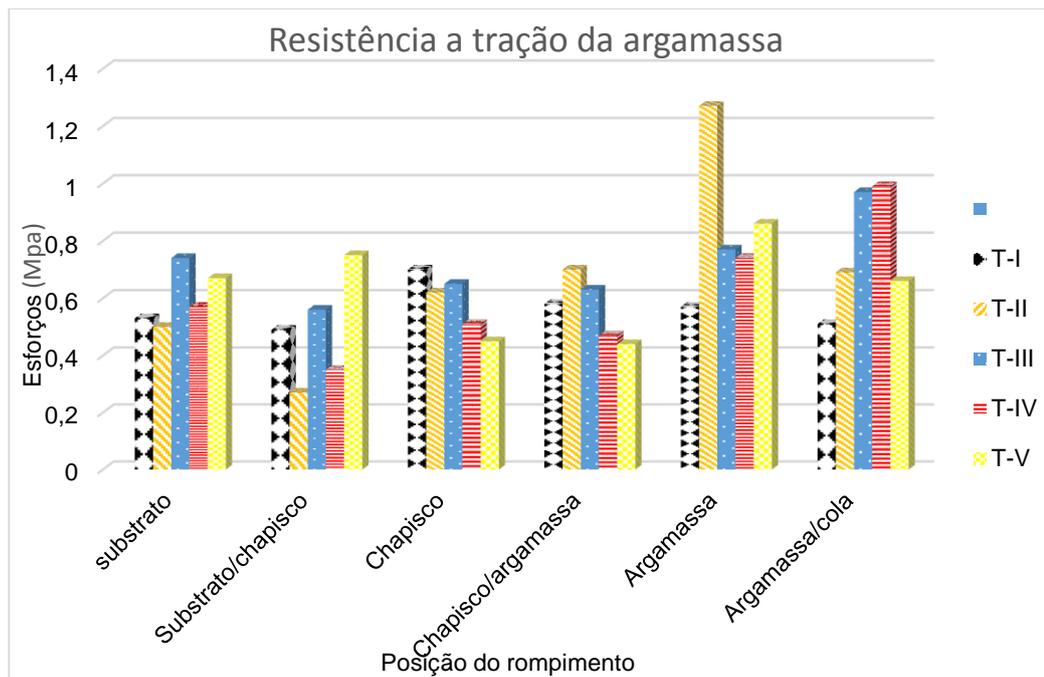
Fonte: Autoria própria (2016).

Na Figura 54 estão ilustrados as formas como as pastilhas podem romper quando efetuado o arrancamento das mesmas, a NBR 13525 (ABNT, 2010) define em função do tipo de rompimento os valores a serem determinados como resistência de aderência a tração da argamassa.



**Figura 54 - Formas de ruptura do corpo de prova na aderência à tração**  
**Fonte: NBR 13528 (ABNT, 2010).**

Na Figura 55 estão demonstrados os traços e tipo de rompimento, com o esforço necessário para o rompimento de cada um deles.



**Figura 55 - Resistência a tração das argamassas aplicadas nos painéis cerâmicos**  
**Fonte: Autoria própria, (2016).**

Observa-se a Tabela 21 e na Figura 55, que T-I teve a maior porcentagem de ruptura 30% na posição argamassa /cola. Porém a maior RA 0,7 MPa foi na posição chapisco, a norma preconiza que se o valor a ser considerado no maior número de rupturas ocorrer na interface substrato/chapisco ou chapisco/ argamassa será considerado o valor de ensaio como Resistência de Aderência a tração, se o maior número de rompimentos acontecer nas outras interfaces considera-se que o valor da resistência a aderência não foi encontrado sendo maior que o do ensaio ou seja para T-I será  $AR > 0,51$  MPa.

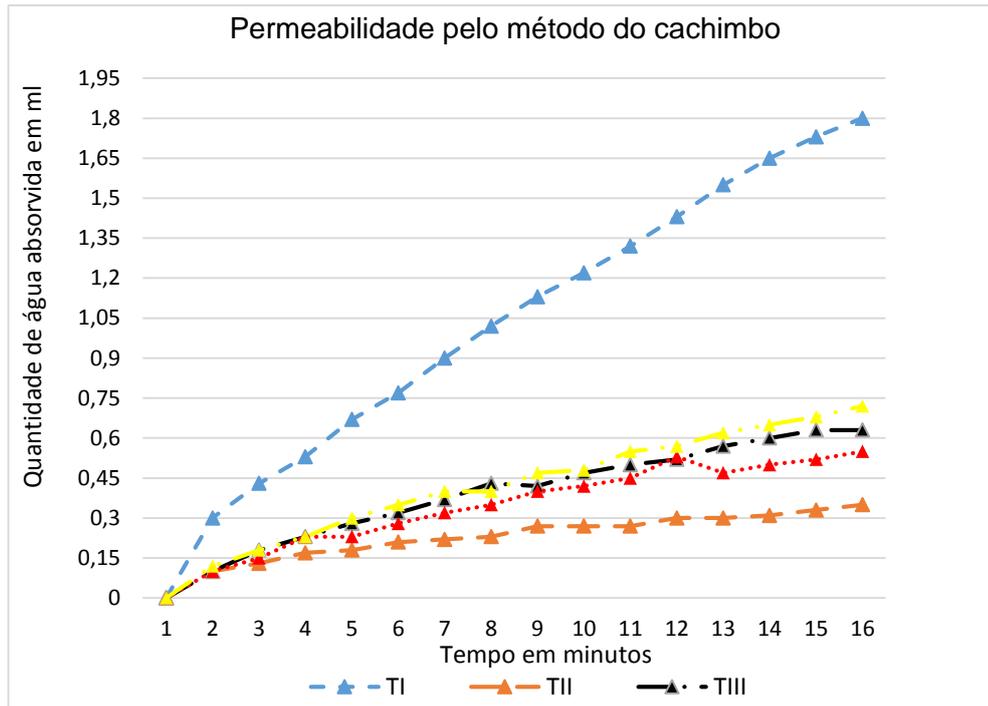
Considerando esta análise T-II teve 23,3% na interface argamassa/cola, e com  $RA > 0,69$  Mpa nesta interface, T-III obteve uma quantidade de rupturas de 23,92% na interface substrato/chapisco devendo então ser considerado como resultado o valor do ensaio, portanto em T-III a resistência  $RA = 0,56$  MPa, em T-IV obteve-se 26,09% no chapisco e na argamassa, sendo que na argamassa  $RA = 0,74$  Mpa e no chapisco  $RA = 0,51$  Mpa, definindo-se assim como  $RA > 0,51$  para T-IV, T-V obteve 25% de ruptura na interface argamassa/cola com  $RA > 0,66$ MPa.

Conclui-se assim que a maior resistência de aderência à tração foi alcançada por T-II com  $RA > 0,39$ Mpa. Aos 28 dias T-II apresentou também o maior índice de umidade importante na aderência da argamassa/substrato que pode ter influenciado nos resultados obtidos neste ensaio, pois a absorção em excesso de água da argamassa pelo substrato diminui a capacidade de aderência da mesma podendo assim diminuir a sua resistência de aderência a tração.

A análise da ANOVA, realizada para cada traço em função do tipo de ruptura aponta somente o T-II com resultado significativo para o tipo de ruptura, com  $F_{\text{calculado}} = 9,16$  e  $F_{\text{critico}} = 2,62$ . Os demais traços não apresentam significâncias para as rupturas em diferentes interfaces dos corpos de prova.

#### 4.4.2 Absorção de Água pelo Método do Cachimbo

Este ensaio foi realizado nos painéis de cerâmica confeccionados para o ensaio de aderência a tração, 28 dias após a execução do reboco. Foi usado três cachimbos em cada painel e as medidas foram feitas de minuto a minuto até os quinze minutos os resultados obtidos estão descritos na Tabela 22 e na Figura 56.



**Figura 56 - Absorção por permeabilidade nas argamassas pelo método do cachimbo.**

Fonte: Autoria própria (2016)

Observa-se na Figura 56 que T-I traço composto somente de areia natural, é a argamassa que teve a taxa de absorção de água mais elevada, distanciando-se 1,40ml de T-II, argamassa que menos absorveu água e 1,11ml de T-V, argamassa que contém a maior quantidade de areia de britagem. T-II, T-III, T-IV e T-V apresentam diferença de 0,37ml de absorção de água.

O fato destas absorções não alcançarem o mesmo nível de T-I, pode ser justificada, pois o valor das massas específicas destes traços são maiores, bem como a densidade de massa no estado endurecido das argamassas, aumentando assim a compacidade destas; e diminuindo a quantidade de poros e fissuras impedindo assim a penetração da água por permeabilidade.

Na Tabela 22 estão descritos as médias da absorção dos três cachimbos para cada painel.

**Tabela 22 - Permeabilidade pelo método do cachimbo, médias**

Tempo (min)	T-I médias	T-II médias	T-III médias	T-IV médias	T-V médias
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,3	0,10	0,10	0,10	0,12
2	0,43	0,13	0,18	0,15	0,18
3	0,53	0,17	0,23	0,23	0,23
4	0,67	0,18	0,28	0,23	0,30
5	0,77	0,21	0,32	0,28	0,35
6	0,9	0,22	0,37	0,32	0,40
7	1,02	0,23	0,43	0,35	0,40
8	1,13	0,27	0,42	0,40	0,47
9	1,22	0,27	0,47	0,42	0,48
10	1,32	0,27	0,50	0,45	0,55
11	1,43	0,30	0,52	0,53	0,57
12	1,55	0,30	0,57	0,47	0,62
13	1,65	0,31	0,60	0,50	0,65
14	1,73	0,33	0,63	0,52	0,68
15	1,8	0,35	0,63	0,55	0,72

Fonte: Autoria própria (2016).

O fato destas absorções não alcançarem o mesmo nível de T-I, pode ser justificada, pois o valor das massas específicas destes traços são maiores, bem como a densidade de massa no estado endurecido das argamassas, aumentando assim a compactidade destas; e diminuindo a quantidade de poros e fissuras impedindo assim a penetração da água por permeabilidade.

Na análise estatística da ANOVA obteve-se um  $F_{\text{calculado}} = 25,81$  e  $F_{\text{crítico}} = 2,50$  comprovando assim que as amostras são significativas, provando que a areia de britagem exerce influência nas argamassas no que diz respeito a permeabilidade das mesmas. O teste de Tukey concluí que T-I apresenta uma constituição diferenciada dos demais para a absorção de água, comprovada nas médias 5,14 vezes maior que T-II, que tem a menor absorção.

#### 4.5 CONTAGEM E MEDIÇÃO DE FISSURAS

Os painéis foram monitorados a partir da primeira semana após a sua execução para detectar possíveis fissuras que poderiam acontecer no revestimento e foi constatado apenas uma fissura no painel com a composição do traço T-II, como está demonstrado na Figura 57.



**Figura 57 - Fissura detectada no painel de composição do T-III.  
Fonte: Autoria própria (2016).**

Após detectado o surgimento da fissura esta foi monitorada e constatou-se que não houve evolução da mesma. A baixa incidência de fissuras deve-se a densidade e compacidade das argamassas, com isso a porosidade das mesmas diminui, inibindo assim a expansão dos finos causadores de fissuras nas argamassas.

Isto deve-se em parte ao fato dos traços não possuírem em suas composições a cal que propicia a expansão através da absorção da umidade entrando em um processo gradativo de expansão provocando fissuras no revestimento. Os finos da areia de britagem também contribuem para que não ocorra expansão e retração em excesso no revestimentos, atuando assim positivamente para impedir patologias.

#### 4.6 CLASSIFICAÇÃO GERAL DAS ARGAMASSAS

A análise do desempenho das argamassas de uma forma geral orienta para o correto uso das mesmas como revestimento A Tabela 23 descreve o resumo destes resultados. Na Tabela 23 também estão descritos os resultados obtidos do coeficiente de variância das amostras, obtidos através do método estatístico ANOVA, e os resultados do teste de Tukey.

**Tabela 23 - Desempenho das argamassas, resumo final.**

ENSAIOS		T-I	T-II	T-III	T-IV	T-V
		Resultados para as argamassas no estado fresco				
Índice de consistência (mm)		264,46 <sup>c</sup>	273,52 <sup>bc</sup>	280,29 <sup>ab</sup>	287,36 <sup>a</sup>	285,48 <sup>a</sup>
Coeficiente de Variância		2,34	0,69	2,31	0,73	0,64
Densidade de massa (kg/m <sup>3</sup> )		1.846 <sup>c</sup>	1.917 <sup>bc</sup>	1.967 <sup>b</sup>	2.108 <sup>a</sup>	2.155 <sup>a</sup>
Coeficiente de Variância		2,08	2,43	2,38	2,47	0,66
Teor de ar incorporado (%)		10,35 <sup>a</sup>	11,42 <sup>a</sup>	11,16 <sup>a</sup>	8,56 <sup>a</sup>	9,18 <sup>a</sup>
Coeficiente de Variância		18,96	17,14	18,73	25,04	10,02
Retenção de água (%)		0,82 <sup>a</sup>	0,78 <sup>ab</sup>	0,77 <sup>ab</sup>	0,76 <sup>ab</sup>	0,75 <sup>b</sup>
Coeficiente de Variância		2,43	3,21	3,25	3,30	3,34
Exsudação (%)		0,81 <sup>a</sup>	1,21 <sup>a</sup>	0,70 <sup>a</sup>	1,166 <sup>a</sup>	0,818 <sup>a</sup>
Coeficiente de Variância		51,21	41,66	28,21	34,23	67,42
Resultado para argamassa no estado endurecido						
Densidade de massa Kg/m <sup>3</sup> )		1816 <sup>c</sup>	1810 <sup>c</sup>	1913 <sup>bc</sup>	1981 <sup>ab</sup>	2045 <sup>a</sup>
Coeficiente de Variância		1,53	6,51	1,44	2,98	0,80
Coeficiente de capilaridade (g/dm <sup>2</sup> /min <sup>1/2</sup> )		1,51 <sup>a</sup>	0,38 <sup>a</sup>	0,95 <sup>a</sup>	1,31 <sup>a</sup>	0,50 <sup>a</sup>
Absorção por Capilaridade (g/cm <sup>2</sup> )	t=3hs	0,55 <sup>a</sup>	0,17 <sup>a</sup>	0,31 <sup>a</sup>	0,57 <sup>a</sup>	0,40 <sup>a</sup>
	t=6hs	0,71 <sup>a</sup>	0,27 <sup>a</sup>	0,58 <sup>a</sup>	0,82 <sup>a</sup>	0,54 <sup>a</sup>
	t=24hs	0,79 <sup>a</sup>	0,32 <sup>a</sup>	0,61 <sup>a</sup>	0,98 <sup>a</sup>	0,65 <sup>a</sup>
	t=48hs	0,92 <sup>ab</sup>	0,39 <sup>b</sup>	0,68 <sup>ab</sup>	1,13 <sup>a</sup>	0,72 <sup>ab</sup>
	t=72hs	0,98 <sup>a</sup>	0,70 <sup>a</sup>	0,76 <sup>a</sup>	1,25 <sup>a</sup>	0,83 <sup>a</sup>
Absorção por imersão (%)		12,14 <sup>a</sup>	12,07 <sup>a</sup>	10,23 <sup>a</sup>	10,63 <sup>a</sup>	11,00 <sup>a</sup>
Coeficiente de Variância		3,38	31,11	3,62	10,85	5,66
Índice de vazios (%)		20,76 <sup>a</sup>	20,12 <sup>a</sup>	19,64 <sup>a</sup>	19,94 <sup>a</sup>	20,87 <sup>a</sup>
Coeficiente de Variância		3,44	12,66	2,83	12,03	5,38
Massa específica seca (g/(cm <sup>3</sup> ))		1,03 <sup>a</sup>	1,82 <sup>a</sup>	1,81 <sup>a</sup>	1,89 <sup>a</sup>	1,88 <sup>a</sup>
Coeficiente de Variância		0,30	0,91	1,08	1,89	0,78
Massa específica saturada (g/(cm <sup>3</sup> ))		1,92 <sup>a</sup>	2,02 <sup>a</sup>	2,00 <sup>b</sup>	2,11 <sup>b</sup>	2,09 <sup>c</sup>
Coeficiente de Variância/Tukey		0,43	1,71	0,77	0,42	0,74
Massa específica real (g/(cm <sup>3</sup> ))		2,15 <sup>a</sup>	2,28 <sup>a</sup>	2,27 <sup>b</sup>	2,385 <sup>bc</sup>	2,40 <sup>c</sup>
Coeficiente de Variância		0,70	3,78	0,97	2,87	3,78
Módulo de elasticidade dinâmico (GPa)		18,71 <sup>c</sup>	18,44 <sup>c</sup>	22,00 <sup>b</sup>	23,12 <sup>ab</sup>	24,20 <sup>a</sup>
Coeficiente de Variância		1,84	8,60	6,02	1,17	2,76
Resistência tração na flexão (MPa)	3 dias	2,10 <sup>b</sup>	2,503 <sup>ab</sup>	2,86 <sup>ab</sup>	2,76 <sup>ab</sup>	3,21 <sup>a</sup>
	CV	48,84	8,653	7,94	4,96	8,27
	7 dias	3,52 <sup>b</sup>	4,11 <sup>ab</sup>	4,66 <sup>a</sup>	4,656 <sup>a</sup>	4,534 <sup>a</sup>
	CV	32,62	7,310	5,02	5,976	6,612
	28 dias	4,574 <sup>ab</sup>	4,21 <sup>a</sup>	5,13 <sup>a</sup>	5,29 <sup>a</sup>	5,16 <sup>a</sup>
CV	10,83	5,019	8,488	10,30	10,55	
Resistência à Compressão (MPa)	3 dias	5,341 <sup>b</sup>	5,36 <sup>b</sup>	5,79 <sup>b</sup>	7,27 <sup>a</sup>	8,19 <sup>a</sup>
	CV	1,38	1,52	5,34	4,37	7,72
	7 dias	5,69 <sup>b</sup>	8,74 <sup>b</sup>	9,52 <sup>a</sup>	10,75 <sup>a</sup>	10,75 <sup>a</sup>
	CV	34,37	9,44	19,63	1,23	6,66
	28 dias	10,09 <sup>c</sup>	10,94 <sup>bc</sup>	15,74 <sup>abc</sup>	13,15 <sup>ab</sup>	13,20 <sup>a</sup>
Coeficiente de Variância		35,72	14,93	14,77	18,80	37,66
Permeabilidade pelo método do cachimbo (%)		1,10 <sup>a</sup>	0,24 <sup>b</sup>	0,41 <sup>b</sup>	0,36 <sup>b</sup>	0,44 <sup>b</sup>
Coeficiente de Variância		44,39	0,46	40,06	39,15	41,67
Resistência de aderência à tração (MPa)		0,55 <sup>a</sup>	0,73 <sup>a</sup>	0,72 <sup>a</sup>	0,58 <sup>a</sup>	0,65 <sup>a</sup>

Teste de Tukey com 95% de confiança

Fonte: Autoria própria (2016)

O teste de Tukey permite uma análise das médias dos grupos de cada argamassa. Analisando o grupo a que pertencem em cada ensaio podendo assim verificar as diferenças existentes em função da adição da areia de britagem e qual das suas propriedades são realmente influenciadas por esta adição.

Este teste é um parâmetro de análise não podendo ser a única forma mas sim um subsídio a mais para a escolha do traço ideal de areia de britagem de rocha calcária e areia natural.

A NBR 13281 (ABNT, 2005) determina os requisitos das argamassas de assentamento e revestimento de paredes e tetos, que devem ser observados

Após realizados os ensaios, as argamassas estudadas foram classificadas conforme estas exigências. No Quadro 17 está descrito os resultados desta classificação para as argamassas estudadas.

<b>Classificação das argamassas conforme NBR 13281 (ABNT, 2005)</b>					
ENSAIOS	T-I	T-II	T-III	T-IV	T-V
	Classificação para argamassas no estado fresco				
Densidade de massa	D4	D4	D4	D5	D5
Retenção de água	U2	U2	U2	U2	U2
Classificação para argamassa no estado endurecido					
Densidade de massa	M6	M6	M6	M6	M6
Coeficiente de capilaridade	C1	C1	C1	C1	C1
Resistência à tração na flexão (28 dias)	R6	R6	R6	R6	R6
Resistência à compressão simples (28 dias)	P6	P6	P6	P6	P6
Resistência de aderência à tração	A3	A3	A3	A3	A3

**Quadro 17 - Classificação das argamassas conforme NBR 13281 (ABNT, 2005).**  
**Fonte: Adaptado da NBR 13281 (ABNT, 2005)**

Esta classificação das argamassas não especifica a finalidade do uso da argamassa conforme o seu desempenho. A norma recomenda que se apresente a classificação da seguinte forma:

Argamassa T-I = A3,P6,R6,C1,M6,U2,D4

Argamassa T-II= A3,P6,R6,C1,M6,U2,D4

Argamassa T-III= A3,P6,R6,C1,M6,U2,D4

Argamassa T-IV= A3,P6,R6,C1,M6,U2,D5

Argamassa T-V= A3,P6,R6,C1,M6,U2,D5

O Quadro 18 descreve a classificação final das argamassas pelo método MECUR (SCTB, 2669-2.1993).

<b>Classificação das argamassas conforme - 2669-2 (CSTB, 1993)</b>					
ENSAIOS	T-I	T-II	T-III	T-IV	T-V
	Classificação para argamassa no estado endurecido				
Densidade de massa	M5	M5	M5	M5	M6
Módulo de deformação	E6	E6	E6	E6	E6
Coefficiente de capilaridade	C1	C1	C1	C1	C1
Resistência à tração na flexão (28 dias)	R6	R6	R6	R6	R6
Retenção de umidade	U2	U2	U2	U2	U2

**Quadro 18 - Classificação final das argamassas para revestimento (CSTB-1993).  
Fonte: Autoria própria (2016)**

Segundo a Tabela MERUC as argamassas estudadas são classificadas da seguinte forma:

Argamassa T-I = M5,E6,C1,R6,U2

Argamassa T-II= M5,E6,C1,R6,U2

Argamassa T-III= M5,E6,C1,R6,U2

Argamassa T-IV= M5,E6,C1,R6,U2

Argamassa T-V= M5,E6,C1,R6,U2

Analisando esta classificação com as recomendações da (CSTB – 1993), descrita abaixo:

a) tipo de exposição da parede

- forte exposição à chuva: C1 ou C2

- exposição a choques e deterioração:  $E \geq 3$  e  $R \geq 3$

- parede enterrada:  $M \geq 4$ ,  $R \geq 3$  e  $C \leq 2$

b) condições atmosféricas

- clima quente ou vento: U5 ou U6

- clima frio: M5 ou M6

c) utilização do revestimento

- cerâmica:  $E \geq 4$  e  $R \geq 4$

Conclui-se a recomendação de uso das argamassas estudadas:

- Com referência ao item (a) todas as argamassas estudadas tem desempenho para revestimento externo exposição a chuvas, bem como a paredes ou totalmente enterradas.

- Em relação ao item (b), as argamassas não são recomendadas para clima quente ou vento, pois sua retenção de água é muito baixa, necessitando mais estudos, apurando uma maneira para as mesmas reter mais umidade, mas suportariam sem problemas climas frios.

- Conforme o item (c) todas as argamassas são recomendadas para o revestimento cerâmico.

## 5 CONCLUSÃO

A análise dos índices físicos das areias demonstrou que a areia de britagem de rocha calcária apresenta as massas específicas e unitária maiores que as da areia natural.

Com relação a granulometria, todos os traços atendem as recomendações e estão dentro das zonas utilizáveis inferior e superior segundo a NBR 7211 (ABNT, 2005), sendo que o traço T-III (60% de areia natural e 40% de areia de britagem de rocha calcária), encontra-se dentro do intervalo delimitado pelas zonas ótimas superior e inferior de granulometria, dos agregados miúdos, recomendado pela norma.

Na forma e textura dos grãos a areia de britagem apresenta grãos angulosos, irregulares e com rugosidade, enquanto a areia natural tem grãos arredondados e homogêneos. Esta diferença entre as areias nas misturas das argamassas provoca uma compensação granulométrica. A rugosidade da areia de britagem impede a ascensão da água diminuindo a absorção por capilaridade. A compensação granulométrica em função dos finos aumenta a densidade, diminuindo a porosidade e a permeabilidade das argamassas.

Nas argamassas no estado fresco T-II (80% de areia natural e 20% de areia de britagem de rocha calcária), e T-III (60% de areia natural e 40% de areia de britagem de rocha calcária), apresentam um IC (índice de consistência) de T-II=273,52 mm e T-III=280,29 mm, valores aceitos que permitem a trabalhabilidade da argamassa.

O traço T-V (20% de areia natural e 80% de areia de britagem de rocha calcária), apresenta a maior densidade de massa, porém com baixo teor de ar incorporado, o que leva a perda da trabalhabilidade da argamassa. T-III (60% de areia natural e 40% de areia de britagem de rocha calcária), apresenta o melhor índice de incorporação de ar, o que contribui para trabalhabilidade da argamassa.

A difratometria de raios X, a qual foram submetidas as argamassas no estado endurecido, permitiu verificar a influência que a areia de britagem exerce nas composições químicas formadas, (descritas nos Quadros 14,15 e 16 e na Figura 47 onde estão demonstrados os picos de cristalinidade das composições formadas nas argamassas), durante a pega e cura da argamassa mudando as características finais.

Na resistência a tração na flexão, e a compressão simples, aumentam com o aumento da areia de britagem de rocha calcária no traço.

Concluiu-se que as argamassas com areia de britagem de rocha calcária (T-II, T-III, T-IV, T-V), apresentaram melhor desempenho do que a argamassa somente com areia natural (T-I) nos seguintes índices: Índice de consistência; densidade massa da argamassa no estado fresco; teor de ar incorporado ; densidade de massa da argamassa no estado endurecido; coeficiente de capilaridade; absorção por capilaridade; absorção por imersão ; massas específicas (real, seca, saturada); módulo de elasticidade dinâmico; resistência a tração na flexão; resistência a compressão simples; permeabilidade e resistência de aderência a tração.

Nas argamassas, dentre os traços de areia de britagem de rocha calcária, os que apresentaram melhor desempenho foram, T-III (60% de areia natural e 40% de areia de britagem de rocha calcária) e T-IV (40% de areia natural e 60% de areia de britagem de rocha calcária).

Conclui-se que a areia de britagem de rocha calcária é indicada para uso nas argamassa de revestimento.

Conclui-se que as argamassas estudadas nesta pesquisa, que utilizam a areia de britagem de rocha calcária atendem aos critérios da NBR 13281 (ABNT, 2005).

Recomenda-se como trabalhos futuros:

- Usar percentagens de areia de britagem de rocha calcária, no traço diferente das usadas nesta pesquisa, para obtenção de mais alternativas de uso desta areia.
- Usar a cal em substituição aos aditivos nos traços das argamassa, para uma comparação de qualidade e vantagem econômica na produção destas argamassas.
- Estudar o desempenho das argamassas compostas por areia de britagem de rocha calcária em função de seu envelhecimento, ao longo do tempo com exposição as intempéries para o uso em argamassas de revestimento externas.
- Fazer um estudo mais detalhado da retração nas argamassas compostas com areia de britagem de rochas calcárias.
- Estudar a influência da forma dos grãos no empacotamento das partículas.
- Estudar o comportamento das argamassas através de ensaios de envelhecimento acelerado, para analisar as patologias provenientes das composições químicas formadas após o endurecimento das mesmas.

## REFERENCIAS

ABCP **Boletim técnico** <http://www.abcp.org.br/> Aceso em 20 de janeiro de 2017

AÏTCIN, Pierre-Claude; JOLICOEUR, Carmel; MACGREGOR, James G. Super plasticizers: how they work and why they occasionally don't. **Concrete International**, v. 16, n. 5, p. 45-52, 1994.

AÏTCIN, Pierre-Claude. Cements of yesterday and today: concrete of tomorrow. **Cement and Concrete research**, v. 30, n. 9, p. 1349-1359, 2000.

ADILSON, L. **Fallos em los edificios**. Madrid: Herman Blume, 1986

ALMEIDA, SLM; BISPO, LHO. Obtenção de areia artificial a partir de finos de pedreiras – análises de ensaios. Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral – Ministério da Ciência e Tecnologia, 2003. **Boletim Técnico**

ALVES, Amália; CARASEK, Helena; CASCUDO, Oswaldo. Influência da umidade do revestimento na resistência superficial avaliada por diferentes métodos de ensaio. In: **3ro Congresso Portugues de Argamassas de Construção, Lisboa, Portugal**. 2010.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C 1506-** Standard Test Method for Water Retention of Hydraulic Cement-Based Mortars and Plasters, (2016).

\_\_\_\_\_**ASTM C40/C40M**. Standard Test Method for Organic Impurities in Fine Aggregates for Concrete, 2016.

\_\_\_\_\_**ASTM 91-90** Standard Test Method for Organic Impurities in Specifications funnel *Buchmer* 2016.

ANGELIM, Renato R.; ANGELIM, Susane CM; CARASEK, Helena. Influência da adição de finos calcários, silicosos e argilosos nas propriedades das argamassas e dos revestimentos. **V Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. Anais... CD-ROM. São Paulo: ANTAC/POLI-USP**, p. 401-416, 2003.

ARAUJO, R. C.; MELO, L. A. DE; SILVA, D. G.; SEVERO, S. N.; ANGELIM, R.; CASCUDO.O.; CARASEK, H. Efeito da natureza e da forma das partículas de areias

de diferentes mineralogias na consistência da argamassas. **XI SBTA – Simpósio brasileiro de tecnologia da argamassa**. 28-30 abril 2015. Porto Alegre -RS.

ARNOLD, Daiana Cristina Metz. Análise da influência da forma dos grãos nas propriedades das argamassas. 2011. Dissertação de mestrado UNISINOS. São Leopoldo-RS.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE ENTIDADES DE PRODUTORAS DE AGREGADOS PARA CONSTRUÇÃO CIVIL – **Anepac 2015**. Boletim econômico. Acesso em <http://www.anepac.org.br>, maio de 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248**: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003

\_\_\_\_\_ **NBR 13529**. Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas — Terminologia. Rio de Janeiro, 2013.

\_\_\_\_\_ **NBR 7211**. Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_ **NM ISO 3310-1**. Peneiras de ensaio – Requisitos técnicos e verificações. Rio de Janeiro, 2010.

\_\_\_\_\_ **NBR 9935**. Agregados – Terminologia. Rio de Janeiro, 2011

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

\_\_\_\_\_ **NBR 13276**. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2005.

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

\_\_\_\_\_ **NBR NM 26**. Agregados - Amostragem. Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_ **NBR NM 27. Agregados** – Redução da amostra de campo para ensaios de laboratório. Rio de Janeiro, 2001

\_\_\_\_\_ **NBR NM 30.** Agregado miúdo - Determinação da absorção de água Rio de Janeiro, 2001.

\_\_\_\_\_ **NBR NM 45.** Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

\_\_\_\_\_ **NBR EB 1763.** Aditivos para concreto de cimento Portland – Especificações. Rio de Janeiro, 1992.

\_\_\_\_\_ **NBR 7200.** Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Procedimento. Rio de Janeiro, 1998.

\_\_\_\_\_ **NBR 7215.** Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996.

\_\_\_\_\_ **NBR 15839** – Argamassa de assentamento e revestimento de paredes e tetos caracterização reológica pelo método *squeeze flow*. Rio de Janeiro, 2010.

\_\_\_\_\_ **NBR NM 52.** Agregado miúdo - Determinação de massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2002.

\_\_\_\_\_ **NBR 6467.** Agregado – Determinação do inchamento do agregado miúdo. Rio de Janeiro, 2006.

\_\_\_\_\_ **NBR NM 46.** Agregado – Determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm por lavagem. Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_ **NBR NM 49.** Agregado miúdo – Determinação de impurezas orgânicas. Rio de Janeiro, 2001.

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

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

\_\_\_\_\_ **NBR 15270-3**. Componentes cerâmicos Parte 3: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação – Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_ **NBR 15270-1**. Componentes cerâmicos Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação – Terminologia e requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_ **NBR 9779**. Argamassa e concreto endurecidos — Determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro, 2013.

\_\_\_\_\_ **NBR 9778**. Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2009.

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

\_\_\_\_\_ **NBR 13528**. Revestimento de paredes de argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro, 2010.

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

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE ENTIDADES DE PRODUTORAS DE AGREGADOS PARA CONSTRUÇÃO CIVIL – **Anepac 2015**. Boletim econômico. Acesso <http://www.anepac.org.br>, em janeiro de 2017.

BACARJI, E.; TOLEDO FILHO, R. D. Concretos auto adensáveis com incorporação de resíduos de britagem de rochas: desempenho no estado fresco. In: **3º Congresso Ibero-americano sobre betão auto-compactável**. Madrid. 2012.

BASTOS, Pedro Kopschitz Xavier; DÉTRICHÉ, C. H., BALAYSSAC, J. P., CINCOTTO, M. A. Retração e desenvolvimento de propriedades mecânicas em argamassas de revestimento. **Ambiente Construído**, v. 2, n. 2, p. 57-70, 2001.

BAUER, Elton. Dosagem de Argamassas. **Relatório Técnico**. Laboratório de Ensaio de Materiais, Universidade de Brasília, Brasília, Junho, 1998.

BAUER, Elton. Revestimentos de argamassa: características e peculiaridades. **Brasília: LEM-UnB/Sinduscon-DF**, 2005.

BAUER, Falcão L. A. **Materiais de Construção Civil**. 5 ed. Rio de Janeiro: LTC, 1995.  
BIANCHI, Alessandra de Costa. Pó-de-pedra. **Téchne**, São Paulo, ed. 79, p. 13, outubro. 2003.

BEDERINA, Madani; MAKHLOUFI, Zoubir; BOUZIANI, Tayeb. Effect of limestone fillers the physic-mechanical properties of limestone concrete. **Physics Procedia**, v. 21, p. 28-34, 2011.

Beixing Li, Guoju Ke, Mingkai Zhou, Influence of manufactured sand characteristics on strength and abrasion resistance of pavement cement concrete, **Construction and Building Materials**, v. 25, n 10, p. 3849 – 3853, 2011

BOUMANS, P., e R. KLOCKENKÄMPER, eds. - Total reflection X-ray fluorescence spectrometry. Proc. of the Second Workshop on TXRF, Dortmund, 26-27 May, 1988. **Spectrochim. Acta, 44B**: 433, 1989.

CAMARINI, Gladis; ISHIKAWA, Paulo H. Propriedade de argamassas de assentamento produzidas com areia artificial para alvenaria estrutural. **ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, X**, 2004.

CANDIA, Mario Collantes; FRANCO, Luiz Sérgio. Contribuição ao estudo das técnicas de preparo da base no desempenho dos revestimentos de argamassa. **São Paulo**, v. 198, 1998.

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

CARASEK, H; Araújo. R.C.; Cascudo–O. Angelim, R. **Parâmetros da areia que influenciam a consistência e a densidade de massa das argamassas de revestimento**. *Matéria (Rio J.)* vol.21 no.3 Rio de Janeiro July/Sept. 2016. Acesso em 23/10/2016 em [http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S151770762016000300714&scrypt=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S151770762016000300714&scrypt=sci_arttext)

CARASEK, Helena. Argamassas Cap. 26. In: ISAIA, G.C. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. São Paulo: IBRACON, 2010.

CARASEK, H.; CASCUDO, O. Manifestações patológicas em revestimento oriundas do uso da cal inadequada nas argamassas - Estudo de caso. In: **V CONGRESSO**

**IBEROAMERICANO DE PATOLOGIA DE LAS CONSTRUCCIONES - CONPAT, 1999**, Montevideo - Uruguai. Proceedings, 1999. v. 1. p. 219-226.

CARASEK, Helena; CASCUDO, Oswaldo; SCARTEZINI, Luiz Maurício. Importância dos materiais na aderência dos revestimentos de argamassa. **Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas**, v. 4, n. 2001, **Brasília. Anais ANTAC**; p. 43-67, 2001.

CARDOSO, Fábio A.; JOHN, V. M.; PILEGGI, R. G. Squeeze-flow aplicado a argamassas de revestimento: Manual de utilização. **Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP**, v. 1, p. 1-29, 2010.

CARNEIRO, Arnaldo Manoel Pereira; CINCOTTO, Maria A. Dosagem de argamassas através de curvas granulométricas. **São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo**, 1999.

CARNEIRO, Arnaldo Manoel Pereira; CINCOTTO, Maria Alba; JOHN, Vanderley Moacyr. A massa unitária da areia como parâmetro de análise das características de argamassa. **Ambiente Construído**, v. 1, n. 2, p. 37-44, 1997.

CIMENTOS ITAMBÉ em <http://www.cimentoitambe.com.br/wp-content/themes/itambe-cimento-certo/assets/pdf/especificações> - acessado em 01/05/2016.

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

CORTES, D. D., Kim, H. K., Palomino, A. M., & Santamarina, J. C. (2008). Rheological and mechanical properties of mortars prepared with natural and manufactured sands. *Cement and Concrete Research*, 38(10), 1142-1147.

CSTC - CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DE LA CONSTRUCTION – **Absorção de água pelo método do cachimbo**, 1982.

CUCHIERATO, G.; SBRIGHI NETO, C.; QUITETE, E. B. A revisão das normas ABNT de agregados: NBR 7211 e NBR 9935—Quais as alterações nas terminologias e especificações para os finos de pedreiras. **SUFFIB—SEMINÁRIO: O USO DA FRAÇÃO FINA DA BRITAGEM**, v. 2, 2005.

CUKIERMAN, J.; COSTA, M. R. M. M.; SEABRA, M. Programa de qualidade da cal hidratada para a construção civil – histórico do setor e avanço conquistados. In: **SBTA -Simpósio brasileiro de tecnologia das argamassas**, V., 2003, São Paulo. **Anais...** São Paulo: **ANTAC**, 2003, p. 177-189

DAVID, T.A., ALMEIDA, S.L.M., CUNHA, E.R., TAVARES, L.M.M. Produção de areia artificial em usina piloto na pedra sul mineração - **CETEM** - Rio de Janeiro- Junho-2004

DE ARAÚJO, D. D.; DE SOUZA F., K. M.; DE OLIVEIRA, C.M. C; Análise de desempenho de aditivos impermeabilizantes para argamassas. **I CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL X ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO Ambiente Construído**, julho 2004, São Paulo.

DE SOUZA KAZMIERCZAK, Claudio; ROSA, Mateus; ARNOLD, Daiana Cristina Metz. Influência da adição de fíler de areia de britagem nas propriedades de argamassas de revestimento. **Ambiente Construído**, v. 16, n. 2, p. 7-19.

DE SOUSA, José Getúlio Gomes; BRAUER, Elton. **Aplicação da Técnica de Perda de Água sob Sucção como Ferramenta na Caracterização das Argamassas de Revestimento no Estado Fresco.**

DRAGO, Cristina; DE VERNEY, José Carlos Krause; PEREIRA, Fernanda Macedo. Efeito da utilização de areia de britagem em concretos de cimento Portland. **Rem: Revista Escola de Minas**, v. 62, n. 3, p. 399-408, 2009.

DIFRAÇÃO E ESPECTROMETRIA DE RAIOS. ES33- **Laboratório de ensaios de materiais** disponível em [www.fem.unicamp.br/...ES333/ES333-Difracao\\_e\\_Fluorescencia\\_R-X.d](http://www.fem.unicamp.br/...ES333/ES333-Difracao_e_Fluorescencia_R-X.d). Acessado em 28 de junho de 2016

DOMAKOSKI, Julyene Ferreira da Silva. **Arranjo produtivo de cal e calcário do paraná – APLCPR: um estudo sob o enfoque da teoria dos custos de transação.** 2010. Dissertação. 148 f. Programa de Pós-Graduação em Contabilidade - Universidade Federal Do Paraná. Curitiba. 2010.

GAGNÉ, R.; AOUAD, I.; SHEN, J.; E POULIN, C..... Development of a new experimental technique for the study of the autogenous shrinkage of cement paste. **Materials and Structures**, v. 32, n. 9, p. 635-642, 1999.

GOMES, Adailton de Oliveira. Propriedades das argamassas de revestimento de fachadas. **Comunidade da Construção. UFBA.** Salvador, 2008.

GONÇALVES, Narciso. Silva. Argamassa de revestimento de cimento, cal e areia britada de rocha calcária, **Dissertação de mestrado**. Programa de Pós-Graduação em Construção Civil – PPGCC/UFPR. Curitiba-Pr-2006

GRIGOLI, A. S. Adições minerais inertes em argamassas de areia e cimento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 43, 2001 Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: Instituto Brasileiro do Concreto – **IBRACON**, 2001. I 006, 18 p. CD.

GUACELLI, PAULO ANÉLIO GARCIA. **Substituição da areia natural por areia de britagem de rochas basálticas para argamassas de revestimento**. 2010. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) -Escola de Engenharia, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2010. [Links].

GUACELLI, P. A. G; Risson, D. B. DE S.; Carbonari, B. M. T.; Substituição de areia de extração por areia de britagem para argamassa de revestimento **XI SBTA – Simposio Brasileiro De Tecnologia Das Argamassas**, Porto Alegre-RS. Abril de 2015

GUIMARÃES, J. E. P. **A cal – fundamentos e aplicações na engenharia civil**. 2. ed. São Paulo: Pini, 2002

H DONZA, O Cabrera, E.F Irassar, High-strength concrete with different fine aggregate, **Cement and Concrete Research**, v. 32, n. 11, p. 1755 - 1761, 2002

HONÓRIO, Túlio; CARASEK, Helena. Influência da absorção de água do substrato na resistência superficial de revestimentos de argamassa. In: **3ro Congresso Portugues de Argamassas de Construção, Lisboa, Portugal**. 2010.

ISHIKAWA, Paulo Hidemitsu; DE OLIVEIRA, PEREIRA. L." Propriedades da argamassa com areia artificial para revestimento de alvenaria. **Anais do**, v. 4, CONGRESSO PORTUGUÊS DE ARGAMASSAS E ETICS, **APFAC**, Coimbra, 2012.

LAFARGE BRASIL; **Lafarge Holcim**, Industria de cimentos. Acesso [www.lafarge.com.br](http://www.lafarge.com.br) Acessado em 10/11/2016

LA SERNA, HA de; REZENDE, Márcio Marques. Agregados para a construção civil. **DNPM–Departamento Nacional de Produção Mineral**: acessível em: [https://sistemas.dnpm.gov.br/publicacao/mostra\\_imagem.asp](https://sistemas.dnpm.gov.br/publicacao/mostra_imagem.asp), 2009.

MARGON, Patrícia Vilela. "**Influência do uso das cinzas de carvão mineral de termelétrica em argamassas de revestimento: dosagem por curvas granulométricas.**" (2003).

MARTINELLI, F. A.; HELENE, PRL. Usos, funções e propriedades das argamassas mistas destinadas ao assentamento e revestimento de alvenarias. **Boletim Técnico PCC/47**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1991.

MEDEIROS, J. S.; SABBATINI, F. H. Estudos sobre a técnica executiva de revestimentos de argamassa sobre paredes de alvenaria. In: **INTERNATIONAL SEMINAR ON STRUCTURAL MASONRY FOR DEVELOPING COUTRIES**. 1994. p. 594-607.

MEHTA, Povindar K.; MONTEIRO, Paulo JM; (1994) **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**, São Paulo: Editora Pini.

MINERAIS DO PARANÁ S.A. Plano Diretor de Mineração para a Região Metropolitana de Curitiba. Curitiba: **MINEROPAR**, 2004. 288 p.

**MR-6 RILEM**. International Union of Testing and Research Laboratories for Materials and Structures .Tendency of water separate from mortars. France: RILEM, 1982.

**MR-3. RILEM**. International Union of Testing and Research Laboratories for Materials and Structures The Complex Workability – Consistence – Plasticity. France, 1982

MONTAGNER, M; POZZOBON, C. E.; MODLER, L. E. A; Uma Contribuição Ao Estudo De Argamassas De Assentamento Utilizando Areia Artificial, Cal E Aditivo Plastificante. In XI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO. **ENTAC** Florianópolis-SC. 2006

NAKAKURA, Elza. Hissae; CINCOTTO, Maria Alba. Análise dos requisitos de classificação de argamassas de assentamento e revestimento. **Boletim técnico da Escola Politécnica da USP/DECC**, São Paulo, 2004.

NASCIMENTO FILHO, VIRGÍLIO F. Técnicas analíticas nucleares de fluorescência de raios X por dispersão de energia (EDXRF) e por reflexão total (TXRF). **Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**, Piracicaba,1999.

NIELSEN, A. **Rheology of building materials**. National Swedish building research. [S. l.]: [S. n.], 1929. Document D6.

NOGUEIRA, M. C. D., DIAS, G., SANTOS, J., BARROSO, E. Comparando argamassas produzidas com areias fluviais e com finos de pedreiras. **SUFFIB–SEMINÁRIO: O USO DA FRAÇÃO FINA DA BRITAGEM**, 2, 2005.

NUGENT, F. R. Ensaio com areia de britagem de rocha calcária - como melhorar seu concreto. In: **COLÓQUIO SOBRE AGREGADOS PARA CONCRETO. Anais...** São Paulo: **IBRACON**, 1979. p.1-29.

OHASHI, T. Maior planta de areia de britagem no Brasil. In: **SUFFIB – SEMINÁRIO: O USO DA FRAÇÃO FINA DA BRITAGEM**, 2, 2005, São Paulo. **Anais...** São Paulo: [s.n], 2005. 2p.

PANDOLFO, L. M.; MASUERO, A. B. Características das Areias de Basalto que Influenciam nas Propriedades das Argamassas. **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, SBTA v. 6**, 2005.

PASSOS, J. S et al. Fissuração De Argamassas De Revestimento Devido À Retração Plástica. **XII ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO ENTAC - 2008**

PERSON, ANNA-LENA. "Image analysis of shape and size of fine aggregates. **“Engineering Geology 50.1 (1998): 177-186**

PILEGGI, R. G. **Ferramentas para o estudo e desenvolvimento de concretos refratários**. São Carlos, 2001. 187 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de São Carlos.

QUARCIONI, V. A., CHOTOLI, F. F., ÂNGULO, S. C., GUILGE, M. S., CAVANI, G. D. R., CASTRO, A. L., & CINCOTTO, M. A. (2009). Estimativa da porosidade de argamassas de cimento e cal pelo método de cálculo de volumes. **Ambiente Construído**, 9(4), 175-187, 2009.

QUARCIONI, V. A. **Reconstituição de traço de argamassas: atualização do Método IPT**. São Paulo, 1998. 188p. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado)– Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

RAGO, F.; CINCOTTO, M. A. Influência do tipo da cal hidratada na reologia de pastas. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1999. **Boletim Técnico** n. 233

ROSELLO, M. T. V. **Morteros de cemento para albañilería**. Madrid, 1976.

SABBATINI, F. H. Patologia das argamassas de revestimentos – aspectos físicos. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE TECNOLOGIA DA CONSTRUÇÃO, 3, 1986, São Paulo. **Anais...** São Paulo: **Escola Politécnica da Universidade de São Paulo**, 1986, p. 69-76.

SABBATINI, F. H. Argamassas de assentamento para paredes de alvenaria resistente. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Construção Civil, **Boletim Técnico**, São Paulo, v. 2, 1994.

SANKH, AKSHAY C., et al. "Recent trends in replacement of Natural sand with different alternatives." Proceedings of the International Conference on Advances in **Engineering and Technology**. 2014.

SILVA, N. G.; BUEST, G. T.; CAMPITELI, V. C. "Argamassas com areia britada: influência dos finos e da forma das partículas." In: VI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, **Anais**, 2005a, Florianópolis. Florianópolis: **ANTAC**, 2005. p. 11-22

SILVA, Narciso G.; BUEST, Guilherme T.; CAMPITELI, Vicente C. A influência do filler de areia britada de rocha calcária nas propriedades da argamassa de revestimento. SEMINÁRIO: O USO DA FRAÇÃO FINA DA BRITAGEM II. 2005b, São Paulo. **Anais**, p. 1-12, 2005.

SILVA, Narciso G.; CAMPITELI, Vicente C. Influência dos finos e da cal nas propriedades das argamassas. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, XI. 2006, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: **ANTAC**, 2006a. p. 4343-4358.

SILVA, Narciso Gonçalves; CAMPITELI, Vicente Coney. **Módulo de elasticidade dinâmico de argamassa de revestimento**. 2006.

SILVA, N. G., COLLODETTI, G., PICHETTI, D. Z., JEAN, P., & GLEIZE, P. **Efeitos do ar incorporado nas propriedades do estado endurecido em argamassas de cimento e areia**. 2009.

SILVA, Narciso Gonçalves, VICENTE Coney Campiteli, AND PHILIPPE Jean Paul Gleize. "**Argamassa de revestimento de cimento, cal e areia de britagem de rocha calcária**." 2007.

SOUZA, J. G. G. de; LARA, P. L. de O; *In*.BAUER, Elton. Revestimentos de argamassa: características e peculiaridades. Brasília: **LEM-UnB/Sinduscon** DF, 2005.

SUMÁRIO MINERAL. Brasil: DNPM, Vol. 35, 2016. **ISSN 0101-2053**. <[https://sistemas.dnpm.gov.br/publicacao/mostra\\_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=9273](https://sistemas.dnpm.gov.br/publicacao/mostra_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=9273)> Acesso em abril, 2017.

TRISTÃO, F. A. **Influência dos Parâmetros Textuais das Areias nas Propriedades das Argamassas Mistas de Revestimento**, Florianópolis 2005, Dissertação (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina.

VEDACIT – Vedalit em, <http://www.vedacit.com.br/produtos/vedalit> - acessado em 16/05/2016.

## APÊNDICES

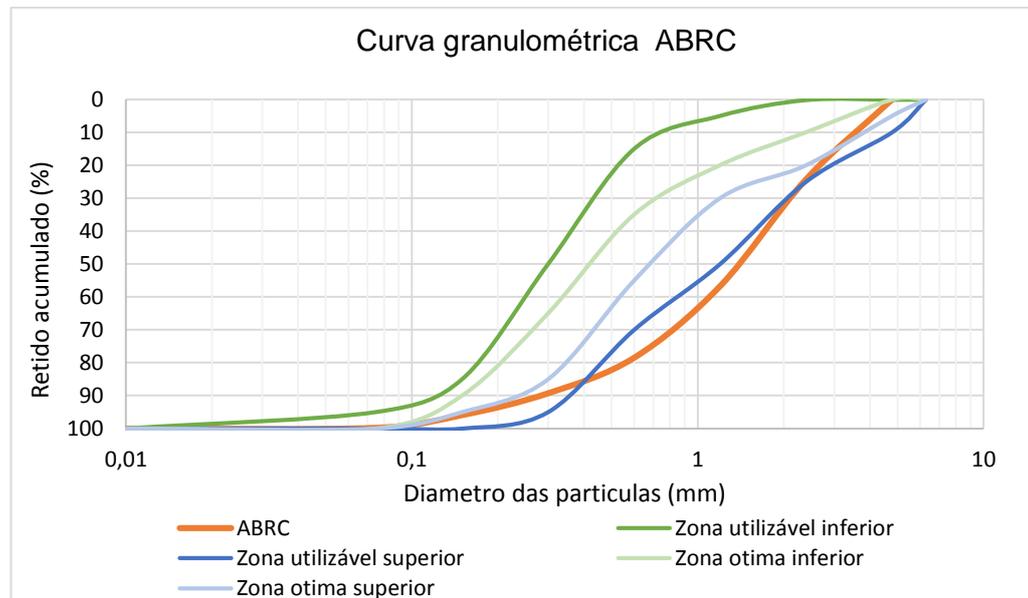
## APÊNDICE A

### CARACTERIZAÇÃO GRANULOMÉTRICA DAS AREIAS

**Tabela 24 - Granulometria, percentagens retidas acumuladas da ABRC - lavada**

Peneiras Ø (mm)	Amostra 1 R-(g)	Amostra 2 R- (g)	Amostra 3 R (g)	Media R- (g)	RA- (g)	RA- (%)
4,8	0	0	0	0	0	0
2,4	102,93	93,41	114,97	103,77	103,77	24,23
1,2	137,46	133,79	145,87	139,04	242,81	56,69
0,6	93,22	94,59	91,93	93,25	336,06	78,46
0,3	47,05	50,42	41,35	46,27	382,33	89,26
0,15	26,79	30,39*	27,94	28,37	410,07	95,88
0,075	17,52	18,85	13,30	16,56	427,26	99,75
Fundo	0,81	1,77	0,58	1,05	428,31	100,00
Total lavada	425,78	423,22	435,94	428,31		414,27
Total sem lavar	500	500	500	500		
Índices físicos resultantes do ensaio de granulometria						
MF	Soma das % RA= 414,27				4,14	
DMC (mm)	Média total RA = 428,31 5% = 21,42g				4,8	
MPPP 0,075mm (%)	14,84	15,37	12,81	14,34	14,34	
MP (%)	15,01	15,71	12,93	14,55	14,55	

Fonte: Autoria própria (2016)



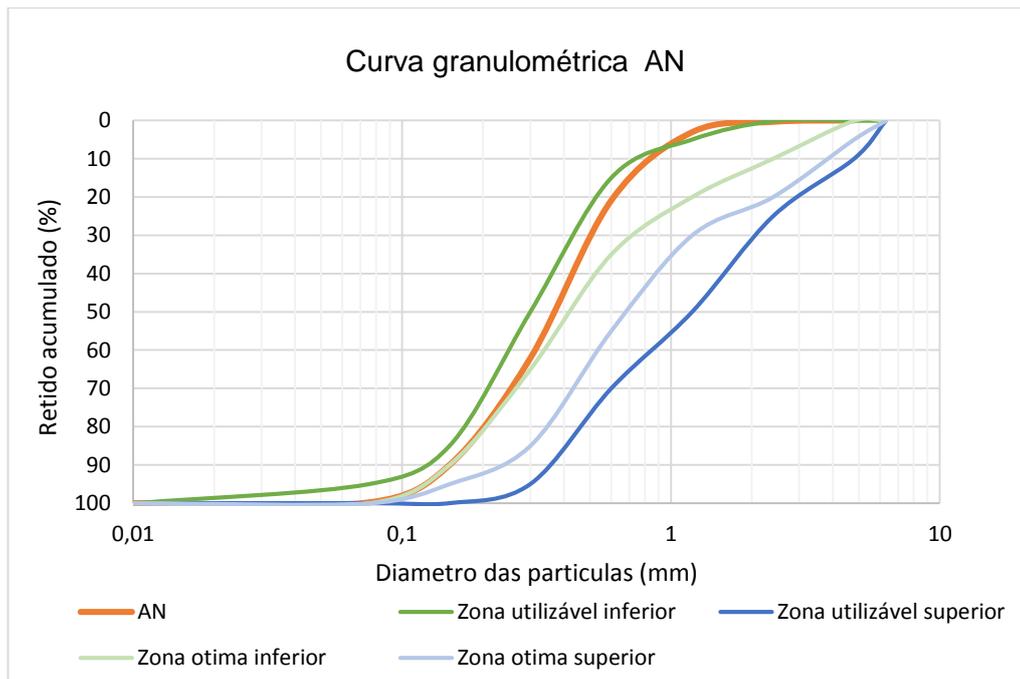
**Figura 58 - Curva granulométrica da ABRC.**

Fonte: Autoria própria (2016).

**Tabela 24 - Granulometria, percentagens retidas acumuladas da AN - lavada**

Peneiras Ø (mm)	Amostra 1 R-(g)	Amostra 2 R-(g)	Amostra 3 R (g)	Media R- (g)	RA- (g)	RA- (%)
4,8	0	0	0	0	0	0
2,4	1,88	2,17	1,29	1,78	1,78	0,37
1,2	11,92	13,77	12,76	12,82	14,6	3,04
0,6	82,46	89,79	84,04	85,43	1200,03	20,85
0,3	198,47	198,02	196,32	197,60	297,63	62,04
0,15	134,42	130,48	137,78	134,23	431,86	90,01
0,075	49,44	43,49	47,84	46,92	478,78	99,79
Fundo	1,31	1,20	10,46	0,99	479,77	100,00
Total lavada	479,90	478,92	480,49	479,77		276,20
Total sem lavar	500	500	500	500		
Índices físicos resultantes do ensaio de granulometria						
MF	Soma das % RA= 276,20				2,72	
DMC (mm)	Média total RA = 479,77 5% = 23,99g				1,2	
MPPP 0,075mm (%)	4,02	4,22	3,02	4,05	4,05	
MP (%)	4,28	4,46	5,59	4,78	4,78	

Fonte: Autoria própria (2016).

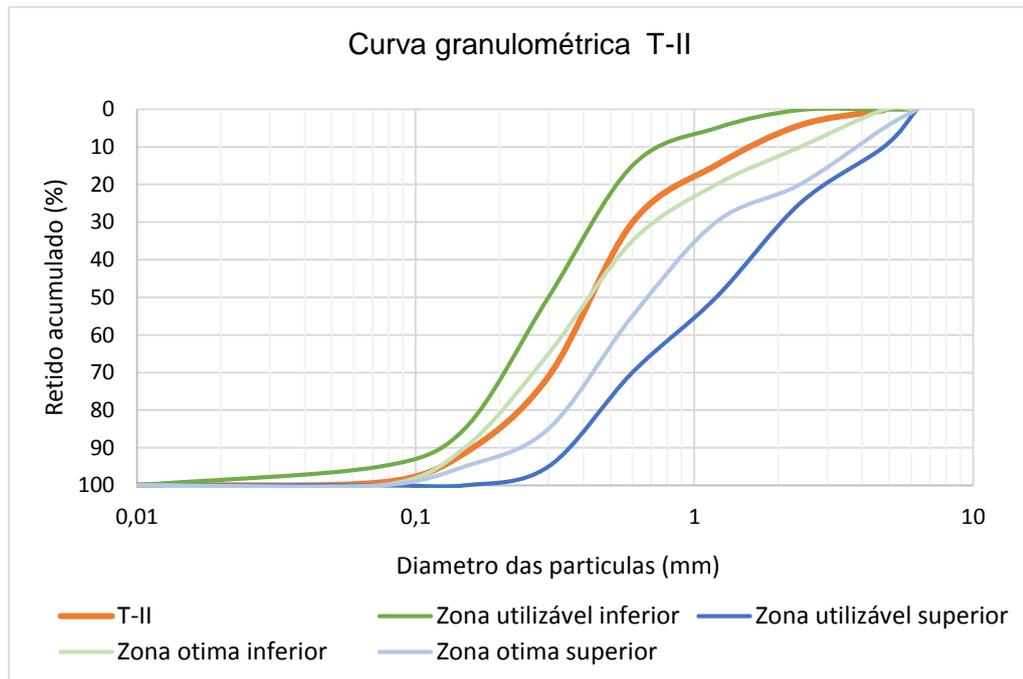
**Figura 59 - Curva granulométrica da AN.**

Fonte: Autoria própria (2016).

**Tabela 25 - Granulometria, percentagens retidas acumuladas de T-II - areias lavadas**

Peneiras Ø (mm)	Amostra 1 R-(g)	Amostra 2 R- (g)	Amostra 3 R (g)	Media R- (g)	RA- (g)	RA- (%)
4,8	0,24	0,36	0,61	0,40	0,40	0,026
2,4	96,63	8,27	87,72	64,21	64,61	4,26
1,2	157,51	158,02	166,12	160,55	225,16	14,86
0,6	165,30	274,36	254,57	231,41	456,57	30,13
0,3	623,94	631,40	605,72	620,35	1.076,92	71,08
0,15	239,69	342,71	344,04	308,81	1.385,73	91,46
0,075	119,69	108,54	125,07	117,77	1.503,70	99,25
Fundo	17,01	8,75	9,01	11,59	1.515,09	100,00
Total lavada	1.420,01	1532,41	1.592,86	1.515,09		
Total sem lavar	1.705,00	1.705,00	1.705,00	1.705,00		
Índices físicos resultantes do ensaio de granulometria						
MF	Soma das % RA= 311,3					3,11
DMC (mm)	Média total RA = 1.515,09 5% = 75,75g					2,4
MPPP 0,075mm (%)	16,71	10,12	6,58	11,14	11,14	
MP (%)	17,71	10,63	7,11	11,81	11,81	

Fonte: Autoria própria (2016)



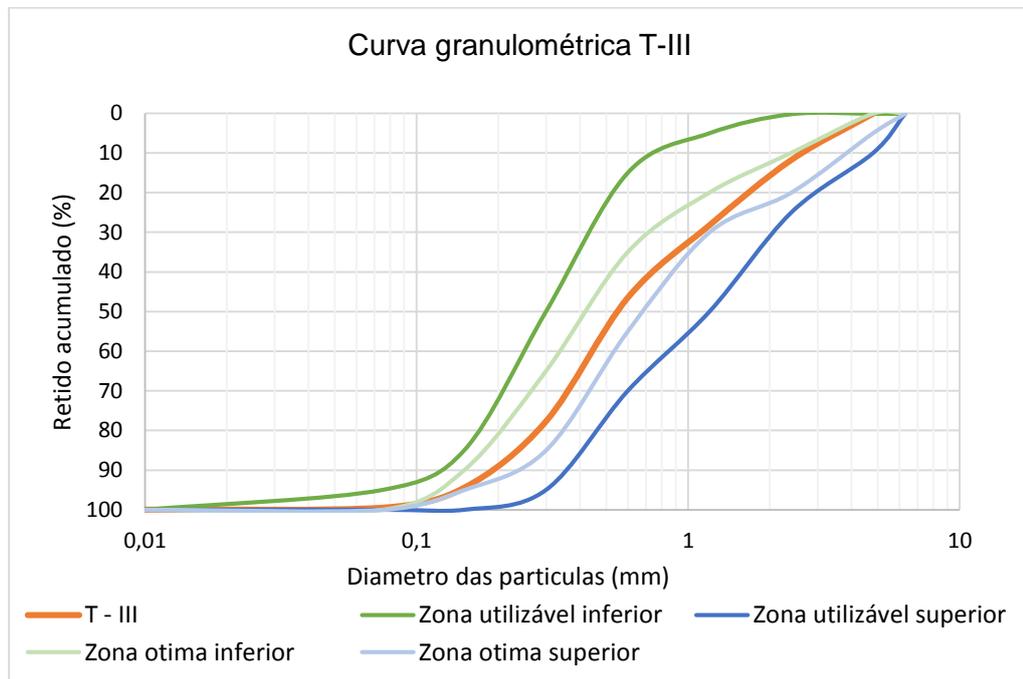
**Figura 60 - Curva granulométrica de T-II.**

Fonte: Autoria própria (2016).

**Tabela 26 - Granulometria, percentagens retidas acumuladas de T-III - areias lavadas**

Peneiras Ø (mm)	Amostra 1 R-(g)	Amostra 2 R- (g)	Amostra 3 R (g)	Media R- (g)	RA- (g)	RA- (%)
4,8	0,45	0,28	0,17	0,30	0,30	0,02
2,4	229,29	163,54	171,06	187,96	188,26	11,71
1,2	274,87	250,64	270,72	265,41	452,67	28,17
0,6	281,39	293,08	305,20	293,22	746,89	46,47
0,3	496,15	500,62	507,40	501,39	1.248,28	77,67
0,15	263,01	289,65	255,71	269,46	1.517,64	94,43
0,075	85,82	98,23	59,03	81,03	1.598,77	99,48
Fundo	14,99	4,31	5,72	8,34	1.607,11	100
Total lavada	1.645,97	1.600,35	1.575,01	1.607,11		357,95
Total sem lavar	1.751,00	1.751,00	1.751,00	1.751,00		
Índices físicos resultantes do ensaio de granulometria						
MF	Soma das % RA= 357,95					3,57
DMC (mm)	Média total RA = 1.607,11 5% = 80,36g					4,8
MPPP 0,075mm (%)	6,00	8,60	10,05	7,55	7,55	
MP (%)	6,85	8,84	10,38	8,69	8,69	

Fonte: Autoria própria (2016)

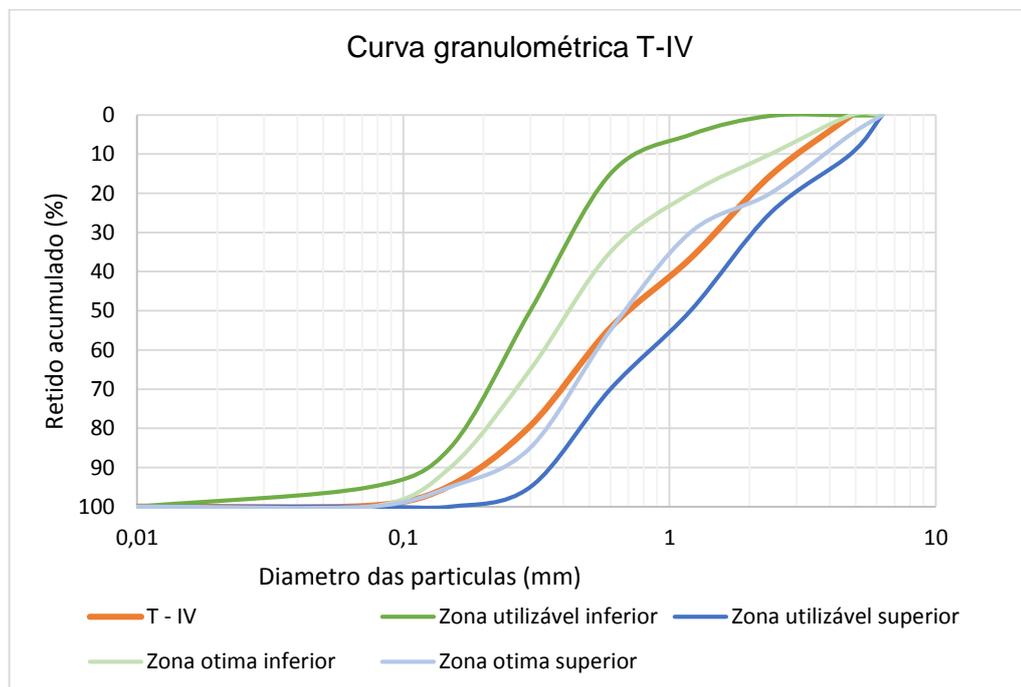
**Figura 61 - Curva granulométrica de T-III.**

Fonte: Autoria própria, 2016.

**Tabela 27 -- Granulometria, percentagens retidas acumula de T-IV - areias lavadas**

Peneiras Ø (mm)	Amostra 1 R-(g)	Amostra 2 R- (g)	Amostra 3 R (g)	Media R- (g)	RA- (g)	RA- (%)
4,8	0,28	4,68	0,82	1,93	1,93	0,12
2,4	223,17	233,46	263,93	240,17	242,10	15,37
1,2	299,03	338,65	363,12	333,60	575,70	36,55
0,6	290,51	287,14	262,13	279,93	855,63	54,32
0,3	428,75	382,95	371,20	394,30	1.249,93	79,36
0,15	235,88	241,74	244,47	240,70	1.490,63	94,64
0,075	91,95	53,19	97,27	80,80	1.571,43	99,77
Fundo	2,50	5,20	3,14	3,61	1.575,04	100
Total lavada	1.572,07	1.547,01	1.606,08	1.575,04		380,13
Total sem lavar	1.796,60	1.796,60	1.796,60	1.796,60		
Índices físicos resultantes do ensaio de granulometria						
MF	Soma das % RA= 380,13					3,80
DMC (mm)	Média total RA = 1.575,04 5% = 70,75g					4,8
MPPP 0,075mm (%)	12,50	13,89	10,60	12,33	12,33	
MP (%)	12,64	14,18	10,78	12,53	12,33	

Fonte: Autoria própria (2016).

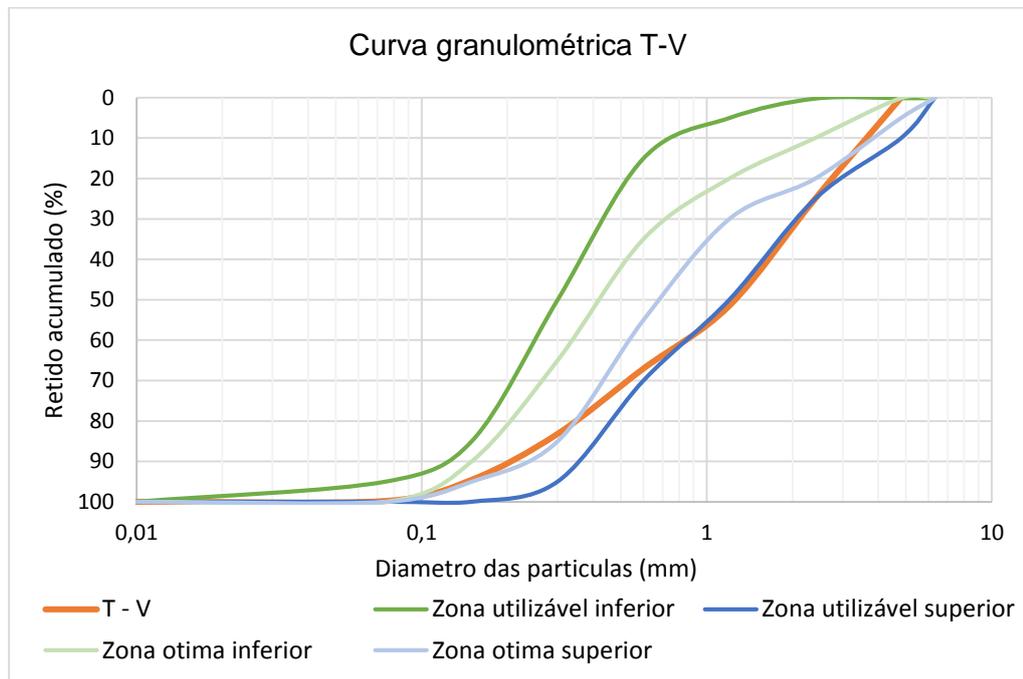
**Figura 62 - Curva granulométrica de T-IV.**

Fonte: Autoria própria (2016).

**Tabela 28 - Granulometria, percentagens retidas acumuladas de T-V - areias lavadas**

Peneiras Ø (mm)	Amostra 1 R-(g)	Amostra 2 R- (g)	Amostra 3 R (g)	Media R- (g)	RA- (g)	RA- (%)
4,8	0,48	2,17	1,07	1,24	1,24	0,08
2,4	388,71	360,65	468,29	405,88	407,12	25,05
1,2	405,69	435,08	449,87	430,21	837,33	51,53
0,6	255,27	252,32	249,54	252,38	1.089,71	67,05
0,3	274,71	260,25	251,56	262,17	1.351,88	83,19
0,15	186,10	199,72	168,17	184,66	1.536,54	94,55
0,075	88,75	88,87	77,90	85,17	1.621,71	99,79
Fundo	4,07	3,89	2,26	3,41	1.625,12	100
Total lavada	1.603,78	1.602,95	1.668,66	1625,12		421,24
Total sem lavar	1.843,00	1.843,00	1.843,00	1.843,00		
Índices físicos resultantes do ensaio de granulometria						
MF	Soma das % RA= 421,24					4,21
DMC (mm)	Média total RA = 1.625,12 5% = 81,26g					4,8
MPPP 0,075mm (%)	12,97	13,02	9,46	11,82	12,82	
MP (%)	13,20	13,24	9,58	12,01	12,01	

Fonte: Autoria própria (2016).

**Figura 63 - Curva granulométrica de T-V.**

Fonte: Autoria própria (2016).

## APÊNDICE B

### CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DAS AREIAS

**Tabela 29 - Absorção de água dos agregados – NBR NM 30 (ABNT. 2001)**

Dados	AN			ABRC		
	Amostra 1 (g)	Amostra 2 (g)	Amostra 3 (g)	Amostra 1 (g)	Amostra 2 (g)	Amostra 3 (g)
Massa inicial	1.000,00	1.000,00	1.000,00	1.000,00	1.000,00	1.000,00
Massa seca	1.001,93	1.003,42	1.017,26	1.019,19	1.030,80	1.039,36
Absorção individual (%)	0,19	0,34	1,75	1,92	3,08	3,94
Absorção de água (%)	0,76			2,98		

Fonte: Autoria própria (2016).

**Tabela 30 - Massa específica dos agregados. NBR NM 52 (ABNT, 2009).**

	AN			ABRC		
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
m <sub>1</sub> (g)	754,5	722,21	722,34	671,00	687,39	716,69
m <sub>2</sub> (g)	1.011,01	1.005,45	1.014,38	1.016,87	1.018,36	996,14
ρ <sub>a</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
V <sub>a</sub> (cm <sup>3</sup> )	256,56	283,24	292,04	345,87	330,97	279,45
V (cm <sup>3</sup> )	500,00	500,00	500,00	500,00	500,00	500,00
m (g)	498,98	498,73	498,58	482,43	486,22	483,35
d <sub>1</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	2,05	2,30	2,40	3,13	2,88	2,19
<b>Média d<sub>1</sub> (g/cm<sup>3</sup>)</b>	Massa específica aparente do agregado seco d <sub>1</sub> = 2,25 (g/cm <sup>3</sup> )			Massa específica aparente do agregado seco = 2,73 (g/cm <sup>3</sup> )		
m <sub>s</sub>	500,00	500,00	500,00	500,00	500,00	500,00
V	500,00	200,00	500,00	500,00	500,00	500,00
V <sub>a</sub> (cm <sup>3</sup> )	256,51	283,24	292,04	345,87	330,97	279,45
d <sub>2</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	2,05	2,31	2,40	3,24	2,96	2,27
<b>Média d<sub>2</sub> (g/cm<sup>3</sup>)</b>	Massa específica do agregado saturado superfície seca d <sub>2</sub> = 2,25 (g/cm <sup>3</sup> )			Massa específica do agregado saturado superfície seca d <sub>2</sub> = 2,82 (g/cm <sup>3</sup> )		
m (g)	498,98	498,73	498,58	482,43	486,22	493,50
V (cm <sup>3</sup> )	500,00	500,00	500,00	500,00	500,00	500,00
V <sub>a</sub> (cm <sup>3</sup> )	256,51	283,24	292,04	345,87	330,97	279,45
m <sub>s</sub> (g)	500,00	500,00	500,00	500,00	500,00	500,00
ρ <sub>a</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
d <sub>3</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	2,06	2,31	2,41	3,53	3,13	2,31
<b>Média d<sub>3</sub> (g/cm<sup>3</sup>)</b>	Massa específica d <sub>3</sub> = 2,26 (g/cm <sup>3</sup> )			Massa específica d <sub>3</sub> = 2,99 (g/cm <sup>3</sup> )		

Fonte: Autoria própria (2016)

Tabela 31 - Massa unitária os agregados NBR NM 45 (ABNT, 2006)

	AN			ABRC		
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
$m_r$ (Kg)	0,238	0,238	0,238	0,238	0,238	0,238
$m_{ar}$ (Kg)	13,786	13,920	14,100	13,7327	14,2926	14,3780
$V$ m <sup>3</sup> )	0,008544	0,008544	0,008544	0,008544	0,008544	0,008544
F	0,1173	0,1173	0,1173	0,1173	0,1173	0,1173
$\rho_{ap}$ (Kg/dm <sup>3</sup> )	1,5892	1,6048	1,6260	1,9829	1,6486	1,6892
<b>Média</b> $\rho_{ap}$ (Kg/dm <sup>3</sup> )	Massa unitária para o agregado seco $\rho_{ap} = 1,6067$ (Kg/dm <sup>3</sup> )			Massa unitária para o agregado seco - $\rho_{ap}$ (Kg/dm <sup>3</sup> ) = 1,7736		
$m_{ar}$ (Kg)	13,786	13,920	14,100	13,7327	14,2926	14,3780
$m_r$ (Kg)	0,238	0,238	0,238	0,238	0,238	0,238
$V$ m <sup>3</sup> )	0,008544	0,008544	0,008544	0,008544	0,008544	0,008544
F	0,1173	0,1173	0,1173	0,1173	0,1173	0,1173
A	0,76	0,76	0,76	2,98	2,98	2,98
$\rho_{as}$ (kg/dm <sup>3</sup> )	1,6013	1,6168	1,6384	20420	1,6977	1,7395
<b>Média</b> $\rho_{as}$ (kg/dm <sup>3</sup> )	Massa unitária do agregado saturado superfície seca - $\rho_{as}$ (kg/dm <sup>3</sup> ) = 1,6183			Massa unitária do agregado saturado superfície seca - $\rho_{as}$ (kg/dm <sup>3</sup> ) = 1,8264		
<b>MASSA UNITÁRIA PARA CADA TEOR DE UMIDADE (<math>\rho_h</math>)</b>						
$m_r$ (Kg)	0,238	0,238	0,238	0,238	0,238	0,238
$V$ m <sup>3</sup> )	0,008544	0,008544	0,008544	0,008544	0,008544	0,008544
F	0,1173	0,1173	0,1173	0,1173	0,1173	0,1173
Para h=0,5%						
$m_{ar}$ (Kg)	11,7537	11,3021	11,4847	13,0749	14,1271	13,7385
$\rho_h$ (Kg/dm <sup>3</sup> )	1,3508	1,2978	1,3192	1,5058	1,6292	1,5836
<b>Média</b>	1,3226			1,5729		
Para h=1%						
$m_{ar}$ (Kg)	10,5094	10,3625	10,2894	12,6222	13,2524	13,7741
$\rho_h$ (Kg/dm <sup>3</sup> )	1,2048	1,2106	1,1790	1,4527	1,5266	1,5878
<b>Média</b>	1,1981			1,5224		
Para h=2%						
$m_{ar}$ (Kg)	10,3020	9,7538	9,7934	12,1073	12,8840	12,6365
$\rho_h$ (Kg/dm <sup>3</sup> )	1,1805	1,1162	1,1372	1,1517	1,4834	1,4543
<b>Média</b>	1,1613			1,4543		
Para h=3%						
$m_{ar}$ (Kg)	9,9007	9,6882	9,5828	11,3748	12,4630	12,4157
$\rho_h$ (Kg/dm <sup>3</sup> )	1,1334	1,1085	1,1520	1,3063	1,4340	1,2884
<b>Média</b>	1,1313			1,3429		
Para h=4%						
$m_{ar}$ (Kg)	9,6771	9,6658	9,7724	11,1961	11,9211	11,7231
$\rho_h$ (Kg/dm <sup>3</sup> )	1,1072	1,1059	1,1183	1,2854	1,3704	1,1485
<b>Média</b>	1,1105			1,2681		
Para h=5%						
$m_{ar}$ (Kg)	9,6520	9,5442	9,5704	11,2505	11,9074	11,8617
$\rho_h$ (Kg/dm <sup>3</sup> )	1,1043	1,0916	1,0947	1,2918	1,3588	1,3634
<b>Média</b>	1,0935			1,338		
Para h=7%						
$m_{ar}$ (Kg)	9,7281	9,6527	9,7083	12,3805	12,8330	12,9327
$\rho_h$ (Kg/dm <sup>3</sup> )	1,1132	1,1043	1,1109	1,4243	1,4774	1,4891
<b>Média</b>	1,1095			1,4636		
Para h=9%						
$m_{ar}$ (Kg)	9,9667	10,3825	9,8782	13,8211	13,8749	14,1640
$\rho_h$	1,1412	1,1899	1,1308	1,5933	1,5996	1,6335
<b>Média</b>	1,1540			1,6108		

	AN			ABRC		
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
$m_r$ (Kg)	0,238	0,238	0,238	0,238	0,238	0,238
$V$ (m <sup>3</sup> )	0,008544	0,008544	0,008544	0,008544	0,008544	0,008544
F	0,1173	0,1173	0,1173	0,1173	0,1173	0,1173
<b>Para h=12%</b>						
$m_{ar}$ (Kg)	10,0356	10,3825	10,4034	15,1639	11,8118	15,2855
$\rho_h$ (Kg/dm <sup>3</sup> )	1,1493	1,1899	1,1924	1,7508	1,3576	1,7651
<b>Média</b>	1,1772			1,6978		

Fonte: Autoria própria (2016).

**Tabela 32 - Índice de volume de vazios dos agregados NBR NM 45 (ABNT, 2006)**

	AN		ABRC		
Índices	Dados	Ev(%)	Índices	Dados	Ev(%)
$d_1$ (g/cm <sup>3</sup> )	2,25	28,4265	$d_1$ (g/cm <sup>3</sup> )	2,73	34,7473
$\rho_w$ (kg/m <sup>3</sup> )	997,77		$\rho_w$ (kg/m <sup>3</sup> )	997,77	
$\rho_{ap}$ (kg/m <sup>3</sup> )	1,6067		$\rho_{ap}$ (kg/m <sup>3</sup> )	1,7736	

Fonte: Autoria própria (2016).

**Tabela 33 - Inchamento, umidades individuais da AN NBR 6467(ABNT, 2006)**

	Amostra 1			Amostra 2			Amostra 3		
h(%)	$m_i$	$m_f$	h	$m_i$	$m_f h$	h	$m_i$	$m_f h$	h
0,5	33,34	33,19	0,45	36,39	36,21	0,50	36,22	36,08	0,39
1	30,81	30,56	0,82	30,09	29,86	0,77	34,21	33,94	0,80
2	27,62	27,18	1,62	27,02	26,62	1,90	32,31	31,80	1,60
3	28,07	27,43	2,33	29,43	28,75	2,17	30,26	29,54	2,33
4	26,62	25,41	4,76	28,22	27,35	3,18	29,19	28,28	3,21
5	26,65	25,40	4,92	30,22	29,06	3,99	34,50	33,20	3,91
7	27,55	26,10	5,56	31,92	30,30	5,35	33,66	31,86	5,65
9	33,42	31,38	6,50	34,00	31,69	7,29	29,51	27,65	6,73
12	31,41	29,17	7,68	34,41	31,84	8,55	34,37	31,72	8,35

Fonte: Autoria própria (2016).

**Tabela 34 - Inchamento, umidades individuais da ABRC NBR 6467(ABNT, 2006)**

	Amostra 1			Amostra 2			Amostra 3		
h(%)	$m_i$	$m_f$	h	$m_i$	$m_f h$	h	$m_i$	$m_f h$	h
0,5	23,34	23,15	0,82	28,83	28,57	0,91	29,53	29,34	0,65
1	24,82	24,58	0,98	34,22	33,82	1,18	27,39	27,17	0,81
2	20,64	20,40	1,76	33,93	33,34	1,76	26,93	26,49	1,66
3	20,90	20,30	2,96	24,59	23,80	3,32	24,99	24,38	2,50
4	20,86	20,07	3,36	24,74	23,74	4,21	14,95	14,46	3,40
5	21,89	20,84	4,61	23,46	22,33	5,06	22,69	21,70	4,56
7	24,58	22,95	7,10	26,42	24,72	6,88	26,66	25,00	6,64
9	25,94	24,74	8,89	30,94	28,50	8,56	28,57	26,31	8,59
12	29,31	26,27	11,57	33,59	30,09	11,63	33,26	29,98	10,94

Fonte: Autoria própria (2016).

**Tabela 35 - Inchamento das areias média das umidades da AN NBR 6467 (ABNT, 2006)**

h% - AN									
	0,5%	1%	2%	3%	4%	5%	7%	9%	12%
A-1	0,45	0,82	1,62	2,33	4,76	4,92	5,53	6,50	7,68
A-2	0,50	0,77	1,90	2,17	3,18	3,99	5,35	7,29	8,55
A-3	0,39	0,80	1,60	2,33	3,21	3,91	5,65	6,73	8,35
Média	0,45	0,80	1,71	2,28	3,72	4,27	5,51	6,81	8,19
h% - ABRC									
A-1	0,82	0,98	1,76	2,96	3,36	4,61	7,10	8,89	11,57
A-2	0,91	1,18	1,76	3,32	4,21	5,06	6,88	8,56	11,63
A-3	0,65	0,81	1,66	2,50	3,40	4,56	6,64	8,59	10,94
Média	0,79	0,99	1,73	2,93	3,66	4,74	6,87	8,68	11,38

Fonte: Autoria própria (2016).

**Tabela 36 - Coeficiente de inchamento, para AN e ABRC NBR 6467 (ABNT, 2006)**

AN									
	0,5%	1%	2%	3%	4%	5%	7%	9%	12%
$\rho_s(g/m^3)$	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61
$\rho_h(g/m^3)$	1,32	1,20	1,16	1,13	1,11	1,09	1,11	1,15	1,17
h(%)	0,45	0,80	1,71	2,28	3,72	4,27	5,51	6,81	8,19
$v_h/v_s$	1,23	1,33	1,44	1,46	1,51	1,54	1,53	1,50	1,49
ABRC									
$\rho_s(g/m^3)$	1,77	1,77	1,77	1,77	1,77	1,77	1,77	1,77	1,77
$\rho_h(g/m^3)$	1,57	1,52	1,45	1,34	1,26	1,33	1,46	1,61	1,71
h(%)	0,79	0,99	1,73	2,93	3,66	4,74	6,87	8,68	11,38
$v_h/v_s$	1,14	1,18	1,241	1,34	1,47	1,39	1,30	1,19	1,15

Fonte: Autoria própria (2016).

**Tabela 37 - Coeficiente de inchamento, para curvas NBR 6467 (ABNT, 2006).**

Umidade (%)	Coeficiente de inchamento - $v_h/v_s$	
	AN	ABRC
0,0	1,00	1,00
0,5	1,23	1,14
1	1,33	1,18
2	1,44	1,24
3	1,46	1,31
4	1,51	1,47
5	1,54	1,39
7	1,53	1,30
9	1,50	1,19
12	1,49	1,15

Fonte: Autoria própria (2016).

**Tabela 38 - Umidade superficial, NBR 9775 (ABNT 2011)**

	AN	ABRC
Amostra 1	5,18	8,41
Amostra 2	6,47	8,75
Amostra 3	4,53	8,04
Média (%)	5,39	8,40

Fonte: Autoria própria (2016).

## GRÁFICOS DAS CURVAS DE INCHAMENTO

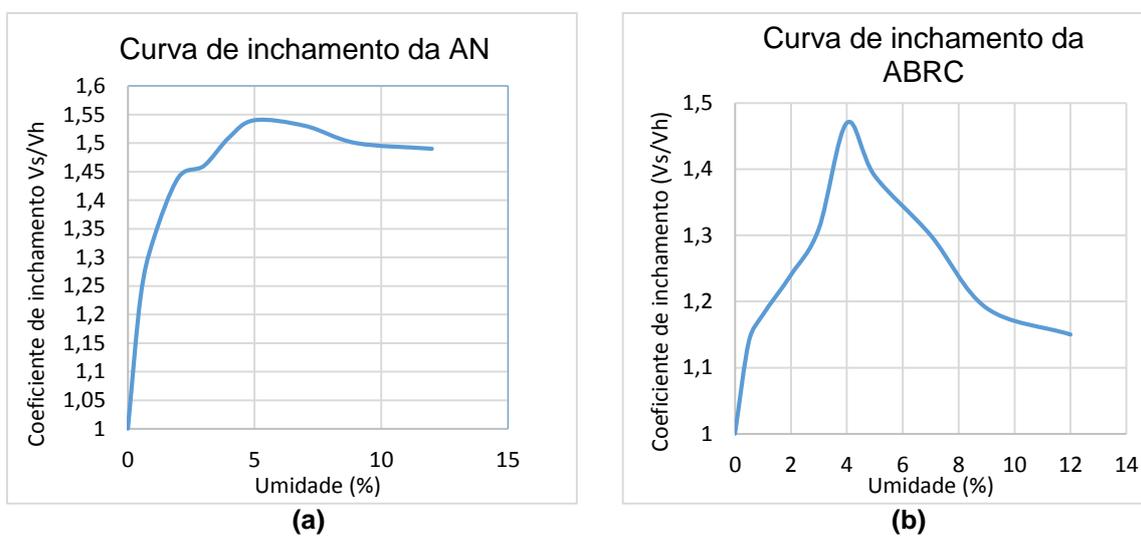


Figura 64 - Curvas de inchamento. (a) AN e (b) ABRC  
Fonte: Autoria própria (2016).

## APÊNDICE C

### RESULTADOS DA CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO

**Tabela 39 - Índice de consistência das argamassas NBR 13276 (ABNT, 2005)**

Leituras	T-I	T-II	T-III	T-IV	T-V
1ª (mm)	257,38	275,34	286,34	289,25	288,32
2ª (mm)	268,98	273,66	281,07	285,08	286,50
3ª (mm)	267,03	271,57	273,45	287,75	284,61
Soma	793,39	820,57	840,86	862,08	820,57
Média (mm)	264,46	273,52	280,29	287,36	285,48
Variância	38,5808	33,5672	33,5672	4,4613	3,44143
Desvio padrão	6,21134	5,78871	5,78871	2,112179	1,85511
Coeficiente de variância (%)	2,34866	2,10690	2,10690	0,735029	0,647561

Fonte: Autoria própria (2016)

**Tabela 40 - Análise da ANOVA com 95% de confiança para o índice de consistência**

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	Valor-P	F crítico
Entre grupos	1101,251	4	275,3128	14,95468	0,000318	3,47805
Dentro dos grupos	184,0981	10	18,40981			
Total	1285,349	14				

Fonte: Autoria própria (2016).

**Tabela 41 - Teste Tukey - Índice de consistência. Intervalo de confiança 95%**

Traços	Classificação				
	T-IV	T-V	T-III	T-II	T-I
Grupo	a	a	ab	bc	c

Fonte: Autoria própria (2016).

**Tabela 42 - Densidade de massa da argamassa no estado fresco NBR 13278 (ABNT, 2005)**

	T-I	T-II	T-III	T-IV	T-V	
Mv (g) (Constante)	45,61	45,61	45,61	45,61	45,61	
Vr(ml) (Constante)	664,39	664,39	664,39	664,39	664,39	
Mc (g)	Amostra-1	1.287,25	1.323,83	1.365,72	1.417,66	1.466,88
	Densidade-1	1.868,84	1.923,90	1.986,95	2.065,12	2.139,18
	Amostra-2	1.286,09	1.309,62	1373,70	1.482,15	1.484,60
	Densidade-2	1.867,10	1.902,52	1.998,96	2.162,94	2.165,88
	Amostra-3-3	1.242,56	1.265,41	1.317,55	1.430,88	1.488,19
Densidade-3	1.801,57	1.835,91	1.914,24	2.084,12	2.161,28	
Soma	5537,51	5662,3	5900,15	6312,18	6466,34	
Média da densidade (Kg/m³)	1.846,00	1.917,00	1.967,00	2.108,00	2.155,00	
Variância	1470,41	2106,039	2101,41	2690,39	203,7433	
Desvio padrão	38,34593	45,89161	45,84114	51,86898	14,27387	
CV (%)	2,077428	2,431416	2,380846	2,465185	0,662223	

Fonte: Autoria própria, (2016).

**Tabela 43 - Análise da ANOVA com 95% de confiança para densidade de massa da argamassa no estado fresco**

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	Valor-P	F crítico
Entre grupos	216621,8	4	54155,45	31,5886	1,2E-05	3,47805
Dentro dos grupos	17143,99	10	1714,399			
Total	233765,8	14				

Fonte: Autoria própria (2016).

**Tabela 44 - Teste Tukey - Densidade de massa no estado fresco- Intervalo de confiança 95%**

Traços	Classificação				
	T-V	T-IV	T-III	T-II	T-I
Grupo	a	a	b	bc	c

Fonte: Autoria própria (2016).

**Tabela 45 -- Teor de ar incorporado na argamassa no estado fresco. NBR 13278 (ABNT, 2005)**

Leituras	T-I	T-II	T-III	T-IV	T-V	
Densidade-d (g/cm <sup>3</sup> )						
Amostra- 1	1,87	1,92	1,99	2,07	2,14	
Amostra- 2	1,87	1,90	1,99	2,16	2,17	
Amostra-3	1,80	1,84	1,91	2,08	2,16	
Cálculo da densidade d <sub>t</sub>						
Mi	Cimento	438	438	438	438	438
	Água	291	291	291	291	291
	AN	1.659	1327,20	995,40	663,20	331,80
	ABRC	0	377,0	755,60	1.133,40	1.511,20
∑Mi	2.388,00	2.434,00	2.480,00	2526,00	2.572,00	
pi	Cimento	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2
	Água	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	AN	2,26	2,26	2,26	2,26	2,26
	ABRC		2,99	2,99	2,99	2,99
∑ pi	6,46	9,45	9,45	9,45	9,45	
d <sub>t</sub>	2,06	2,13	2,21	2,30	2,38	
Teor de ar incorporado						
Amostra- 1	9,22	9,86	9,95	10,00	10,08	
Amostra- 2	9,22	10,79	9,95	6,09	8,24	
Amostra-3	12,62	13,62	13,57	9,56	9,24	
Média (%)	10,35	11,42	11,16	8,56	9,18	
Variância	3,85333	3,835233	4,368133	4,5871	0,848533	
Desvio padrão	1,96291	1,958375	2,09008	2,141752	0,921159	
CV(%)	18,9599	17,14364	18,73327	25,04973	10,02713	

Fonte: Autoria própria (2016).

**Tabela 46 - Análise da ANOVA com 95% de confiança para o teor de ar incorporado da argamassa no estado fresco**

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	Valor-P	F crítico
Entre grupos	18,48849	4	4,622123	1,321185	0,327096	3,47805
Dentro dos grupos	34,98467	10	3,498467			
Total	53,47316	14				

Fonte: Autoria própria (2016).

**Tabela 47 - Teste Tukey-Teor de ar incorporado Intervalo de confiança 95%**

Traços	Classificação				
	T-II	T-III	T-I	T-V	T-IV
Grupo	a	a	a	a	a

Fonte: Autoria própria (2016).

**Tabela 48 - Retenção de água da argamassa no estado fresco ABNT 113277 (ABNT, 2005)**

	T-I	T-II	T-III	T-IV	T-V	
(g)	2.097,00	2.143,00	2.189,00	2.235,00	2.281,00	
m <sub>w</sub> (g)	291	291	291	291	291	
AF	0,123	0,119	0,117	0,116	0,113	
m <sub>v</sub> (g)	1.239,71	1.244,65	1.247,60	1.248,75	1.245,62	
m <sub>a</sub> (g)	2.273,46	2.338,61	2.306,84	2.400,59	2.370,40	
Amostra						
t	m <sub>s</sub> (g)	2.253,12	2.313,48	2.281,79	2.372,07	2.342,29
5min	RA%	84	81	80	79	78
t	m <sub>s</sub> (g)	2.250,12	2.310,74	2.278,28	2.368,00	2.338,45
15min	RA%	82	78	77	76	75
t	m <sub>s</sub> (g)	2.249,3	2.304,59	2.275,32	2.366,82	2.336,70
15min	RA%	80	76	75	74	73
Média (%)		0,82	0,78	0,77	0,76	0,75
Variância		0,0064	0,000633	0,000633	0,00063	0,000633
Desvio padrão		0,02	0,025166	0,025166	0,025166	0,025166
CV(%)		2,439	3,212696	3,254239	3,296871	3,340065

Fonte: Autoria própria (2016).

**Tabela 49 - Análise da ANOVA com 95% de confiança para a retenção de água da argamassa no estado fresco**

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	Valor-P	F crítico
Entre grupos	0,007907	4	0,001977	3,369318	0,054263	3,47805
Dentro dos grupos	0,005867	10	0,000587			
Total	0,013773	14				

Fonte: Autoria própria (2016).

**Tabela 50 - Teste Tukey - Retenção de água. Intervalo de confiança de 95%**

Traços	Classificação				
	T-I	T-II	T-III	T-IV	T-V
Grupo	a	ab	ab	ab	b

Fonte: Autoria própria (2016)

**Tabela 51 - Exsudação das argamassas no estado fresco. RM – 6. RILEM**

	T-I	T-II	T-III	T-IV	T-V
Massa da água de amassamento (g)	291	291	291	291	291
<b>t - 15min</b>					
Massa lida (g)	0,59	1,85	1,36	1,62	0,97
Exsudação (%)	0,20	0,64	0,47	0,56	0,33
<b>t - 30min</b>					
Massa lida (g)	1,52	2,20	2,12	3,34	1,81
Exsudação (%)	0,52	0,76	0,73	1,15	0,62
<b>t - 60min</b>					
Massa lida (g)	3,70	5,25	2,93	4,74	4,55
Exsudação (%)	1,27	1,80	1,07	1,63	1,56
<b>t - 120min</b>					
Massa lida (g)	3,19	2,55	2,55	4,04	3,57
Exsudação (%)	1,10	1,58	0,88	1,39	1,23
<b>t - 240min</b>					
Massa lida (g)	2,48	3,70	2,18	3,19	1,03
Exsudação (%)	0,85	1,27	0,75	1,10	0,35
Média (%)	0,814	1,21	0,7	1,166	0,818
Variância	0,17373	0,254	0,0484	0,15933	0,30417
Desvio padrão	0,41689	0,503984	0,22	0,399162	0,55156
Coefficiente de variância (%)	51,2057	41,658	28,20513	34,23342	67,4221

Fonte: Autoria própria (2016).

**Tabela 52 - Análise ANOVA para exsudação das argamassas no estado fresco Intervalo de confiança 95%.**

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	Valor-P	F crítico
Entre grupos	0,893936	4	0,223484	1,189213	0,345892	2,866081
Dentro dos grupos	3,75852	20	0,187926			
Total	4,652456	24				

Fonte: Autoria própria (2016)

**Tabela 53 - Teste Tukey - Exsudação. Intervalo de confiança de 95%**

	CLASSIFICAÇÃO				
Traços	T-II	T-IV	T-V	T-I	T-III
Grupo	a	a	a	a	a

Fonte: Autoria própria (2016).



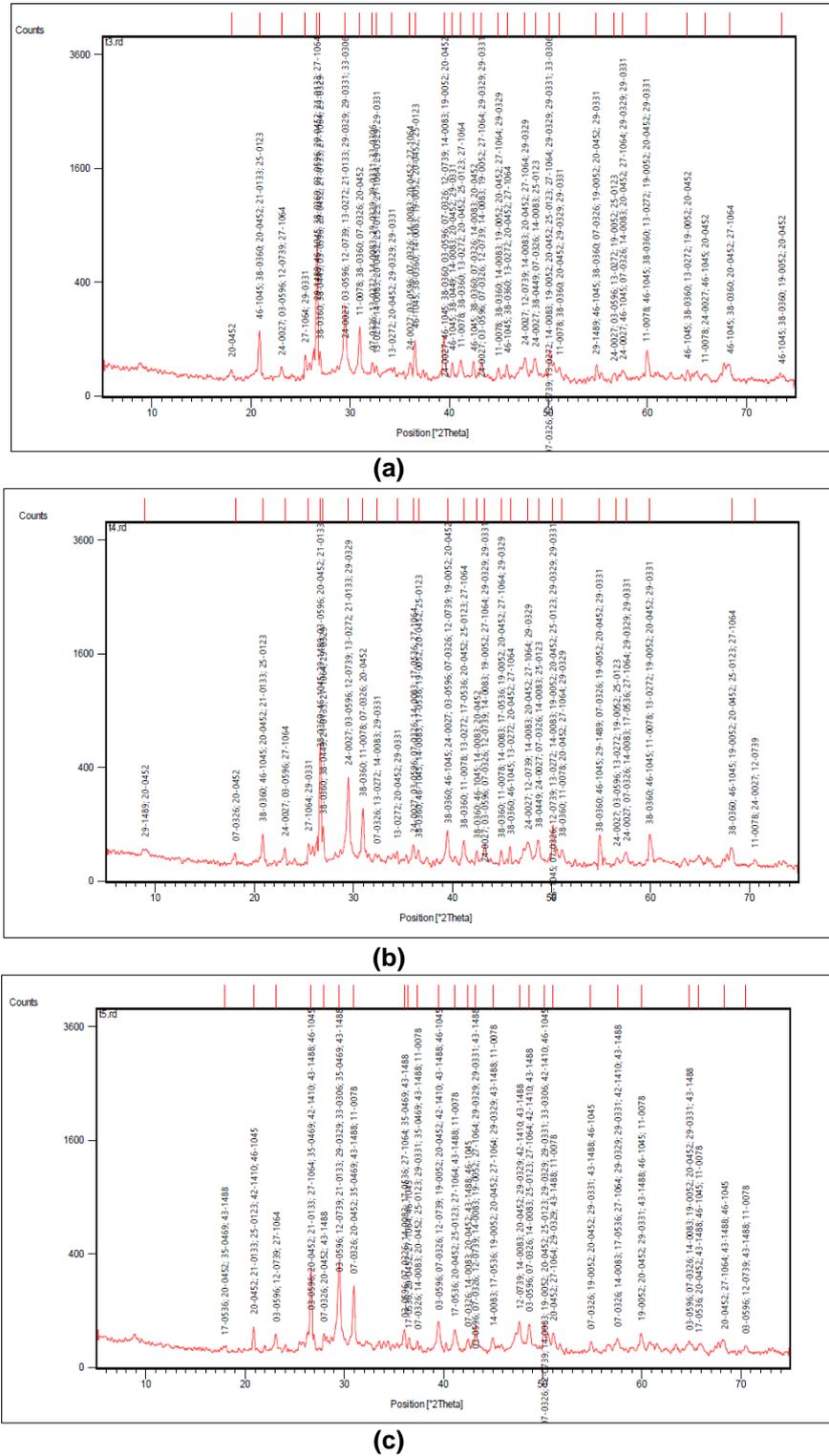


Figura 66 - Difratoigramas das argamassas no estado endurecido (a) T-III, (b) T IV; (c) T-V  
Fonte: Autoria própria (2016).

**Tabela 54 - Volume dos corpos de prova, para cálculo da densidade de massa no estado endurecido NBR 13280 (ABNT, 2005)**

	h-1 (mm)	h-2 (mm)	l-1 (mm)	l-2 (mm)	c-1 (mm)	c-2 mm)	Volume (cm <sup>3</sup> )
<b>Traço-T-I</b>							
C-1	40,48	40,65	40,53	41,05	161,61	161,61	268,43
C-2	40,30	40,93	40,22	41,23	161,49	161,45	267,14
C-3	41,13	41,19	40,28	41,14	161,24	161,07	270,04
C-4	40,49	40,18	41,69	40,47	161,45	161,52	267,62
C-5	40,61	40,73	40,51	40,86	161,69	161,67	265,92
C-6	40,51	40,58	38,86	41,46	161,49	161,48	262,74
<b>Traço-T-II</b>							
C-1	40,72	40,22	41,16	40,97	160,80	160,90	267,67
C-2	40,55	40,51	40,95	41,30	162,00	161,50	269,64
C-3	40,45	40,33	41,37	40,72	161,90	1162,30	268,76
C-4	40,54	41,47	40,17	40,81	160,84	160,94	260,93
C-5	40,36	40,65	40,03	40,53	161,19	161,24	262,42
C-6	40,44	40,83	39,50	40,50	161,64	161,71	261,53
<b>Traço-T-III</b>							
C-1	43,52	40,82	41,39	41,75	162,05	161,17	283,30
C-2	40,24	40,75	41,00	41,24	160,70	160,74	266,07
C-3	40,78	40,21	41,93	41,42	160,18	160,74	271,74
C-4	40,47	40,53	41,60	40,83	166,68	161,07	269,24
C-5	39,78	40,42	41,59	40,46	161,10	160,73	266,41
C-6	41,09	40,75	41,28	41,48	161,72	161,29	273,49
<b>Traço-T-IV</b>							
C-1	40,15	40,13	40,86	40,07	161,87,	161,53	262,68
C-2	40,47	40,44	39,78	41,11	161,98	161,23	264,52
C-3	40,38	40,15	39,54	41,07	162,43	162,53	266,07
C-4	40,45	40,06	40,29	40,66	160,06	160,09	275,21
C-5	40,68	40,33	40,74	41,78	169,32	160,04	275,67
C-6	40,64	40,50	41,63	41,30	160,02	159,92	270
<b>Traço- T-V</b>							
C-1	40,81	40,69	40,64	40,52	160,98	150,35	266,10
C-2	40,45	40,59	40,95	40,78	166,92	160,91	266,49
C-3	40,19	41,78	40,10	40,47	161,10	160,87	267,80
C-4	40,31	40,55	39,60	40,84	162,16	161,29	262,98
C-5	40,10	4031	40,34	41,69	161,12	161,17	266,33
C-6	40,42	40,35	41,28	40,12	161,11	161,14	264,94

Fonte: Autoria própria (2016)

**Tabela 55 - Densidade de massa no estado endurecido. NBR 13280 (ABNT, 2005)**

	T-I	T-II	T-III	T-IV	T-V
<b>CP-1</b>					
Massa (g)	482,95	498,13	550,05	535,27	551,93
Volume (cm <sup>3</sup> )	268,43	267,67	283,30	262,68	266,10
$\rho$ máx. (Kg/m <sup>3</sup> )	1.799	1.861	1.942	2.038	2.074
<b>CP-2</b>					
Massa (g)	485,99	500,06	513,65	540,05	547,50
Volume (cm <sup>3</sup> )	267,14	267,14	266,07	264,52	266,49
$\rho$ máx. (Kg/m <sup>3</sup> )	1.819	1.872	1.931	2.042	2.054
<b>CP-3</b>					
Massa (g)	483,61	500,65	518,12	532,89	543,68
Volume (cm <sup>3</sup> )	270,04	268,76	271,74	266,07	267,80
$\rho$ máx. (Kg/m <sup>3</sup> )	1.790	1.863	1.907	2.003	2.030
<b>CP-4</b>					
Massa (g)	488,41	484,32	511,65	523,00	536,74
Volume (cm <sup>3</sup> )	267,62	260,93	269,24	275,21	262,98
$\rho$ máx. (Kg/m <sup>3</sup> )	1.825	1.856	1.900	1.900	2.040
<b>CP-5</b>					
Massa (g)	478,01	418,63	514,87	530,17	541,10
Volume (cm <sup>3</sup> )	265,92	266,41	275,67	275,67	266,33
$\rho$ máx. (Kg/m <sup>3</sup> )	1.798	1.571	1.868	1.923	2.032
<b>CP-6</b>					
Massa (g)	490,39	481,84	529,02	534,58	541,12
Volume (cm <sup>3</sup> )	262,74	261,53	273,49	270	264,94
$\rho$ máx. (Kg/m <sup>3</sup> )	1.866	1.842	1.934	1.980	2.042
Média (%)	1816	1810	1913	1981	2045
Variância	775,767	13902,17	766,6667	3476	269,867
Desvio padrão	27,8528	117,9075	27,68876	58,95762	16,4279
Coeficiente de variância (%)	1,53352	6,511226	1,446895	2,976154	0,80316

Fonte: Autoria própria (2016)

**Tabela 56 - Análise ANOVA com 95% de confiança para densidade de massa no estado endurecido.**

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	Valor-P	F crítico
Entre grupos	251702,8667	4	62925,717	16,395046	1,032E-06	2,75871
Dentro dos grupos	95952,33333	25	3838,0933			
Total	347655,2	29				

Fonte: Autoria própria, 2016

**Tabela 57 - Teste Tukey-Densidade de massa no estado endurecido intervalo de confiança 95%**

Traços	Classificação				
	T-V	T-IV	T-III	T-I	T-II
Grupo	a	ab	bc	c	c

Fonte: Autoria própria (2016 0

**Tabela 58 - Ascensão capilar medida nos corpos de prova rompidos por compressão axial após 72hs de absorção, NBR 15259 (ABNT, 2005)**

Traços	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6	Média (cm)
T-I	4,809	5,122	5,146	4,765	5,268	4,629	4,96
T-II	0,946	0,951	1,130	0,935	11,333	1,235	1,11
T-III	1,095	4,056	1,256	0,676	0,746,	0,871	1,46
T-IV	0,788	2,887	2,480	1,142	1,866	0,862	1,50
T-V	1,1171	1,008	0,868	0,818	0,747	0,802	0,90

Fonte: Autoria própria (2016)

**Tabela 59 - Coeficiente de capilaridade e absorção de água por capilaridade. NBR 15257 (ABNT,2005)**

	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6
S=Área (cm <sup>2</sup> )	16	16	16	16	16	16
<b>Traço - T-I</b>						
m <sub>s</sub> (g)	325,63	329,14	325,81	329,76	330,35	325,65
m <sub>sat</sub> (g) t/10min	328,25	334,17	330,40	331,38	331,98	327,45
m <sub>sat</sub> (g) t/90min	330,10	335,98	331,77	332,37	332,89	328,46
Coeficiente de capilaridade (g/dm <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> )	1,85	1,81	1,97	1,49	0,91	1,01
	Média do coeficiente de capilaridade = 1,51					
m <sub>sat</sub> (g) t/3h	335,35	340,65	336,18	335,70	336,19	332,04
C (g/cm <sup>2</sup> )	0,61	0,72	0,85	0,37	0,37	0,40
m <sub>sat</sub> (g) t/6h	338,97	343,92	339,31	338,43	338,72	335,23
C (g/cm <sup>2</sup> )	0,83	0,92	0,84	0,54	0,52	0,60
m <sub>sat</sub> (g) t/24h	340,64	345,05	340,22	339,59	339,90	336,76
C (g/cm <sup>2</sup> )	0,94	0,99	0,90	0,61	0,60	0,69
m <sub>sat</sub> (g) t/48h	342,04	346,99	341,95	340,75	341,05	338,42
C (g/cm <sup>2</sup> )	1,02	1,30	1,01	0,69	0,67	0,80
m <sub>sat</sub> (g) t/72h	343,97	348,05	343,54	341,95	342,89	340,07
C (g/cm <sup>2</sup> )	1,15	1,18	1,11	0,77	0,78	0,90
<b>Traço - T-II</b>						
m <sub>s</sub> (g)	342,67	333,09	341,35	339,83	341,84	339,86
m <sub>sat</sub> (g) t/10min	343,46	33,92	342,103	340,66	342,57	340,53
m <sub>sat</sub> (g) t/10min	343,91	334,30	342,56	341,15	343,01	340,58
Coeficiente de capilaridade (g/dm <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> )	0,45	0,38	0,46	0,49	0,44	0,05
	Média do coeficiente de capilaridade = 0,38					
m <sub>sat</sub> (g) t/3h	345,41	335,90	343,96	342,60	344,86	342,30
C (g/cm <sup>2</sup> )	0,17	0,13	0,18	0,17	0,19	0,15
m <sub>sat</sub> (g) t/6h	347,11	337,34	345,54	344,19	346,92	343,60
C (g/cm <sup>2</sup> )	0,28	0,27	0,26	0,27	0,32	0,23
m <sub>sat</sub> (g) t/24h	347,92	337,97	346,26	344,83	347,94	344,43
C (g/cm <sup>2</sup> )	0,33	0,31	0,31	0,31	0,39	0,29
m <sub>sat</sub> (g) t/48h	349,03	338,90	347,03	345,42	348,36	346,82
C (g/cm <sup>2</sup> )	0,40	0,36	0,36	0,35	0,41	0,44
m <sub>sat</sub> (g) t/72h	359,02	342,12	353,03	352,30	351,12	349,84
C (g/cm <sup>2</sup> )	1,02	0,56	0,73	0,78	0,58	0,52
<b>Traço - T-III</b>						
m <sub>s</sub> (g)	3354,32	355,04	363,27	350,21	353,35	353,00
m <sub>sat</sub> (g) t/10min	355,00	358,91	365,31	350,93	354,15	353,77
m <sub>sat</sub> (g) t/90minh	355,50	361,47	367,03	351,55	354,50	354,35
Coeficiente de capilaridade (g/dm <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> )	0,50	2,56	1,72	0,12	0,35	0,57
	Média do coeficiente de capilaridade = 0,95					

	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6
Área (cm <sup>2</sup> )	16	16	16	16	16	16
<b>T-III</b>						
m <sub>sat</sub> (g) t/3h	357,03	363,72	372,89	353,17	355,92	355,68
C (g/cm <sup>2</sup> )	0,17	0,54	0,60	0,19	0,16	0,17
m <sub>sat</sub> (g) t/6h	358,59	373,50	377,46	355,04	357,48	356,97
C (g/cm <sup>2</sup> )	0,27	1,53	0,89	0,30	0,26	0,25
m <sub>sat</sub> (g) t/24h	359,75	375,71	379,71	356,17	358,27	357,61
C (g/cm <sup>2</sup> )	0,34	1,29	1,03	0,37	0,31	0,29
m <sub>sat</sub> (g) t/48h	360,87	376,95	381,15	357,21	360,01	358,35
C (g/cm <sup>2</sup> )	0,41	1,37	1,12	0,44	0,42	0,33
m <sub>sat</sub> (g) t/72h	361,59	378,01	382,75	358,73	361,54	359,10
C (g/cm <sup>2</sup> )	0,45	1,44	1,22	0,53	0,51	0,38
<b>Traço - T-IV</b>						
m <sub>s</sub> (g)	355,62	362,37	360,20	367,55	364,12	363,54
m <sub>sat</sub> (g) t/10min	367,39	366,08	361,12	369,98	366,03	364,73
m <sub>sat</sub> (g) t/90minh	370,24	368,35	361,44	371,39	366,41	364,75
Coeficiente de capilaridade (g/dm <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> )	2,85	2,27	0,32	1,41	0,38	0,02
	Média do coeficiente de capilaridade – 1,31					
m <sub>sat</sub> (g) t/3h	378,02	376,44	362,25	377,40	366,32	367,17
C (g/cm <sup>2</sup> )	1,40	0,88	0,13	0,62	0,14	0,23
m <sub>sat</sub> (g) t/6h	384,72	381,96	364,76	382,18	369,82	368,88
C (g/cm <sup>2</sup> )	1,82	1,22	0,29	0,91	0,36	0,33
m <sub>sat</sub> (g) t/24h	388,51	385,24	366,61	385,43	371,49	369,70
C (g/cm <sup>2</sup> )	2,06	1,43	0,40	1,12	0,46	0,39
m <sub>sat</sub> (g) t/48h	391,35	389,64	369,03	387,52	373,24	371,38
C (g/cm <sup>2</sup> )	2,23	1,70	0,55	1,25	0,57	0,49
m <sub>sat</sub> (g) t/72h	392,86	391,65	370,98	389,45	375,23	373,54
C (g/cm <sup>2</sup> )	2,33	1,83	0,67	1,37	0,69	0,63
<b>Traço - T-V</b>						
m <sub>s</sub> (g)	365,97	363,55	369,17	356,05	371,95	356,05
m <sub>sat</sub> (g) t/10min	367,20	364,52	369,26	358,69	373,18	368,29
m <sub>sat</sub> (g) t/90minh	367,75	364,78	370,03	360,36	373,41	368,68
Coeficiente de capilaridade (g/dm <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> )	0,55	0,26	0,77	0,77	0,28	0,39
	Média do coeficiente de capilaridade = 0,5					
m <sub>sat</sub> (g) t/3h	370,76	365,68	371,55	366,93	375,50	370,30
C (g/cm <sup>2</sup> )	0,30	0,13	0,15	0,68	0,22	0,89
m <sub>sat</sub> (g) t/6h	373,66	366,68	372,74	371,92	377,37	371,58
C (g/cm <sup>2</sup> )	0,48	0,20	0,22	0,99	0,39	0,97
m <sub>sat</sub> (g) t/24h	375,84	367,72	374,06	375,42	378,97	372,95
C (g/cm <sup>2</sup> )	0,62	0,26	0,31	1,21	0,44	1,06
m <sub>sat</sub> (g) t/48h	377,03	368,95	374,99	376,89	379,87	374,12
C (g/cm <sup>2</sup> )	0,69	0,34	0,36	1,30	0,50	1,13
m <sub>sat</sub> (g) t/72h	378,56	371,02	376,64	378,57	381,00	375,85
C (g/cm <sup>2</sup> )	0,79	0,47	0,47	1,41	0,57	1,24

Fonte: Autoria própria (2016).

**Tabela 60 - Análise ANOVA com 95% de confiança para coeficiente de capilaridade**

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	Valor-P	F crítico
Entre grupos	5,775633	4	1,443908	2,543746	0,064651	2,75871
Dentro dos grupos	14,19077	25	0,567631			
Total	19,9664	29				

Fonte: Autoria própria (2016).

**Tabela 61 - Teste Tukey coeficiente de capilaridade. Intervalo de Confiança de 95%**

Traços	Classificação				
	T-I	T-IV	T-III	T-V	T-II
Grupo	a	a	a	a	a

Fonte: Autoria própria, 2016

**Tabela 62 - Análise ANOVA e teste de Tukey, 95% de confiança, absorção por capilaridade**

Tempo t=3hs							
	Contagem	Soma	Média	Variância	DP	CV	Tukey
T-I	6	3,32	0,5533	0,041	0,204	37,01	a
T-II	6	0,99	0,165	0,005	0,021	13,14	a
T-III	6	1,83	0,305	0,0426	0,206	67,66	a
T-IV	6	3,4	0,566	0,2563	0,506	89,341	a
T-V	6	2,37	0,395	0,0992	0,315	79,74	a
ANOVA							
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	Valor-P	F crítico	
Entre grupos	0,693113333	4	0,1732783	1,9666435	0,1306156	2,75871	
Dentro dos grupos	2,202716667	25	0,0881087				
Total	2,89583	29					
Tempo t=6hs							
	Contagem	Soma	Média	Variância	DP	CV	Tukey
T-I	6	4,25	0,7083	0,0304	0,174	24,65	a
T-II	6	1,63	0,27166	0,0008	0,02	10,77	a
T-III	6	3,5	0,583	0,2768	0,526	90,20	a
T-IV	6	4,93	0,821	0,3801	0,616	75,03	a
T-V	6	3,25	0,541	0,1262	0,355	65,60	a
ANOVA							
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	Valor-P	F crítico	
Entre grupos	1,02768	4	0,25692	1,5768671	0,211344	2,75871	
Dentro dos grupos	4,073266667	25	0,162930				
Total	5,100946667	29					
Tempo t=24hs							
Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância	DP	CV	Tukey
T-I	6	4,73	0,788	0,0306	DP	22,195	a
T-II	6	1,94	0,323	0,0012	0,1749	10,832	a
T-III	6	3,63	0,605	0,192	0,0359	72,484	a
T-IV	6	5,86	0,9766	0,4686	0,4385	70,094	a
T-V	6	3,9	0,65	0,158	0,6845	61,322	a
ANOVA							
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	Valor-P	F crítico	
Entre grupos	1,397046667	4	0,3492617	2,0503796	0,117832	2,75871	
Dentro dos grupos	4,2585	25	0,17034				
Total	5,65546667	29					
Tempo t=48hs							
	Contagem	Soma	Média	Variância	D P	CV	Tukey
T-I	6	5,49	0,915	0,0584	0,2417	26,417	ab
T-II	6	2,32	0,386	0,0012	0,0355	9,2043	b
T-III	6	4,09	0,681	0,1980	0,4450	65,286	ab
T-IV	6	6,79	1,131	0,5217	0,7223	63,829	a
T-V	6	4,32	0,72	0,1655	0,4068	56,512	ab
ANOVA							
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	Valor-P	F crítico	
Entre grupos	1,85418	4	0,463545	2,452385	0,072178	2,75871	
Dentro dos grupos	4,72545	25	0,189018				
Total	6,57963	29					

Análise ANOVA e teste TUKEY para absorção de água							
Para o tempo de 72hs							
	Contagem	Soma	Média	Variância	DP	CV	Tukey
<b>T-I</b>	6	5,89	0,981	0,0352	0,1877	19,127	a
<b>T-II</b>	6	4,19	0,698	0,0352	0,1876	26,8727	a
<b>T-III</b>	6	4,53	0,755	0,2059	0,4538	60,108	a
<b>T-IV</b>	6	7,52	1,2533	0,5103	0,7143	56,9966	a
<b>T-V</b>	6	4,95	0,825	0,1665	0,4081	49,4673	a
ANOVA							
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	Valor-P	F crítico	
Entre grupos	1,192787	4	0,298197	1,564056	0,214713	2,75871	
Dentro dos grupos	4,7664	25	0,190656				
Total	5,959187	29					

**Fonte: Autoria própria (2016).**

**Tabela 63 - Absorção de água, índice de vazios e massas específicas da argamassa no estado endurecido. NBR 9778 (ABNT, 2005)**

	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6
<b>Traço - T-I</b>						
$m_s$ (g)	328,53	328,16	327,48	332,14	328,66	331,11
$m_{sat}$ (g)	370,11	369,23	367,91	371,25	367,53	370,03
$m_i$ (g)	177,10	177,21	176,05	176,84	174,83	176,37
Absorção (%)	12,66	12,52	12,35	11,78	11,82	11,75
$l_v$ (%)	21,54	21,37	21,07	20,12	20,17	20,10
$\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	1,70	1,71	1,71	1,71	1,70	1,71
$\rho_{sat}$ (g/cm <sup>3</sup> )	1,92	1,93	1,92	1,91	1,91	1,91
$P_r$ (g/cm <sup>3</sup> )	2,17	2,17	2,16	2,14	2,14	2,14
<b>Traço - T-II</b>						
$m_s$ (g)	360,33	351,01	353,81	353,25	351,97	360,05
$m_{sat}$ (g)	409,71	388,75	390,72	390,48	386,95	399,92
$m_i$ (g)	213,10	194,05	195,83	194,56	194,23	202,84
Absorção (%)	19,70	10,75	10,43	10,54	9,94	11,07
$l_v$ (%)	25,12	19,37	18,82	19,00	18,15	20,23
$\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	1,83	1,80	1,80	1,80	1,83	1,83
$\rho_{sat}$ (g/cm <sup>3</sup> )	2,08	2,00	1,99	1,99	2,01	2,03
$P_r$ (g/cm <sup>3</sup> )	2,45	2,24	2,24	2,23	2,23	2,29,
<b>Traço - T-III</b>						
$m_s$ (g)	352,32	357,18	357,20	351,96	357,68	350,96
$m_{sat}$ (g)	388,06	392,83	395,94	387,04	394,85	387,22
$m_i$ (g)	194,63	198,04	196,45	191,73	199,66	192,34
Absorção (%)	9,86	9,98	10,85	9,97	10,39	10,33
$l_v$ (%)	18,51	18,30	19,44	17,96	19,04	18,61
$\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	1,82	1,84	1,79	1,80	1,83	1,80
$\rho_{sat}$ (g/cm <sup>3</sup> )	2,01	2,02	1,99	1,98	2,02	1,99
$P_r$ (g/cm <sup>3</sup> )	2,23	2,24	2,22	2,20	2,26	2,21
<b>Traço - T-IV</b>						
$m_s$ (g)	363,29	367,28	371,20	378,10	371,43	373,48
$m_{sat}$ (g)	407,61	403,12	414,15	411,85	405,89	414,56
$m_i$ (g)	215,20	210,03	219,25	215,43	213,47	218,55
Absorção (%)	12,20	9,76	11,57	8,93	9,28	10,10
$l_v$ (%)	23,03	18,56	22,04	17,18	17,88	20,96
$\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	1,89	1,90	1,90	1,92	1,82	1,91
$\rho_{sat}$ (g/cm <sup>3</sup> )	2,12	2,09	2,12	2,10	2,11	2,11
$P_r$ (g/cm <sup>3</sup> )	2,45	2,34	2,44	2,32	2,35	2,41
<b>Traço - T-V</b>						
$m_s$ (g)	375,28	364,06	369,89	359,40	370,15	354,15
$m_{sat}$ (g)	416,52	402,43	408,85	402,29	410,09	396,03
$m_i$ (g)	215,42	209,23	211,91	210,76	212,43	207,23
Absorção (%)	10,98	10,54	10,53	11,93	10,79	11,83
$l_v$ (%)	20,51	20,14	19,78	22,39	20,21	22,18
$\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	1,87	1,91	1,88	1,88	1,87	1,88
$\rho_{sat}$ (g/cm <sup>3</sup> )	2,07	2,11	2,08	2,10	2,08	2,10
$P_r$ (g/cm <sup>3</sup> )	2,35	2,35	2,34	2,42	2,51	2,41

Fonte: Autoria própria (2016)

**Tabela 64 - Absorção por imersão, Índice de vazios, massa específica da amostra seca, massa específica da amostra saturada, médias finais.**

	T-I	T-II	T-III	T-IV	T-V
<b>Coefficiente de absorção</b>					
C1	12,66	19,70	9,86	12,20	10,98
C2	12,52	10,75	9,98	9,75	10,54
C3	12,35	10,43	10,85	11,57	10,53
C4	11,78	10,54	9,97	9,93	11,93
C5	11,82	9,94	10,39	9,28	10,79
C6	11,75	11,07	10,33	11,10	11,83
Média (%)	12,1467	12,0717	10,23	10,6383	11,
Variância	0,16857	14,1054	0,1374	1,33117	0,3946
Desvio padrão	0,41054	3,75577	0,37067	1,15376	0,6272
Cv(%)	3,37983	31,1115	3,62342	10,8457	5,6561
<b>Índice de vazios</b>					
	T-I	T-II	T-III	T-IV	T-V
C1	21,54	25,12	18,51	23,03	20,51
C2	21,37	19,37	18,30	18,56	20,14
C3	21,07	18,82	19,44	22,04	19,78
C4	20,12	19,00	17,96	17,18	22,39
C5	20,17	18,15	19,04	17,88	20,21
C6	20,10	20,23	18,61	20,96	22,18
Média (%)	20,7617	20,115	19,64	19,94	20,87
Variância	0,51079	6,47995	0,27917	5,75287	1,26257
Desvio padrão	0,71868	2,54555	0,52833	2,39853	1,12362
CV (%)	3,44263	12,6551	2,83393	12,0276	5,38432
<b>Massa específica da amostra seca</b>					
	T-I	T-II	T-III	T-IV	T-V
C1	1,70	1,83	1,82	1,89	1,87
C2	1,70	1,80	1,84	1,90	1,91
C3	1,70	1,80	1,79	1,90	1,88
C4	1,71	1,80	1,80	1,92	1,88
C5	1,70	1,83	1,83	1,82	1,87
C6	1,71	1,83	1,80	1,91	1,88
Média (g/cm <sup>3</sup> )	1,70333	1,815	1,81333	1,89	1,88167
Variância	2,67E-05	0,00027	0,00037	0,00128	0,00027
Desvio padrão	0,00514	0,01642	0,01964	0,03577	0,01472
CV (%)	0,30319	0,90532	1,08443	1,89298	0,78224
<b>Massa específica da amostra saturada</b>					
C1	1,92	2,08	2,01	2,12	2,07
C2	1,93	2,00	2,01	2,10	2,11
C3	1,92	1,99	1,99	2,12	2,08
C4	1,91	1,99	1,98	2,10	2,10
C5	1,91	2,01	2,02	2,11	2,08
C6	1,91	2,03	1,99	2,11	2,10
Média (g/(cm <sup>3</sup> ))	1,91667	2,01666	2,00	2,11	2,09
Variância	6,67E-05	0,001187	0,00024	8E-05	0,00024
Desvio padrão	0,008165	0,034448	0,01549	0,00894	0,015492
CV (%)	0,42598	1,70816	0,77457	0,42389	0,74124

**Fonte: Autoria própria (2016).**

**Tabela 65 – Absorção por imersão, massa específica real, médias finais.**

	T-I	T-II	T-III	T-IV	T-V
Massa específica real					
C1	2,17	2,45	2,23	2,45	2,35
C2	2,17	2,24	2,24	2,34	2,35
C3	2,16	2,24	2,22	2,44	2,34
C4	2,14	2,23	2,20	2,32	2,42
C5	2,14	2,23	2,26	2,45	2,51
C6	2,14	2,29	2,21	2,31	2,41
Média (%)	2,15333	2,28	2,22667	2,385	2,39667
Variância	0,00027	0,00744	0,00047	0,00467	0,00427
Desvio padrão	0,01505	0,08625	0,02162	0,06833	0,06503
CV (%)	0,69917	3,78313	0,97011	2,8653	3,78313

Fonte: Autoria própria (2016).

**Tabela 66 - Análise da ANOVA para os resultados de absorção por imersão, índice de vazios massa específica seca, massa específica saturada e massa específica real.**

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	Valor-P	F crítico
Entre grupos	17,49229	4	4,373072	1,3550	0,27769	2,75871
Dentro dos grupos	80,6831	25	3,227324			
Total	98,17539	29				
ANOVA-Índice de vazios						
Entre grupos	19,01719	4	4,754297	1,664061	0189764	2,75871
Dentro dos grupos	71,42613	25	2,857047			
Total	90,44332	29				
ANOVA Massa específica da amostra seca						
Entre grupos	0,134287	4	0,033572	76,99924	1,1E-13	2,75871
Dentro dos grupos	0,134287	25	0,000436			
Total	0,145187	29				
ANOVA Massa específica da amostra saturada						
Entre grupos	0,1432	4	0,0358	98,71324	6,18E-15	2,75871
Dentro dos grupos	0,009067	25	0,00036			
Total	0,152267	29				
ANOVA Massa específica real						
Entre grupos	0,259067	5	0,064767	19,01546	2,72E-07	2,75871
Dentro dos grupos	0,08515	25	0,003406			
Total	0,344217	29				

Fonte: Autoria própria, 2016

**Tabela 67 - Teste de Tukey de Absorção por imersão, índice de vazios, e massa específicas**

Traços	T-I	T-II	T-III	T-IV	T-V
Absorção por imersão					
Grupo	a	a	a	a	a
Índice de vazios					
Grupo	a	a	a	a	a
Massa específica para a amostra seca					
Grupo	a	a	b	b	c
Massa específica para a amostra saturada					
Grupo	a	a	b	b	c
Massa específica real					
Grupo	a	a	b	bc	c

Fonte: Autoria própria (2016).

**Tabela 68 - Módulo de elasticidade dinâmico no SONEPLASTIC**

Amostras	T-I	T-II	T-III	T-IV	T-V
CP1	18,4	19,49	24,52	23,39	25,17
CP2	18,8	19,49	21,43	23,39	24,88
CP3	18,5	19,67	21,13	22,95	24,06
CP4	19,36	18,41	20,98	22,84	23,53
CP5	18,56	15,48	21,58	22,84	23,85
CP6	18,66	18,12	22,36	23,31	23,71
Média (GPa)	18,71	18,44	22,00	23,12	24,20
Variância	0,119147	2,516547	1,75572	0,07352	0,44688
Desvio padrão	0,345176	1,586363	1,325036	0,271146	0,66849
CV (%)	1,844547	8,60128	6,02289	1,172776	2,76235

Fonte: Autoria própria (2016).

**Tabela 69 - Análise de ANOVA para resultados do módulo elasticidade dinâmico**

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	Valor-P	F crítico
Entre grupos	162,3821	4	40,59552	41,32437	1,14E-10	2,75871
Dentro dos grupos	24,55907	25	0,982363			
Total	186,9411	29				

Fonte: Autoria própria (2016).

**Tabela 70 - Teste de Tukey para os resultados do módulo de elasticidade dinâmico realizado com aparelho SONEPLASTIC**

Traços	Classificação				
	T-I	T-II	T-III	T-IV	T-V
Grupo	c	c	b	ab	a

Fonte: Autoria própria (2016).

**Tabela 71 - Resistência à tração na flexão. NBR 13279 (ABNT, 2005)**

		T-I	T-II	T-III	T-IV	T-V
		Rompimento aos 3 dias (Mpa)				
Esforços de tração na flexão em Mpa	CP1	2,26	2,59	3,01	3,01	3,04
	CP2	0,02	2,33	2,73	2,75	3,15
	CP3	2,57	2,56	2,85	2,80	3,39
	CP4	2,62	2,64	3,22	2,71	3,65
	CP5	2,54	2,66	2,75	2,66	3,06
	CP6	2,57	2,14	2,89	2,64	2,94
Media (Mpa)		2,095	2,503	2,860	2,761	3,205
Mediana		2,42	2,612	2,801	2,730	3,107
Variância		1,0546	0,04267	0,033617	0,018217	0,018217
Desvio padrão (5)		1,023	0,2166	0,271	0,1370	0,2652
Coeficiente Variância (%)		48,84	8,653	7,94	4,960	8,275
Mínima		0,0235	2,12	2,589	2,636	2,942
Máxima		2,636	2,659	3,224	3,012	3,648
		Rompimento-7dias (Mpa)				
		T-I	T-II	T-III	T-IV	T-V
Esforços de tração na flexão em Mpa	CP1	1,27	4,31	4,94	4,47	4,85
	CP2	3,60	3,70	4,72	4,94	4,10
	CP3	4,19	4,40	4,73	4,92	4,64
	CP4	4,06	3,77	4,38	4,31	4,82
	CP5	3,60	4,19	4,71	4,45	4,28
	CP6	4,40	4,28	4,38	4,85	4,52
Media (Mpa)		3,522	4,107	4,660	4,656	4,534
Mediana		3,836	4,236	4,719	4,660	4,578
Variância		1,3184	0,08867	0,048907	0,076947	0,08919
Desvio padrão (5)		1,149	0,3002	0,2339	0,2782	,0,2998
Coeficiente Variância (%)		32,62	7,310	5,02	5,976	6,612
Mínima		1,271	3,695	4,378	4,307	4,095
Máxima		4,01	4,401	4,942	4,942	4,898
		Rompimento 28 dias (Mpa)				
		T-I	T-II	T-III	T-IV	T-V
Esforços de tração na flexão em MPa	CP1	3,98	4,19	5,62	4,68	4,92
	CP2	4,97	4,52	5,72,	4,80	5,77
	CP3	4,00	4,38	4,73	6,07	5,55
	CP4	4,59	4,07	4,97	5,18	5,04
	CP5	4,73	3,93	5,01	5,22	5,44
	CP6	5,18	4,17	4,73	5,79	4,26
Media(Mpa)		4,574	4,209	5,13	5,291	5,162
Mediana		4,660	4,177	5,013	5,201	5,537
Variância		0,2469	0,045	0,18964	0,29752	0,296907
Desvio padrão (5)		0,4954	2,112	0,435478	0,5450	0,5446
Coeficiente Variância (%)		10,83	5,019	8,488	10,30	10,55
Mínima		3,977	3,930	4,731	4,683	4,230
Máxima		5,178	4,519	5,719	6,072	5,766

**Fonte: Autoria própria (2016)**

**Tabela 72 - Análise ANOVA com 95% de confiança para resistência à tração na flexão**

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	Valor-P	F crítico
Rompimento aos 3 dias						
Entre grupos	4,268433333	4	1,0671083	4,3841876	0,0080133	2,75871
Dentro dos grupos	6,084983333	25	0,2433993			
Total	10,35341667	29				
Rompimento aos 7 dias						
Entre grupos	5,671087	4	1,4177717	4,3712514	0,0081243	2,7587105
Dentro dos grupos	8,1085	25	0,32434			
Total	13,77959	29				
Rompimento aos 28 dias						
Entre grupos	5,115613	4	1,278903	5,9469677	0,0016645	2,7587105
Dentro dos grupos	5,376283	19	0,2150513			
Total	10,4919	25				

Fonte: Autoria própria (2016).

**Tabela 73 - Teste Tukey. Resistência à tração na flexão, Intervalo de confiança 95%**

Traços	Classificação				
	T-I	T-II	T-III	T-IV	T-V
Rompimento aos 3 dias					
Grupo	b	ab	ab	ab	a
Rompimento aos 7 dias					
Grupo	b	ab	a	a	a
Rompimento aos 28 dias					
Grupo	ab	b	a	a	a

Fonte: Autoria própria (2016)

**Tabela 74 - Resistência à compressão simples. NBR 13279 (ABNT, 2005)**

		T-I	T-II	T-III	T-IV	T-V
		Rompimento - 3 dias (Mpa)				
Esforços de compressão simples em Mpa	CP1	4,78	3,98	5,78	7,29	8,13
	CP2	5,65	5,20	5,84	7,57	7,79
	CP3	5,11	5,52	5,343	6,83	8,51
	CP4	5,98	6,39	5,40	7,24	7,04
	CP5	4,00	5,08	5,80	7,77	8,25
	CP6	5,57	5,31	6,23	7,26	8,84
Média		5,183	5,328	5,747	7,326	8,093
Mediana (Mpa)		5,341	5,357	5,790	7,274	8,190
Variância		0,51467	0,604067	0,106097	0,103147	0,391706
Desvio padrão (5)		0,7186	0,8107	0,3072	0,3199	0,624
Coeficiente Variância (%)		1,387	1,521	5,346	4,366	7,717
Mínima		3,998	3,979	5,397	6,835	7,042
Máxima		5,981	6,389	6,232	7,770	8,837
		Rompimento-7dias (Mpa)				
		T-I	T-II	T-III	T-IV	T-V
Esforços de compressão simples em Mpa	CP1	2,33	7,27	7,585	9,20	9,82
	CP2	4,41	6,49	7,64	10,89	11,21
	CP3	5,45	6,36	10,38	8,30	10,19
	CP4	5,18	6,27	11,37	10,19	10,13
	CP5	5,92	6,99	8,30	8,09	11,20
	CP6	7,73	5,65	7,20	10,46	11,68
Média		5,69	8,742	9,521	10,75	10,75
Variância		3,16756	0,32559	2,943102	1,369016	0,56595
Mediana		5,313	6,737	7,967	9,696	10,81
Desvio padrão (5)		1,77	0,6299	1,716	1,170	0,765
Coeficiente Variância (%)		34,37	9,443	19,63	1,229	6,664
Mínima		2,335	5,648	7,199	8,090	9,816
Máxima		7,726	7,268	11,37	10,89	11,68
		Rompimento 28 dias(Mpa)				
		T-I	T-II	T-III	T-IV	T-V
Esforços de compressão simples em Mpa	CP1	4,13	8,60	17,35	11,89	13,24
	CP2	14,18	9,28	18,53	15,09	16,41
	CP3	13,46	12,17	17,52	14,16	14,07
	CP4	9,52	11,01	14,24	12,94	14,08
	CP5	10,24	12,34	13,02	9,01	15,91
	CP6	9,04	12,21	13,79	15,80	15,52
Media		10,09	10,94	15,74	13,15	13,20
Variância		13,0117	2,66435	5,399096	6,115496	1,559336
Mediana		9,882	11,59	15,79	13,55	14,80
Desvio padrão (%)		3,606	16,33	2,325	2,473	4,973
Coeficiente Variância (%)		35,72	14,93	14,77	18,80	37,66
Mínima		4,130	8,06	13,02	9,012	3,245
Máxima		14,18	12,34	18,53	15,80	16,41

Fonte: Autoria própria (2016)

**Tabela 75 - Análise ANOVA com 95% de confiança para resistência à compressão simples**

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	Valor-P	F crítico
Rompimento aos 3 dias						
Entre grupos	41,71195	4	10,427988	30,33026	2,907E-09	2,7587105
Dentro dos grupos	8,595367	25	0,3438147			
Total	50,30732	29				
Rompimento aos 7 dias						
Entre grupos	122,093	4	30,52325333	18,231064	3,993E-07	2,7587105
Dentro dos grupos	41,8561	25	1,674244167			
Total	163,9491	29				
Rompimento aos 28 dias						
Entre grupos	142,4187	4	35,60466667	6,1922129	0,0013209	2,7587105
Dentro dos grupos	143,7478	25	5,74991			
Total	286,1664	29				

Fonte: Autoria própria (2016).

**Tabela 76 - Teste Tukey Resistência à compressão simples.  
Intervalo de confiança de 95%**

Traços	Classificação				
	T-I	T-II	T-III	T-IV	T-V
Rompimento aos 3 dias					
Grupo	b	b	b	a	a
Rompimento aos 7 dias					
Grupo	b	b	a	a	a
Rompimento aos 28 dias					
Grupo	c	bc	a	abc	ab

Fonte: Autoria própria, (2016)

## APÊNDICE E

### ENSAIO NOS BLOCOS CERÂMICOS

**Tabela 77 - Cálculo das áreas dos blocos. NBR 15270-3 (ABNT, 2005)**

	Dados	Largura L-mm	Altura H-mm	Comprimento C-mm
Bloco-01	Medida 1	88,83	138,56	185,37
	Medida 2	87,81	138,05	184,50
	Média	88,32	138,31	184,94
	Área	255,79cm <sup>2</sup>		
Bloco-02	Medida 1	87,79	139,29	186,41
	Medida 2	88,05	138,65	186,57
	Média	87,92	138,97	186,49
	Área	255,96cm <sup>2</sup>		
Bloco-03	Medida 1	88,13	138,70	186,57
	Medida 2	87,41	138,44	184,69
	Média	87,77	138,57	185,63
	Área	257,23cm <sup>2</sup>		
Bloco-04	Medida 1	88,29	138,66	184,38
	Medida 2	88,20	139,70	185,68
	Média	88,25	139,18	185,03
	Área	257,52cm <sup>2</sup>		
Bloco-05	Medida 1	88,24	138,56	185,48
	Medida 2	88,32	138,20	185,03
	Média	88,28	138,38	185,26
	Área	256,36cm <sup>2</sup>		
Bloco-06	Medida 1	89,52	139,05	187,68
	Medida 2	88,96	138,88	184,57
	Média	89,24	138,97	186,13
	Área	258,66cm <sup>2</sup>		
	Média geral	88,30	139,73	185,58
	Área média cm <sup>2</sup>	256,97cm <sup>2</sup>		

**Fonte: Autoria Própria (2016)**

**Tabela 78 - Cálculo da absorção de água inicial dos blocos cerâmicos  
NBR 15270-3 (ABNT, 2005)**

Bloco	Fases – Peso(g)		P <sub>u</sub> -P <sub>s</sub> (g)	A <sub>bruta</sub> (cm <sup>2</sup> )	AAI	Média
B-01	F-01	1.507,31	20,08	254,70	15,24	15,41
		1.527,39				
	F-02	1.527,39	20,67	256,84	15,58	
		1.548,06				
B-02	F-01	1.518,70	22,45	256,43	16,95	16,46
		1.541,15				
	F-02	1.541,15	21,32	258,68	15,96	
		1.562,47				
B-03	F-01	1.499,28	36,82	261,54	27,24	21,11
		1.536,10				
	F-02	1.536,10	19,91	257,23	14,98	
		1.556,01				
B-04	F-01	1.513,54	19,92	259,39	14,83	14,90
		1.533,46				
	F-02	1.533,46	19,79	255,90	14,97	
		1.553,25				
B-05	F-01	1.506,31	21,05	257,00	15,85	15,05
		1.527,36				
	F-02	1.527,36	18,84	255,71	14,26	
		1.546,20				
B-06	F-01	1.521,33	21,63	260,97	16,04	14,41
		1.542,96				
	F-02	1.542,96	17,07	258,50	12,78	
		1.560,03				

Absorção de água inicial (AAI) = 16,22 g/200cm<sup>2</sup>/min

Fonte: Autoria própria (2016)

**Tabela 79 - Cálculo da absorção total dos blocos cerâmicos  
NBR 5270-3 (ABNT, 2005)**

Bloco	P <sub>seco</sub> (g)	P <sub>úmido</sub> (g)	A <sub>total</sub> (%)	A <sub>total final</sub> (%)
B-01	1.512,36	1.818,84	20,27	20,37
B-02	1.523,88	1.835,14	20,43	
B-03	1.495,05	1.801,50	20,50	
B-04	1.517,58	1.828,98	20,52	
B-05	1.512,12	1.817,52	20,20	
B-06	1.527,27	1.837,67	20,32	

Fonte: Autoria própria (2016)2016

**Tabela 80 - Esforços de resistência à compressão dos blocos cerâmicos  
NBR 15270-3 (ABNT, 2005)**

Esforços de compressão (MPa)						
Bloco	01	02	03	04	05	06
Esforço (Mpa)	3,23	4,36	3,47	3,20	4,38	4,74
Média	3,90					

Fonte: Autoria própria (2016).

## APÊNDICE F

### ANÁLISE DOS PAINÉIS

**Tabela 81 - Cálculo da permeabilidade pelo método do cachimbo -T-I**

Tempo (min)	C1		C2		C3		Média T(ml)	Média A(ml)
	A(ml)	T(ml)	A(ml)	T(ml)	A(ml)	T(ml)		
0	0	-	0		0	-	0	0
1	0,2	0,20	0,20	0,20	0,50	0,50	0,3	0,3
2	0,3	0,10	0,30	0,10	0,70	0,20	0,133	0,43
3	0,4	0,10	0,35	0,05	0,85	0,05	0,067	0,53
4	0,5	0,10	0,40	0,05	1,10	0,25	0,133	0,67
5	0,6	0,10	0,50	0,10	1,20	0,10	0,1	0,77
6	0,7	0,10	0,65	0,15	1,35	0,05	0,1	0,9
7	0,8	0,10	0,75	0,10	1,50	0,15	0,117	1,02
8	0,9	0,10	0,85	0,10	1,65	0,15	0,117	1,13
9	0,95	0,05	0,95	0,10	1,75	0,10	0,083	1,22
10	1,00	0,05	1,05	0,10	1,90	0,15	0,1	1,32
11	1,10	0,10	1,15	0,10	2,05	0,15	0,117	1,43
12	1,20	0,10	1,25	0,10	2,20	0,15	0,117	1,55
13	1,25	0,05	1,35	0,10	2,35	0,15	0,1	1,65
14	1,30	0,05	1,10	0,05	2,50	0,15	0,083	1,73
15	1,350	0,05	1,45	0,05	2,60	0,05	0,05	1,8

Fonte: Autoria própria (2016)

**Tabela 82 - Cálculo da permeabilidade pelo método do cachimbo - T-II**

Tempo (min)	C1		C2		C3		Média T(ml)	Média A(ml)
	A(ml)	T(ml)	A(ml)	T(ml)	A(ml)	T(ml)		
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,15	0,15	0,10	0,10	0,05	0,05	0,10	0,10
2	0,20	0,05	0,15	0,05	0,05	0,00	0,03	0,13
3	0,22	0,02	0,20	0,05	0,10	0,05	0,04	0,17
4	0,25	0,03	0,20	0,00	0,10	0,00	0,01	0,18
5	0,27	0,02	0,20	0,00	0,15	0,05	0,02	0,21
6	0,27	0,00	0,25	0,05	0,15	0,00	0,013	0,22
7	0,30	0,03	0,25	0,00	0,15	0,00	0,01	0,23
8	0,30	0,00	0,30	0,05	0,20	0,05	0,033	0,27
9	0,30	0,00	0,30	0,05	0,20	0,00	0,013	0,27
10	0,32	0,02	0,30	0,00	0,20	0,00	0,003	0,27
11	0,35	0,03	0,30	0,00	0,25	0,05	0,023	0,30
12	0,35	0,00	0,30	0,00	0,25	0,00	0,00	0,30
13	0,35	0,00	0,32	0,02	0,25	0,00	0,003	0,31
14	0,37	0,02	0,35	0,03	0,27	0,02	0,023	0,33
15	0,40	0,03	0,35	0,00	0,30	0,03	0,02	0,35

Fonte: Autoria própria (2016).

**Tabela 83 - Cálculo da permeabilidade pelo método do cachimbo - T-III**

Tempo (min)	C1		C2		C3		Média T(ml)	Média A(ml)
	A(ml)	T(ml)	A(ml)	T(ml)	A(ml)	T(ml)		
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
2	0,20	0,10	0,20	0,10	0,15	0,05	0,15	0,18
3	0,30	0,10	0,20	0,00	0,20	0,05	0,05	0,23
4	0,35	0,05	0,30	0,10	0,20	0,00	0,05	0,28
5	0,40	0,05	0,30	0,00	0,25	0,05	0,033	0,32
6	0,45	0,05	0,35	0,05	0,30	0,05	0,05	0,37
7	0,50	0,05	0,40	0,05	0,30	0,00	0,033	0,43
8	0,55	0,05	0,45	0,05	0,35	0,05	0,05	0,42
9	0,60	0,05	0,45	0,00	0,35	0,00	0,017	0,47
10	0,60	0,000	0,50	0,05	0,40	0,05	0,033	0,50
11	0,65	0,05	0,50	0,00	0,40	0,00	0,033	0,52
12	0,70	0,05	0,55	0,05	0,45	0,05	0,05	0,57
13	0,75	0,05	0,60	0,05	0,45	0,00	0,033	0,60
14	0,80	0,05	0,60	0,00	0,50	0,05	0,033	0,63
15	0,80	0,00	0,60	0,00	0,50	0,00	0,00	0,63

Fonte: Autoria própria (2016)

**Tabela 84 - Cálculo da permeabilidade pelo método do cachimbo - T-IV**

Tempo (min)	C1		C2		C3		Média T(ml)	Média A(ml)
	A(ml)	T(ml)	A(ml)	T(ml)	A(ml)	T(ml)		
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
2	0,20	0,10	0,15	0,05	0,20	0,10	0,00	0,15
3	0,25	0,05	0,20	0,05	0,25	0,00	0,10	0,23
4	0,25	0,05	0,20	0,15	0,25	0,05	0,05	0,23
5	0,30	0,05	0,25	0,00	0,30	0,05	0,00	0,28
6	0,35	0,05	0,25	0,00	0,35	0,05	0,00	0,32
7	0,40	0,05	0,30	0,05	0,35	0,00	0,05	0,35
8	0,45	0,05	0,35	0,05	0,40	0,04	0,04	0,40
9	0,45	0,00	0,35	0,00	0,45	0,05	0,01	0,42
10	0,50	0,05	0,40	0,05	0,45	0,00	0,05	0,45
11	0,50	0,00	0,40	0,00	0,45	0,00	0,00	0,53
12	0,50	0,00	0,40	0,00	0,50	0,05	0,05	0,47
13	0,50	0,00	0,45	0,05	0,55	0,05	0,00	0,50
14	0,55	0,05	0,45	0,00	0,55	0,00	0,05	0,52
15	0,60	0,05	0,50	0,05	0,55	0,00	0,00	0,55

Fonte: Autoria própria (2016)

**Tabela 85 - Cálculo da permeabilidade pelo método do cachimbo - T-V**

Tempo (min)	C1		C2		C3		Média T(ml)	Média A(ml)
	A(ml)	T(ml)	A(ml)	T(ml)	A(ml)	T(ml)		
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,15	0,15	0,10	0,10	0,10	0,10	0,17	0,12
2	0,25	0,10	0,15	0,05	0,15	0,05	0,06	0,18
3	0,30	0,05	0,20	0,05	0,20	0,05	0,053	0,23
4	0,40	0,10	0,25	0,05	0,25	0,05	0,07	0,30
5	0,45	0,05	0,30	0,05	0,30	0,05	0,05	0,35
6	0,50	0,05	0,35	0,05	0,35	0,05	0,05	0,40
7	0,55	0,05	0,40	0,05	0,35	0,00	0,033	0,40
8	0,60	0,05	0,40	0,00	0,40	0,05	0,033	0,47
9	0,60	0,05	0,45	0,05	0,40	0,00	0,033	0,48
10	0,70	0,05	0,50	0,05	0,45	0,00	0,033	0,55
11	0,70	0,00	0,50	0,00	0,50	0,05	0,017	0,57
12	0,75	0,05	0,60	0,10	0,50	0,00	0,05	0,62
13	0,80	0,05	0,60	0,00	0,55	0,05	0,038	0,65
14	0,85	0,05	0,60	0,00	0,60	0,05	0,038	0,68
15	0,90	0,05	0,65	0,05	0,60	0,00	0,038	0,72

Fonte: Autoria própria, 2016

**Tabela 86 - Permeabilidade pelo método do cachimbo, resultado final.**

Tempo (min)	T-I Média	T-II Média	T-III Média	T-IV Média	T-V Média
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,3	0,10	0,10	0,10	0,12
2	0,43	0,13	0,18	0,15	0,18
3	0,53	0,17	0,23	0,23	0,23
4	0,67	0,18	0,28	0,23	0,30
5	0,77	0,21	0,32	0,28	0,35
6	0,9	0,22	0,37	0,32	0,40
7	1,02	0,23	0,43	0,35	0,40
8	1,13	0,27	0,42	0,40	0,47
9	1,22	0,27	0,47	0,42	0,48
10	1,32	0,27	0,50	0,45	0,55
11	1,43	0,30	0,52	0,53	0,57
12	1,55	0,30	0,57	0,47	0,62
13	1,65	0,31	0,60	0,50	0,65
14	1,73	0,33	0,63	0,52	0,68
15	1,8	0,35	0,63	0,55	0,72
Media	1,096667	0,242667	0,416667	0,366667	0,448
Variância	0,237024	0,005454	0,027867	0,02061	0,03486
Desvio padrão (%)	0,486851	0,73918	0,166933	0,02061	0,186708
Coeficiente Variância (%)	44,3937	0,46054	40,06395	39,15277	41,67597

Fonte: Autoria própria (2016)

**Tabela 87 - Análise ANOVA, permeabilidade pelo método do cachimbo, 95% de confiança**

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	Valor-P	F crítico
Entre grupos	6,729885	4	1,682471	25,81373	3,65E-13	2,502656
Dentro dos grupos	4,561533	70	0,0651651			
Total	11,291412	74				

Fonte: Autoria própria, 2016

**Tabela 88 - Teste Tukey com 95% de confiança para permeabilidade pelo método do cachimbo**

Traços	Classificação				
	T-I	T-II	T-III	T-IV	T-V
Grupo	a	b	b	b	b

Fonte: Autoria própria, 2016

**Tabela 89 - Umidade das argamassas nos painéis.**

		Múmida (g)	Mseca (g)	Umidade (%)	Média
T-I	C1	68,86	67,22	2,44	2,40
	C2	62,22	60,80	2,36	
	C3	68,91	67,29	2,39	
T-II	C1	63,40	61,88	2,46	2,60
	C2	71,58	69,80	2,55	
	C3	75,51	73,47	2,78	
T-III	C1	85,54	83,10	2,98	2,52
	C2	65,62	64,22	2,18	
	C3	56,58	55,25	2,41	
T-IV	C1	63,60	61,90	2,75	2,59
	C2	60,35	58,94	2,39	
	C3	62,13	60,54	2,63	
T-V	C1	63,05	61,66	2,25	2,25
	C2	61,61	60,27	2,22	
	C3	62,90	61,50	2,28	

Fonte: Autoria própria, 2016

**Tabela 90 - Resistência de aderência à tração -T-I- NBR 13528 (ABNT, 2010).**

Nº	Corpo de prova				Carga de ruptura (N)	Tensão Ra (Mpa)	Local do ensaio		Forma de ruptura (%)					
	d1 (mm)	d2 (mm)	Dm (mm)	Área (mm²)			Bloco	Junta	A	B	C	D	E	F
1	48,09	48,30	48,20	1825	1196	0,66	X							X
2	47,71	47,76	47,74	1790	1117	0,62		X						X
3	16,87	46,97	46,92	1729	519	0,30	X							X
4	45,51	45,14	45,33	1613	294	0,18	X		X					
5	-	-	45,00	1590	597	0,38		X						X
6	-	-	45,00	1590	686	0,43	-	-						X
7	-	-	45,00	1590	205	0,29		--						X
8	-	-	45,00	1590	960	0,60		X						X
9	45,32	45,72	45,52	1627	950	0,58	X		X					
10	-	-	45,00	1590	923	0,59	-	-						X
11	-	-	45,00	1590	298	0,19	-	-						X
12	-	-	45,00	1590	882	0,55	-	-						X
13	46,23	45,21	45,72	1644	1107	0,67		X			X			
14	45,13	45,28	45,25	1748	1607	0,92		X			X			
15	45,18	45,22	45,20	1744	793	0,45	X			X				
16	45,17	45,15	45,16	1617	1097	0,68	X							X
17	45,24	45,23	45,24	1607	980	0,61	X		X					
18	45,09	45,08	45,09	1599	901	0,56	X			X				
19	45,01	45,12	45,07	1595	931	0,58	-	-					X	
20	46,34	45,28	45,31	1612	117	0,072	-	--			X			
21	-	--	45,00	1590	1489	0,94	-	-						X
22	45,24	45,18	45,21	1605	1519	0,95	X		X					
23	45,27	45,20	45,24	1607	715	0,45	X		-		X			
24	45,10	45,06	45,09	1597	1176	0,74	-	-			X			
25	45,08	43,48	45,09	1697	1293	0,76	-	X						X
26	45,15	45,10	45,13	1601	1234	0,77	X	-		X				
27	-	-	45,00	1590	989	0,62	-	-						X
28	44,85	45,25	45,05	1594	1078	0,38	X	-						X
29	45,28	45,06	44,14	1530	911	0,60	X	-						X
30	41,12	47,15	44,31	1542	478	0,31	X	-	X					

Média geral da resistência de tração à aderência para T-I=0,55

Legenda da forma de ruptura

- A = Ruptura no substrato =  
 B = Ruptura no substrato/chapisco  
 C = Ruptura no chapisco  
 D = Ruptura no chapisco/argamassa  
 E = Ruptura na argamassa  
 F = Ruptura na argamassa/cola

Fonte: Autoria própria (2016)

**Tabela 91 - Resistência de aderência à tração -T-II- NBR 13528 (ABNT, 2010)**

Nº	Corpo de prova				Carga de ruptura (N)	Tensão Ra (Mpa)	Local do ensaio		Forma de ruptura (%)						
	d1 (mm)	d2 (mm)	Dm (mm)	Área (mm²)			Bloco	Junta	A	B	C	D	E	F	
1	45,14	45,22	45,18	1603	699	0,43	-	-					X		
2	-	-	45,00	1590	2018	1,27	-	-							X
3	45,11	45,18	45,15	1601	1303	0,81	-	-							X
4	45,48	45,27	45,38	1617	1479	0,91		X					X		
5	45,19	45,14	45,17	1602	793	0,50	-	-				X			
6	45,10	44,89	45,00	1590	1479	0,93	-	-				X			
7	-	-	45,00	1590	1558	0,98	-	-							X
8	-	-	45,00	1590	2058	1,29	-	--							X
9	-	-	45,00	1590	1920	1,21	-	-							X
10	-	-	45,00	1590	2332	1,47	-	-							X
11	-	-	45,00	1590	1764	1,11	-	-							X
12	-	-	45,00	1590	2518	1,58	-	-							X
13	45,54	45,94	45,74	1648	888	0,54	X			X					
14	-	-	45,00	1590	940	0,59	-	-							X
15	-	-	45,00	1590	617	0,38	-	-							X
16	-	-	45,00	1590	1136	0,71	-	-							X
17	-	-	45,00	1590	1166	0,73	-	-							X
18	45,38	44,95	45,17	1604	784	0,49	X			X					
19	45,04	44,91	44,98	1589	695	0,44	X			X					
20	45,28	46,04	45,66	1637	597	0,36	X				X				
21	44,82	44,84	44,83	1578	1136	0,72		X			X				
22	45,28	45,49	45,39	1620	327	0,20	X				X				
23	-	-	45,00	1590	505	0,32	X								X
24	45,16	44,80	44,95	1589	715	0,50	X			X					
25	45,23	45,40	45,32	1613	872	0,54	X			X					
26	45,14	45,09	45,12	1599	1038	0,65		X				X			
27	45,25	45,31	45,28	1610	784	0,49	X			X					
28	45,00	45,21	45,11	1585	627	0,40	X					X			
29	45,16	45,24	45,20	1605	1176	0,73		X					X		
30	-	-	45,00	1590	1156	0,73		X					X		

Média geral da resistência de tração à aderência para T-II=0,73 MPa

Legenda da forma de ruptura

- A = Ruptura no substrato
- B = Ruptura no substrato/chapisco
- C = Ruptura no chapisco
- D = Ruptura no chapisco/argamassa
- E = Ruptura na argamassa
- F = Ruptura na argamassa/cola

Fonte: Autoria própria (2016)

**Tabela 92 - Resistência de aderência à tração -T-III- NBR 13528 (ABNT, 2010)**

Nº	Corpo de prova				Carga de ruptura (N)	Tensão Ra (Mpa)	Local do ensaio		Forma de ruptura (%)						
	d1 (mm)	d2 (mm)	Dm (mm)	Área (mm²)			Bloco	Junta	A	B	C	D	E	F	
1	45,14	45,13	45,14	1600	882	0,55	X			X					
2	45,20	44,86	45,53	1628	695	0,43		X				X			
3	45,33	45,22	45,28	1610	1029	0,64		X		X					
4	45,02	45,47	45,25	1608	1381	0,86		X	X						
5	45,13	45,37	45,25	1608	981	0,61	X			X					
6	45,31	45,66	45,49	1628	842	0,52	X			X					
7	45,51	45,38	45,45	1624	121	0,75	X			X					
8	45,01	44,92	44,97	1588	744	0,47	X			X					
9	-	-	45,00	1590	1401	0,83	-	-					X		
10	-	-	45,00	1590	1862	1,71	-	-							X
11	46,18	45,67	45,93	1656	637	0,38	X				X				
12	45,42	45,54	45,48	1625	980	0,60	X			X					
13	-	-	45,00	1590	1264	0,80	-	-							X
14	45,50	46,72	46,11	1670	911	0,55		X		X					
15	-	-	45,00	1590	1225	0,77	-	-							X
16	45,18	45,24	46,71	1641	973	0,59	-	-		X					
17	44,35	45,12	44,74	1572	744	0,47	X				X				
18	45,26	45,49	45,38	1617	1136	0,70	X			X					
19	45,37	45,28	45,33	1613	1764	1,10	X				X				
20	45,36	45,39	45,38	1617	1519	0,94	X			X					
21	45,00	45,20	45,10	1598	1009	0,63	X			X					
22	-	-	45,00	1590	1381	0,87	-	-							X
23	45,39	45,25	45,32	1613	1136	0,70	X								X
24	45,10	45,15	45,13	1599	1185	0,74		X							X
25	-	-	45,00	1590	1244	0,78	-	-							X
26	44,80	44,85	44,83	1578	1274	0,81		X							X

Média geral da resistência de tração à aderência para T-II=0,72 MPa

Legenda da forma de ruptura

A = Ruptura no substrato

B = Ruptura no substrato/chapisco

C = Ruptura no chapisco

D = Ruptura no chapisco/argamassa

E = Ruptura na argamassa

F = Ruptura na argamassa/cola

Fonte: Autoria própria (2016).

**Tabela 93 - Resistência de aderência à tração -T-IV- NBR 13528 (ABNT, 2010)**

Nº	Corpo de prova				Carga de ruptura (N)	Tensão Ra (Mpa)	Local do ensaio		Forma de ruptura (%)						
	d1 (mm)	d2 (mm)	Dm (mm)	Área (mm²)			Bloco	Junta	A	B	C	D	E	F	
1	45,37	45,74	45,56	1630	1244	0,76		X		X					
2	45,50	45,19	45,35	1615	1204	0,75	-	-					X		
3	45,17	45,71	45,44	1622	705	0,44	-	-					X		
4	45,20	45,29	45,25	1608	735	0,46	-	-				X			
5	-	-	45,00	1590	1881	1,18	-	-							X
6	45,01	45,25	45,13	1600	1290	0,81	-	-						X	
7	45,18	45,37	45,28	1610	1009	0,63	X			X					
8	45,22	45,10	45,16	1602	784	0,49	X			X					
9	45,08	45,24	45,16	1602	607	0,38		X		X					
10	45,22	45,26	45,24	1607	1068	0,66	X						X		
11	-	-	45,00	1590	1254	0,79	X								X
12	45,20	45,28	45,24	1607	1048	0,65	-	-					X		
13	45,30	45,22	45,26	1609	392	0,24	-	-					X		
14	45,25	45,33	45,29	1611	520	0,32	-	-					X		
15	45,11	45,09	45,10	1598	607	0,38	-	-					X		
16	45,20	45,25	45,23	1606	905	0,56	-	-					X		
17	45,34	45,14	44,24	1607	685	0,43	-	-				X			
18	45,33	45,52	45,43	1621	274	0,17						X			
19	45,26	45,34	45,30	1614	565	0,35								X	
20	45,04	45,22	45,13	1600	1127	0,70								X	
21	45,33	45,27	45,30	1614	843	0,52								X	
22	45,32	45,36	45,34	1615	2430	1,50								X	
23	45,43	45,23	45,33	1614	872	0,54								X	

Média geral da resistência de tração à aderência para T-II=0,58 Mpa

Legenda da forma de ruptura

A = Ruptura no substrato

B = Ruptura no substrato/chapisco

C = Ruptura no chapisco

D = Ruptura no chapisco/argamassa

E = Ruptura na argamassa

F = Ruptura na argamassa/cola

Fonte: Autoria própria (2016)

**Tabela 94 - Resistência de aderência à tração -T-V NBR 13528 (ABNT, 2010)**

Corpo de prova					Carga de ruptura (N)	Tensão Ra (Mpa)	Local do ensaio		Forma de ruptura (%)					
Nº	d1 (mm)	d2 (mm)	Dm (mm)	Área (mm²)			Bloco	Junta	A	B	C	D	E	F
1	-	-	45,00	1590	911	0,57	-	-						X
2	45,25	45,22	45,24	1607	1110	0,69	-	-		X				
3	-	-	45,00	1590	950	0,60	-	-						X
4	46,39	45,43	45,91	1655	911	0,55	-	-			X			
5	-	-	45,00	1590	686	0,43	-	-						X
6	-	-	45,00	1590	999	0,63	-	-						X
7	45,25	45,35	45,30	1614	1195	0,74	-	-				X		
8	-	-	45,00	1590	1274	0,80	-	-						X
9	-	-	45,00	1590	1430	0,90	-	-						X
10	-	-	45,00	1590	1244	0,78	-	-						X
11	45,39	45,28	45,34	1615	1263	0,78	-	-	X					
12	45,12	45,29	45,21	1605	294	0,18	-	-	X					
13	45,23	45,23	45,23	1607	519	0,32	-	--				X		
14	45,29	45,38	45,34	1615	823	0,51	-	-				X		
15	45,56	45,23	45,40	1618	695	0,43	-	-		X				
16	45,63	45,23	45,43	1621	274	0,15	-	-				X		
17	-	-	45,00	1590	1048	0,68	-	-						X
18	-	-	45,00	1590	1362	0,85	-	-						X
19	45,40	45,24	45,32	1613	685	0,20	-	-				X		
20	45,26	45,35	45,31	1614	198	0,12	-	-						X
21	45,21	45,23	45,22	1606	372	0,23	-	-		X				
22	45,26	45,29	45,28	1610	1332	0,83		X	X					
23	45,23	45,27	45,25	1608	1842	1,15	X			X				
24	45,24	45,22	45,23	1607	1979	1,23		X						X
25	45,22	45,25	45,24	1607	1038	0,65		X	X					
26	45,10	45,04	45,07	1595	1048	0,66		X	X					
27	45,08	45,22	45,15	1601	1724	1,08	X							X
28	45,25	45,27	45,26	1609	970	0,60	-	-			X			
29	45,11	45,19	45,15	1601	1479	0,92		X	X					
30	45,22	45,22	45,22	1608	803	0,50	X				X			
31	45,17	45,31	45,24	1607	1107	0,69		X	X					
32	45,19	45,20	45,20	1604	2009	1,25		-		X				

Média geral da resistência de tração à aderência para =0,65 MPa

Legenda da forma de ruptura

- A = Ruptura no substrato  
 B = Ruptura no substrato/chapisco  
 C = Ruptura no chapisco  
 D = Ruptura no chapisco/argamassa  
 E = Ruptura na argamassa  
 F = Ruptura na argamassa/cola

Fonte: Autoria própria (2016).

**Tabela 95 - Análise ANOVA -Resistência de aderência à tração-confiança de 95%**

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	Valor-P	F crítico
Entre grupos	0,782873	4	0,195718	2,254474	0,066429	2,43824
Dentro dos grupos	11,80661	136	0,086813			
Total	12,58948	140				

Fonte: Autoria própria (2016)

**Tabela 96 - Teste Tukey- Resistência de aderência à tração-  
confiança de 95%**

Traços	Classificação				
	T-I	T-II	T-III	T-IV	T-V
Grupo	a	a	a	a	a

Fonte: Autoria própria (2016)

**Tabela 97 - Resistência de aderência à tração, análise da forma de ruptura T-I-NBR 13528 (ABNT, 2010).**

Traço	Forma de ruptura (Mpa)					
	Substrato (A)	Substrato /chapisco (B)	Chapisco (C)	Chapisco /argamassa (D)	Argamassa (E)	Argamassa /cola (EF)
T-I 30 Corpos de prova	0,18	0,45	0,67	0,58	0,66	0,43
	0,58	0,256	0,92		0,62	0,29
	0,61	0,77	0,72		0,30	0,59
	0,95		0,45		0,38	0,19
	0,31		0,74		0,60	0,55
					0,68	0,94
					0,76	0,38
						0,62
% de CP	16,67	10,00	16,67	3,33	23,33	30,00
Média	0,53	0,49	0,7	-	0,57	0,51
Coefficiente de variância	56,72604	52,76	24,10	-	29,34	43,14
Desvio padrão	0,29	0,26	0,17	-	0,17	0,22

Resistência de aderência final em Mpa = 0,49

Fonte: Autoria própria (2016)

**Tabela 98 - Resistência de aderência à tração, análise da forma de ruptura T-II-NBR 13528 (ABNT, 2010).**

Traço	Forma de ruptura (Mpa)					
	Substrato (A)	Substrato /chapisco (B)	Chapisco (C)	Chapisco /argamassa (D)	Argamassa (E)	Argamassa /cola (F)
T-II 30 Corpos de prova	0,54	0,36	0,50	0,43	0,98	1,27
	0,49	0,72	0,93	0,91	1,29	0,81
	0,44	0,20	0,65	0,73	1,21	0,59
	0,50		0,40	0,73	1,47	0,38
	0,54				1,11	0,71
	0,49				1,58	0,73
						0,32
% de CP	20,00	10,00	13,33	13,33	20,00	23,33
Média	0,5	0,27	0,62	0,7	1,27	0,69
Coefficiente de variância	7,48	62,42	37,22	28,42	17,55	45,85
DP	0,04	0,27	0,23	0,19	0,22	0,32

Resistência de aderência final em = 0,27

Fonte: Autoria própria (2016)

**Tabela 99 - Resistência de aderência à tração, análise da forma de ruptura T-III-NBR 13528 (ABNT, 2010).**

Traço	Forma de ruptura (Mpa)					
	Substrato (A)	Substrato /chapisco (B)	Chapisco (C)	Chapisco /argamassa (D)	Argamassa (E)	Argamassa /cola (F)
T-I 26 Corpos de prova	0,86	0,55	0,38	0,43	0,87	1,71
	0,75	0,64	0,47	0,83	0,70	0,80
	0,60	0,61	1,10		0,74	0,77
	0,70	0,52				0,78
	0,94	0,47				0,81
	0,63	0,55				
		0,59				
% de CP	23,08	26,92	11,54	7,69	11,54	19,02
Média	0,74	0,56	0,65	0,63	0,77	0,97
Coefficiente de variância	17,72	10,20	60,35	74,49	11,54	42,27
Desvio padrão	0,13	0,06	0,39	0,28	0,08	0,41

Resistência de aderência final em Mpa = 0,56 MPa

Fonte: Autoria própria (2016)

**Tabela 100 - Resistência de aderência à tração, análise da forma de ruptura T-IV-NBR 13528 (ABNT, 2010).**

Traço	Forma de ruptura (Mpa)					
	Substrato (A)	Substrato /chapisco (B)	Chapisco (C)	Chapisco /argamassa (D)	Argamassa (E)	Argamassa /cola (F)
T-I 23 Corpos de prova	0,76	0,46	0,75	0,38	0,81	1,18
	0,63	0,17	0,44	0,56	0,35	0,79
	0,49	0,43	0,66		0,70	
	0,38		0,65		0,52	
			0,24		1,50	
			0,32		0,54	
% de CP	17,38	13,04	26,09	8,70	26,09	8,70
Média	0,57	0,35	0,51	0,47	0,74	0,99
Coefficiente de variância	29,3	45,15	40,53	27,08	55,12	28,00
Desvio padrão	0,1654	0,15	0,21	0,13	0,41	0,28

Resistência de aderência final em Mpa = 0,35 MPa

Fonte: Autoria própria

**Tabela 101 - Resistência de aderência à tração, análise da forma de ruptura T-V-NBR 13528 (ABNT, 2010).**

Traço	Forma de ruptura (Mpa)					
	Substrato (A)	Substrato /chapisco (B)	Chapisco (C)	Chapisco /argamassa (D)	Argamassa (E)	Argamassa /cola (F)
T-I 32 Corpos de prova	0,78	0,69	0,55	0,74	1,08	0,12
	0,18	0,43	0,60	0,32	1,28	0,57
	0,83	0,23	0,50	0,51	0,43	0,60
	0,65	1,15	0,15	0,20	0,63	0,80
	0,66	1,25				0,90
	0,92					0,78
	0,69					0,68
						0,85
% de CP	21,87	15,63	12,5	12,5	12,5	25,00
Média	0,67	0,75	0,45	0,44	0,86	0,66
Coeficiente de variância	35,43	59,12	45,36	53,30	45,92	37,47
Desvio padrão	0,24	0,43	0,20	0,23	0,39	0,25

Resistência de aderência final em Mpa = 0,44 MPa

Fonte: Autoria própria (2016)

**Tabela 102 - Análise ANOVA, Resistência de aderência à tração, 95% de confiança.**

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	Valor-P	F crítico	Resultado
<b>T-I</b>							
Entre grupos	0,141	4	0,03525	0,728962	0,580982	2,776289	Não significativo
Dentro dos grupos	1,16055	24	0,048356				
Total	1,301549	28					
<b>T-II</b>							
Entre grupos	2,429154	5	0,485831	9,159829	5,59E-05	2,620654	Significativo
Dentro dos grupos	1,272943	24	0,053039				
Total	3,702097	29					
<b>T-III</b>							
Entre grupos	0,541015	5	0,108203	1,82016	0,154568	2,71089	Não significativo
Dentro dos grupos	1,188939	20	0,059447				
Total	1,729954	25					
<b>T-IV</b>							
Entre grupos	0,677998	5	0,1356	1,824667	0,161575	2,809996	Não significativo
Dentro dos grupos	1,26335	17	0,074315				
Total	1,941348	22					
<b>T-V</b>							
Entre grupos	0,555154	5	0,111031	1,247932	0,315807	2,58679	Não significativo
Dentro dos grupos	2,313268	26	0,088972				
Total	2,868422	31					

Fonte: Autoria própria (2016)

**ANEXO**

## ANEXO A

### DADOS DOS ENSAIOS DE ESFORÇOS MECANICOS DO ADITIVO FORNECIDOS PELO FABRICANTE DO ADITIVO.

	<p>DETERMINAÇÃO DO TEOR DE AR INCORPORADO ASTM C185</p> <p>ENSAIOS TRAÇO 1 (1:8:2) TRAÇO 2 (1:8) TRÇO 3 (1:6) CIMENTO/AREIA/CAL CIMENTO/AREIA/VEDALIT CIMENTO/AREIA/VEDALIT</p> <p>AR INCORPORADO 4,6 % 9,8 % 8,1 %</p>
	<p>CONSISTÊNCIA E MANUTENÇÃO</p> <p>ENSAIOS TRAÇO 1 (1:8:2) TRAÇO 2 (1:8) TRAÇO 3 (1:6) CIMENTO/AREIA/CAL CIMENTO/AREIA/VEDALIT CIMENTO/AREIA/VEDALIT (MM) (MM) (MM)</p> <p>INICIAL 252 258 265 30 MIN. 245 241 254 60 MIN. 236 237 250 90 MIN. 217 230 244 120 MIN. 214 216 227</p>
Bauer	<p>DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO NBR 7215</p> <p>ENSAIOS TRAÇO 1 (1:8:2) TRAÇO 2 (1:8) TRAÇO 3 (1:6) CIMENTO/AREIA/CAL CIMENTO/AREIA/VEDALIT CIMENTO/AREIA/VEDALIT (MPA) (MPA) (MPA)</p> <p>28 DIAS 6,1 5,1 9,1</p>
	<p>DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA AO ARRANCAMENTO</p> <p>ENSAIOS TRAÇO 1 (1:8:2) TRAÇO 2 (1:8) TRÇO 3 (1:6) CIMENTO/AREIA/CAL CIMENTO/AREIA/VEDALIT CIMENTO/AREIA/VEDALIT (MPA) (MPA) (MPA)</p> <p>28 DIAS 0,26 0,28 0,28 LOCAL DE 10% JUNTA RUPTURA 90% ARGAMASSA JUNTA</p>
	<p>ENSAIOS REALIZADOS EM CONDIÇÕES LABORATORIAIS</p>

**Figura 67 - Dados do aditivo VEDALIT.**

**Fonte: VEDALIT, 2016.**

## ANEXO B

### LAUDO DA ESPECTOMETRIA DE FLUORESCÊNCIA DE RAIOS X

Espectrômetro de fluorescência de raios X, Panalytical, modelo Axios Max.

Tubo de raios X: Rh (ródio)

#### 1. IDENTIFICAÇÃO DA(S) AMOSTRA(S)

Pelo solicitante	Nº. LAMIR
Areia Natural	386/16A
Areia de Britagem	386/16B

#### 2 - RESULTADOS

##### Composição Química:

Amostra	SiO <sub>2</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	TiO <sub>2</sub> (%)	K <sub>2</sub> O (%)	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MgO (%)	CaO (%)	ZrO <sub>2</sub> (%)	P.F. (%)
386/16A	98,8	0,4	0,4	0,1	0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,11

Amostra 386/16B	CaO (%)	MgO (%)	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	K <sub>2</sub> O (%)	TiO <sub>2</sub> (%)
	43,4	7,9	7,6	1,3	1,3	0,4	0,1
	SO <sub>3</sub> (%)	Na <sub>2</sub> O (%)	MnO (%)	SrO (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	P.F. (%)	
	0,1	0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	37,64	

- P.F. = Perda ao fogo (ensaio realizado a 1.000°C por duas horas)
- Resultados normalizados para 100 %

Obs.: A análise semiquantitativa possui certo caráter subjetivo e interpretativo. São aceitáveis variações na ordem de  $\pm 10\%$  nas concentrações indicadas acima, assim como falsas indicações positivas e/ou negativas de elementos em baixas concentrações (traços).

ANEXO C

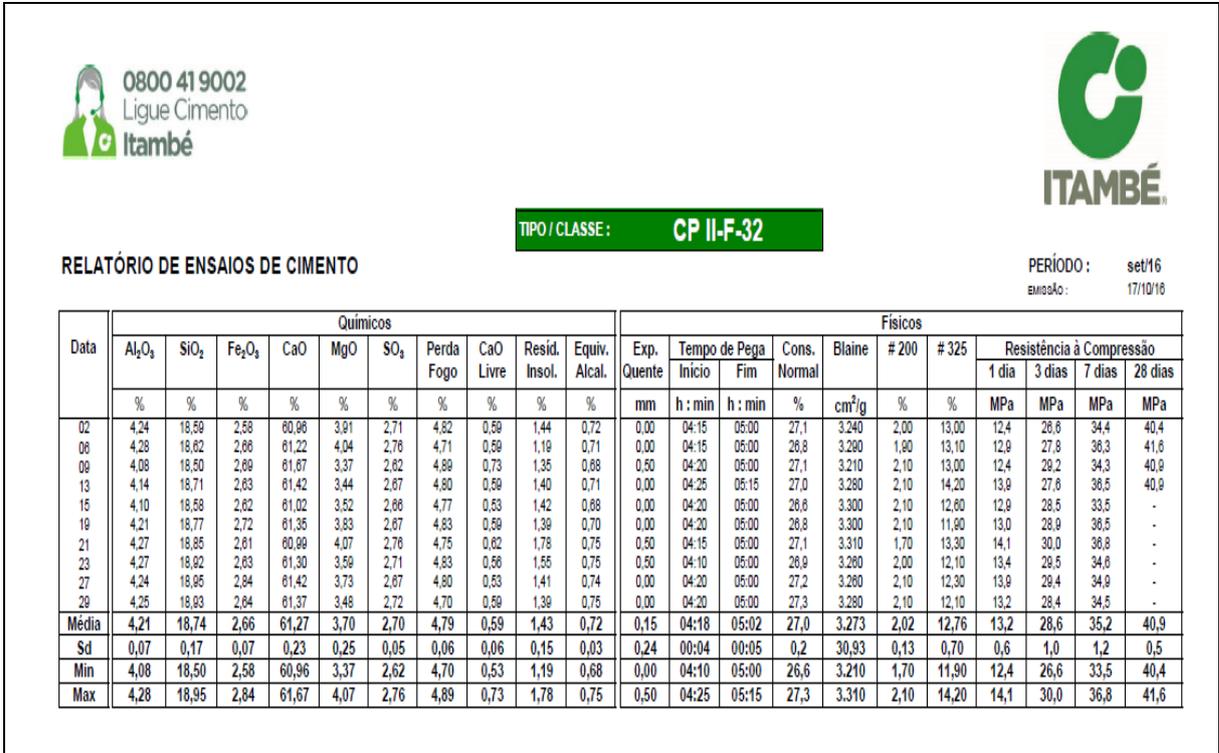


Figura 68 - Relatório de índices físicos e químicos do cimento Portland CP-II 32 F.  
Fonte: Cimentos ITAMBÉ

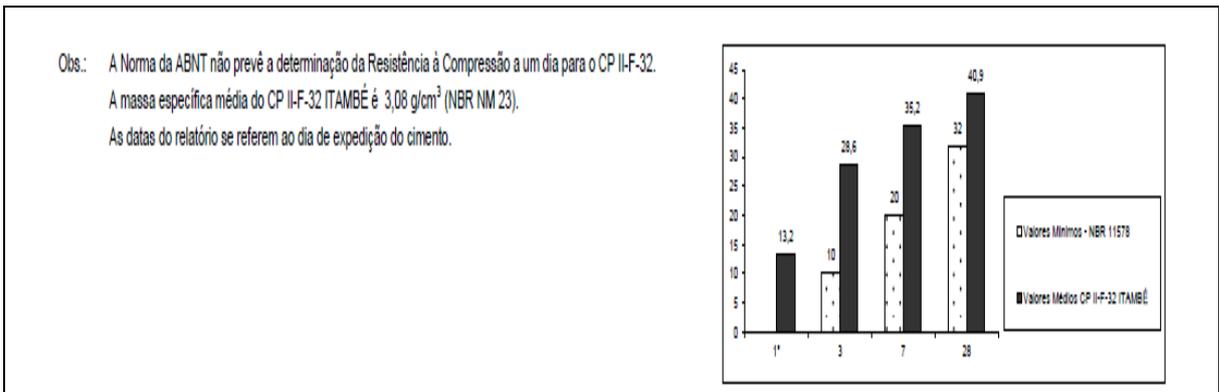


Figura 69 - Comparação dos valores exigidos pela ABNT e valores ITAMBÉ.  
Fonte: Cimentos ITAMBÉ