



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

**Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Centro de
Tecnologia e Geociências**

**REFORÇO DE ALVENARIA RESISTENTE COM
ARGAMASSA ARMADA COM ADIÇÃO DE
METACAU LIM**

João Manoel de Freitas Mota

**Recife – Pernambuco
2015**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

**REFORÇO DE ALVENARIA RESISTENTE COM
ARGAMASSA ARMADA COM ADIÇÃO DE
METACULIM**

JOÃO MANOEL DE FREITAS MOTA

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Centro de Tecnologia e Geociência da Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil.

Orientador externo: Profº. Dr. Romilde Almeida de Oliveira

Orientador interno: Profº. Dr. Arnaldo Manoel P. Carneiro

**Recife - Pernambuco
2015**

Catálogo na fonte
Bibliotecária: Rosineide Mesquita Gonçalves Luz / CRB4-1361 (BCTG)

M917r Mota, João Manoel de Freitas.
Reforço de alvenaria resistente com argamassa armada com
adição de metacaulim / João Manoel de Freitas Mota. - Recife: O
Autor, 2015.
197 f., il., gráfs., tabs.

Orientadores: Prof. Dr. Romilde Almeida de Oliveira.
Prof. Dr. Arnaldo Manoel P. Carneiro.
Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2015.
Inclui Referências e Anexos.

1. Engenharia Civil. 2. Alvenaria resistente. 3. Argamassa
armada. 4. Metacaulim. 5. Ductilidade. 6. Durabilidade. I. Oliveira,
Romilde Ameida de (Orientador). II. Carneiro, Arnaldo Manoel P.
(Orientador). III. Título.

624 CDD (22. Ed.)

UFPE/BCTG/2015-275



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

A comissão examinadora da Defesa de Tese de Doutorado

**INFLUÊNCIA DA ARGAMASSA ARMADA COM ADIÇÃO DE METACALIM
NA RESISTÊNCIA MECÂNICA, DUCTILIDADE E DURABILIDADE
DE ALVENARIA RESISTENTE**

defendida por

João Manoel de Freitas Mota

Considera o candidato APROVADO

Recife, 15 de outubro de 2015

Orientadores:

Prof. Dr. Arnaldo Manoel Pereira Carneiro - UFPE
(orientador interno)

Prof. Dr. Romilde Almeida de Oliveira - UFPE
(orientador externo)

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Romilde Almeida de Oliveira - UFPE
(orientador externo)

Prof.^a Dr.^a Helena Carasek - UFG
(examinadora externa)

Prof. Dr. Ângelo Just da Costa e Silva – UPE
(examinador externo)

Prof. Dr. Fernando Artur Nogueira Silva – UNICAP
(examinador externo)

Prof. Dr. José Jéferson do Rêgo Silva – UFPE
(examinador interno)

A Deus, a meus amados e adorados filhos Marina, Guilherme e João Pedro (que está chegando), a minha maravilhosa mãe Socorro e minha amada esposa Livia.

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

A Deus pela Graça da vida concedida. “*Deus disse: de maneira alguma te deixarei, nunca, jamais te abandonarei*” (*Hebreus 13:5*).

A minha mãe que sempre investiu seu melhor em nossa educação, minha filha Marina e meu filho Guilherme que tanto me chamou para brincar durante essa jornada (lembranças marcantes), meu filho que está chegando e minha encantadora mulher que tanto me apoiou sempre nessa caminhada (muito obrigado por tamanha paciência).

Ao meu ilustre Professor orientador Romilde, a quem sempre estive incondicionalmente ao dispor para orientação (não tenho como agradecer, muito obrigado por tudo). Ao meu Co-orientador o Professor Arnaldo Carneiro que muito ajudou com reflexões, muito obrigado.

Aos Professores da Pós-graduação de Engenharia Civil, especialmente Paulo Régis, Ézio Araújo, Jéferson Rego e aos demais.

Ao notável amigo Professor Joaquim Correia, pelo apoio integral, por suas reflexões e ensinamentos. Obrigado pelos determinantes conselhos enriquecedores.

Ao amigo e irmão Professor Ângelo Just. Quanta gentileza. Muito obrigado por contribuir com o planejamento e ensaios realizados.

A grande funcionária e amiga Andréa Negromonte, sempre cortês com todos. Parabéns!

A Universidade Federal de Pernambuco, que propiciou realizar o sonho valoroso de aprimorar nossos conhecimentos profissionais.

A empresa TECOMAT – Tecnologia da Construção e Materiais, que colaborou na realização de diversos ensaios em seu laboratório.

A Professora Helena Carasek por ajudar em reflexões acerca de pozolanas.

Aos amigos que muito ajudaram nos ensaios: Professor Tibério Andrade, André Miranda, Jairo Colaço, João Ribeiro, Wellington Amorim e Petrônio Barbosa. Muito obrigado mesmo!

Ao Ilustre Professor, Psicólogo e amigo Sylvio Ferreira. Ao senhor não tenho palavras para agradecer, diante da forma que sou acolhido e ajudado a ser uma pessoa melhor e em paz.

A diretora da UniFavip, Mauricélia Vidal por tanto apoio. Aos amigos pessoais e Professores Fred Barbosa, Aluízio Caldas e Robério Barros pelas colaborações.

Aos meus pares da VME André Vieira e Pedro Paulo, e Camila Siqueira pela contribuição e apoio.

[...] “Aprende que o tempo não é algo que possa voltar para trás. Portanto, plante seu jardim e decore sua alma, ao invés de esperar que alguém lhe traga flores. E você aprende que realmente pode suportar, que realmente é forte, e que pode ir muito mais longe depois de pensar que não se pode mais. E que realmente a vida tem valor e que você tem valor diante da vida. Nossas dádivas são traidoras e nos fazem perder o bem que poderíamos conquistar se não fosse o medo de tentar”
(William Shakespeare).

REFORÇO DE ALVENARIA RESISTENTE COM ARGAMASSA ARMADA COM ADIÇÃO DE METACAILIM

RESUMO

Estima-se a existência, desde a década de 1960, de milhares de edifícios de alvenarias de vedação com função estrutural na Região Metropolitana do Recife (RMR). Esses prédios tipo “caixão” foram concebidos, em sua maioria, com blocos cerâmicos com furos na horizontal e possuem até quatro pavimentos. Verifica-se que essas paredes não apresentam requisitos técnicos e desempenho necessários para serem considerados estruturais, de tal forma que o cálculo da resistência à compressão mostra insuficiência na capacidade de suporte, por conseguinte, não atendem a critérios normativos. Portanto, observam-se elevados níveis de patologias e envelhecimento precoce, onde a relação entre o número de acidentes e o número de edificações existentes apresenta probabilidade de falha de aproximadamente 1:500, bem acima do nível aceitável quando envolve a segurança de vidas humanas que é de 1:10.000. Ocorreram 12 desabamentos desses prédios nos últimos 30 anos na RMR, causando 12 mortes. Assim, torna-se importante apresentar um modelo de reforço para estas edificações, especialmente quando se considera que nesses prédios residem cerca de 250.000 pessoas. Este trabalho tem por objetivo avaliar o reforço com argamassa armada e adição de metacaulim na resistência compressiva, ductilidade e durabilidade. Moldaram-se prismas de amostras sem e com reforço sobre substrato sem revestimento e revestido. O reforço foi constituído por capa de argamassa com tela de aço nas duas faces interligadas por conectores de aço e adição de 15% de metacaulim, adicionado por substituição de parte de cimento e adição simples, com traços em volume: 1:1:6:1,5 e 1:0,5:4,5:1,5 (cimento, cal, areia, relação água/cimento). Concluiu-se diante dos ensaios que o reforço proposto contribui substancialmente na resistência à compressão (considerando o fator redutor devido efeito de flambagem) e na forma de ruptura, fornecendo ductilidade (deformação plástica e tenacidade), bem como a metacaulim contribui para a durabilidade, visto em ensaios próprios específicos (resistência mecânica, módulo de elasticidade, velocidade de propagação da onda ultrassônica, absorção por imersão e ensaios acelerados de carbonatação e cloretos).

Palavras-chave: alvenaria resistente, argamassa armada, metacaulim, ductilidade, durabilidade.

REINFORCEMENT OF RESISTANT MASONRY WITH REINFORCED MORTAR WITH METAKAOLIN ADDITION

ABSTRACT

In Recife Metropolitan Region (RMR), there are thousands of buildings made of non-structural masonry dating from the 1960s, however performing as structural masonry. These four-floor buildings best known as “caixão” were mostly conceived with ceramic bricks horizontally perforated. This kind of masonry does not supply technical requirements and does not perform appropriately to be considered structural. It does not fulfill normative criteria because structural calculus shows that its resistance to compression does not suffice. This consequently leads to high levels of pathologies and premature aging of buildings. The relationship between the quantity of “caixão” buildings in RMR and the number of accidents they are involved in indicates that the probability of failure is about 1:500. This rate is much above the acceptable standard of 1:10.000 concerning human lives safety. Over the past thirty years, 12 “caixão” buildings tumbled down in RMR, causing 12 deaths. It is, thus, relevant to develop a solution for reinforcing these buildings, where approximately 250.000 people live. This study aims to evaluate the use of reinforced mortar and metakaolin addition for reinforcing masonry in order to increase its resistance to compression, ductility and durability. In this research, we shaped sample prisms with and without reinforcement on both mortar and non-mortar substratum. The reinforcement consisted of a layer of mortar with a steel lattice on both faces connected by steel connectors as well as addition of 15% of metakaolin, partly replaced with cement by pure addition, following the volume proportions of 1:1:6:1,5 and 1:0,5:4,5:1,5 (cement, lime, sand, water/cement relation). Conclusively, our proposal substantially increased the masonry resistance to compression, considering the reduction factor due to the buckling effect, providing it with ductility, that is, plastic deformation and tenacity. Additionally, we found that the metakaolin contributes to masonry durability by doing specific experiments of mechanical resistance, elasticity modulus, ultrasound, and absorption by immersion as well as accelerated experiments of carbonation and chlorides.

Keywords: Non-structural masonry, reinforced mortar, metakaolin, ductility, durability.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	XI
LISTA DE TABELAS	XV
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Considerações gerais.....	1
1.2 Alvenaria resistente.....	4
1.3 Justificativa.....	8
1.4 Objetivos.....	8
1.4.1 Objetivo geral.....	8
1.4.2 Objetivos específicos.....	8
1.5 Apresentação da estrutura do trabalho.....	9
2 CASOS DE DESABAMENTOS DE EDIFÍCIOS TIPO “CAIXÃO”	11
2.1 Edifício Aquarela (1997)	11
2.3 Edifício Enseada de Serrambi (1999)	12
2.5 Edifício Sevilha (2007)	13
3 INFLUÊNCIA DAS ARGAMASSAS EM ESTRUTURAS DE ALVENARIA	14
3.1 Influências da argamassa de assentamento em alvenarias.....	14
3.2 Ação mecânica de revestimentos argamassados em paredes de alvenaria.....	16
3.3 Influência da argamassa de revestimento em alvenaria resistente.....	18
4 AÇÃO DE POZOLANA EM MATRIZ CIMENTÍCIA.....	41
5 MÉTODO E MATERIAIS	61
5.1 Materiais empregados.....	62
5.2.1 Prismas e argamassas empregadas.....	67
5.2 Aspectos gerais dos ensaios.....	73
5.3 Aspectos gerais dos ensaios.....	86
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	92
6.1 Comentários acerca da resistência à compressão dos prismas ensaiados.....	93
6.1.1 Prismas SEM REFORÇO para caracterização - (BATERIA 1 com amostras: “A” – sem revestimento; “B” – chapiscado; “C” – com revestimento fraco)	93

6.1.2 Prismas COM REFORÇO em argamassa armada e adição SOBRE SUBSTRATO COM REVESTIMENTO TRAÇO FRACO (BATERIA 2 com amostras: “I, II, III, IV e V”)	95
6.1.2.1 Análise na média com todos os valores numéricos.....	95
6.1.2.2 Análise de variância.....	98
6.1.3 Prismas com argamassa armada e adição para reforço SOBRE SUBSTRATO SEM REVESTIMENTO (BATERIA 3 – amostras VI, VII, VIII, IX e X).....	100
6.1.3.1 Análise na média com valores numéricos.....	100
6.1.3.2 Análise de variância.....	103
6.2 Forma de ruptura (deformação).....	106
6.3 Durabilidade das argamassas.....	122
6.3.1 Resistência à compressão.....	123
6.3.2 Módulo de elasticidade dinâmico.....	125
6.3.3 Velocidade de propagação da onda Ultrassônica.....	126
6.3.4 Absorção de água por imersão.....	129
6.3.5 Avaliação de desempenho quanto à carbonatação.....	129
6.3.6 Ensaio acelerado com cloretos.....	134
6.4 Considerações acerca da influência do reforço com argamassa armada na capacidade de suporte da super-estrutura, levando-se em conta o coeficiente redutor devido o efeito de flambagem.....	137
7 CONCLUSÕES E SUGESTÕES	141
7.1 Conclusões.....	141
7.2 Sugestões futuras.....	144
REFERÊNCIAS.....	147
ANEXOS.....	171

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Ponte Alcântara (tempos Romanos) - Toledo/Espanha.....	2
Figura 1.2 – Edifício em alvenaria (Século VIII) - Sintra/Portugal.....	2
Figura 1.3 – Edifício Monadnock com 16 pavimentos (1889) – Chicago/EUA.....	3
Figura 1.4 – Residencial The Gift com 5 torres de 19 pavimentos cada e apartamentos com 200 m ² - São Paulo.....	3
Figura 1.5 - Alvenaria de vedação com função estrutural similar a dos edifícios tipo “caixão”.....	4
Figura 1.6 – Exemplo de peças para fundação dos edifícios “caixão” (COSTA e SILVA; MOTA; BARBOSA, 2009).....	7
Figura 1.7 - Caixão vazio sob laje de piso do pavimento térreo - micro clima favorecendo elevada agressividade (MINISTÉRIO PÚBLICO DE PERNAMBUCO, 2010).....	7
Figura 2.1 – Condição após entrar no solo perto de 1,0 m.....	12
Figura 2.2 – Destroço do desabamento.....	12
Figura 2.3 – Embasamento ruído.....	13
Figura 3.1 – Suporte de parede de alvenaria relacionado com proporcionalidades de argamassas.....	14
Figura 3.2 – Forma de ruptura: sem revestimento, com espessura de 10 mm e 30 mm.....	18
Figura 3.3 - Forma de ruptura dos prismas sem revestimentos e com chapisco.....	24
Figura 3.4 - Formas de ruptura dos prismas com revestimento de 2,0 cm.....	24
Figura 3.5 - Formas de rupturas dos prismas com revestimento de 3,0 cm.....	24
Figura 3.6 – Detalhe do reforço da amostra 3.....	29
Figura 3.7 – Amostra 3 pronto para receber o reforço.....	30
Figura 3.8 – Prisma recebendo o reforço.....	31
Figura 3.9 – Critério para determinação do fator de tenacidade.....	33
Figura 3.10 – Prismas com septos rompidos.....	38
Figura 3.11 – Fissura inicial na interface da argamassa do reforço.....	39
Figura 4.1 – C-S-H após: a) 15 horas, b) 7 dias, c) 56 dias, d) 600 dias.....	42
Figura 4.2 – CH após: a) 140 minutos, b) 15 horas, c) 36 dias e d) CH.....	43
Figura 4.3 - Sulfoaluminato de Cálcio hidratado após: a) 75 minutos, b) 360 dias.....	44
Figura 4.4 - Morfologia típica do C-S-H.....	44

Figura 4.5 – Micrografia de metacaulim.....	49
Figura 4.6 (a) – Deslizamento da caulinita.....	50
Figura 4.6 (b) - Partículas da pozolana metacaulim nos interstícios do cimento.....	51
Figura 4.7 - Resistência à compressão de argamassas com metacaulim e sílica ativa.....	54
Figura 4.8 (a) - Aspecto do ambiente marinho da Região em estudo (névoa salina) – Porto de Galinhas/PE.....	55
Figura 4.8 (b) - Região em que se encontravam os CP's de concreto ensaiados (< http://earth.google.com/.htm >. Acesso em: 28 de abril, 2008).....	56
Figura 4.9 - Vazios na pasta de cimento.....	57
Figura 4.10 - Representação esquemática dos caminhos internos de materiais cimentícios.....	58
Figuras 5.1 - Três variáveis estudadas na tese.....	62
Figura 5.2 – Fluxograma das variáveis do experimento.....	70
Figura 5.3 - Corpos de prova com capeamento.....	74
Figura 5.4 (a) – Prisma sem revestimento.....	76
Figura 5.4 (b) – Prisma com chapisco.....	76
Figura 5.4 (c) – Prisma com revestimento.....	77
Figura 5.5 – Prisma com reforço da bateria 2.....	78
Figura 5.6 – Prisma com reforço da bateria 3.....	80
Figura 5.7 – Furos para o conector.....	81
Figura 5.8 – Conector chumbado.....	82
Figura 5.9 – Corpo de prova com nitrato de prata.....	85
Figura 5.10 – Cabine da prensa.....	87
Figura 5.11 – Câmara de carbonatação.....	87
Figura 5.12 – Câmara de cloretos.....	88
Figura 5.13 – Área de produção dos prismas.....	88
Figura 5.14 – Prédio de alvenaria resistente.....	89
Figura 5.15 – Formas e gabaritos dos prismas.....	89
Figura 5.16 – Transporte dos prismas.....	90
Figura 6.1 – Força média na ruptura das amostras com os prismas para caracterização (sem reforço), bem como a linha de tendência linear crescente.....	94
Figura 6.2 – Incremento na compressão das amostras “B” e “C” em relação à amostra “A” e a linha de tendência linear crescente.....	94

Figura 6.3 – Força média na ruptura das amostras com os prismas reforçados com argamassa armada e adição sobre substrato revestido com argamassa fraca. Ressalta-se a crescente linha de tendência móvel dos dois períodos.....	96
Figura 6.4 – Incremento na força das amostras com reforço sobre prismas revestidos (bateria 2) em relação a prismas revestidos sem reforço (amostra “C”) e a linha de tendência linear crescente.....	96
Figura 6.5 – Força na ruptura de todos os prismas das amostras com reforço de argamassa armada e metacaulim sobre base revestida com argamassa fraca (bateria 2).....	97
Figura 6.6 – Força média na ruptura das amostras dos prismas reforçado com argamassa armada e metacaulim sobre substrato sem revestimento.....	101
Figura 6.7 – Incremento na força das amostras com reforço sobre base sem revestimento (bateria 3) em relação a prismas sem revestimentos sem reforço (amostra “A”) e linha de tendência linear ascendente.....	101
Figura 6.8 - Força na ruptura de todos os prismas das amostras com reforço de argamassa armada e metacaulim sobre substrato sem revestimento (bateria 3).....	102
Figura 6.9 – (a) septos completamente rompidos de prisma revestido; (b) prisma chapiscado; (c) prisma revestido com ruptura brusca / explosiva; (d): ruptura explosiva em prisma revestido, todavia completamente comprometido.....	106
Figuras 6.10 – CP’s reforçados ensaiados e rompidos, pronto para o descarte.....	107
Figura 6.11 – Fissura na face do revestimento na região do conector; (b) – fissura no revestimento da parte superior do prisma; (c) – fissura no revestimento da base do prisma; (d) – poucos septos rompidos.....	107
Figura 6.12 – Estado íntegro dos conectores após ensaios e demolição com marreta dos restos do prisma.....	108
Figura 6.13 – O mesmo prisma, sendo (a) o prisma após ruptura registrado na prensa praticamente sem avarias; (b) o prisma com deformação adicional (acionamento manual) após a conclusão do ensaio.....	109
Figura 6.14 – Corpos de prova da mesma amostra indo para o descarte. O da esquerda praticamente sem avarias após o ensaio. O da direita com deformação adicional, após o ensaio simples, com aproximadamente 10 cm.....	110
Figura 6.15 - Prismas reforçados sobre substrato revestido, com deformação adicional em torno de 12 cm após a conclusão do ensaio (prensa travada).....	111

Figura 6.16 – Prismas reforçados sobre substrato sem revestimento, com deformação adicional em torno de 10 cm após a conclusão do ensaio.....	113
Figura 6.17 (a) – Deformação específica da amostra “A”.....	115
Figura 6.17 (b) – Deformação específica da amostra “C”.....	116
Figura 6.17 (c) – Deformação específica da amostra V.....	117
Figura 6.17 (d) – Deformação específica da amostra X.....	118
Figura 6.18 – Curvas de deformação plástica.....	119
Figura 6.19 – Gráfico com relação entre força e tenacidade.....	121
Figura 6.20 – Relação da ductilidade entre amostras sem e com reforço.....	122
Figura 6.21 - Resultados médios da resistência à compressão das argamassas e as linhas de tendência linear crescente dos dois traços.....	124
Figura 6.22 – Módulo de elasticidade dinâmico das amostras com reforço e suas linhas de tendência linear crescente.....	126
Figura 6.23 – Velocidade da onda ultrassônica.....	128
Figura 6.24 – Ensaio de ultra som em corpo de prova de argamassa.....	128
Figura 6.25 – Curvas das três condições de maturação para carbonatação das argamassas traço médio para reforço dos prismas e as linhas de tendência exponencial.....	131
Figura 6.26 – Curvas das três condições de maturação para carbonatação das argamassas para reforço traço forte dos prismas e as linhas de tendência exponencial.....	133
Figura 6.27 – Leitura do corpo de prova do traço forte com 8% de substituição de parte do cimento [condição (b)].....	133
Figura 6.28 – Gráficos com os teores de cloretos nos dois traços estudados e as linhas de tendência exponencial.....	136

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Caracterização dos blocos.....	21
Tabela 3.2 – Resultados à compressão dos prismas.....	22
Tabela 3.3 – Nomenclatura das argamassas.....	29
Tabela 3.4 – Resistência à compressão dos prismas protótipos.....	31
Tabela 4.1 - Exigências químicas de metacaulim em diferentes normas.....	47
Tabela 4.2 – Classificação da metacaulim.....	48
Tabela 5.1 – Caracterização do cimento.....	63
Tabela 5.2 – Caracterização da cal.....	64
Tabela 5.3 – Característica química da metacaulim.....	64
Tabela 5.4 – Características Físicas da metacaulim.....	65
Tabela 5.5 (a) – Granulometria da areia.....	66
Tabela 5.5 (b) – Características da areia natural.....	66
Tabela 5.6 – Caracterização dos blocos.....	67
Tabela 5.7 – Nomenclatura das amostras estudadas e proporcionalidades em volume.....	69
Tabela 5.8 – Traços das argamassas comuns.....	71
Tabela 5.9 – Traços das argamassas de reforço.....	71
Tabela 5.10 (a) – Características das argamassas comuns.....	72
Tabela 5.10 (b) – Características das argamassa para reforço.....	72
Tabela 5.11 – Elementos para caracterização.....	75
Tabela 5.12 – Amostras de argamassa armada sobre C.....	78
Tabela 5.13 – Amostras de argamassa armada sobre A.....	79
Tabela 5.14 – Amostras para estudo de durabilidade.....	83
Tabela 5.15 – Resumo dos ensaios do reforço.....	86
Tabela 6.1 – Resultados da compressão axial dos prismas para caracterização (sem reforço).....	93
Tabela 6.2 – Compressão axial dos prismas com argamassa armada e metacaulim para reforço sobre substrato com revestimento fraco (bateria 2).....	95
Tabela 6.3 – ANOVA para amostras (IV e V).....	98
Tabela 6.4 – Resumo das análises da ANOVA da média da resistência à compressão dos prismas reforçados sobre substrato com revestimento fraco (bateria 2).....	99

Tabela 6.5 – Resultados médios da resistência à compressão axial de prismas com argamassa armada e metacaulim para reforço sobre substrato sem revestimento.....	100
Tabela 6.6 – ANOVA para amostras - VIII e X.....	103
Tabela 6.7 – Resumo da ANOVA da média da resistência compressiva dos prismas com argamassa armada e metacaulim para reforço sobre substrato sem revestimento (bateria 3).....	104
Tabela 6.8 – Resultados com maior e menor desempenho considerando todas as amostras reforçadas com argamassa armada e adição (bateria 2 e bateria 3).....	105
Tabela 6.9 (a) – Porcentagem de deformação plástica das amostras A, C, V e V.....	119
Tabela 6.9 (b) – Análise da deformabilidade.....	119
Tabela 6.10 - Resultados de resistência à compressão das argamassas de reforço.....	123
Tabela 6.11 – Resultados do módulo de elasticidade dinâmico de corpos de prova das argamassas usadas nos prismas reforçados.....	125
Tabela 6.12 – Classificação da velocidade da onda de ultra som em argamassas estruturais de acordo com White Hurst (1996) e Rodrigues (2003).....	127
Tabela 6.13 – Classificação das argamassas reforçadas diante da velocidade da onda ultrassônica.....	127
Tabela 6.14 – Absorção de água por imersão das amostras utilizadas para reforço.....	129
Tabela 6.15 (a) – Resultados médios de carbonatação em corpos de prova de argamassa (traço médio) nas três condições de maturação.....	130
Tabela 6.15 (b) – Resultados médios de carbonatação de corpos de prova de argamassa (traço forte) nas três condições de maturação.....	131
Tabela 6.16 – Resultados do teor de cloretos Cl- / SD (% médios).....	135

CAPÍTULO 1

1.0 INTRODUÇÃO

1.1 - Considerações gerais

Alvenaria pode ser entendida como a união entre tijolos ou blocos por juntas de argamassa, formando um conjunto rígido e coeso, donde, podendo ser classificada como de vedação e estrutural (não armada, armada, parcialmente armada e protendida). Não obstante, também pode ser citada a alvenaria “resistente” (de vedação com função estrutural) encontrada na Região Metropolitana do Recife, dentre outros lugares (OLIVEIRA, 2004).

Os primeiros registros sobre estudos tecnológicos de alvenarias foram na década de 50. Ocorre que, as construções anteriores, tendo em vista conhecimento incipientes eram superdimensionadas, tendo espessuras das paredes entre 30 cm e 1,30 m. Portanto, as primeiras pesquisas pertinentes embasaram a construção de um prédio erguido, em 1951, na Basiléia com 13 andares com estrutura em alvenaria não armada, cujo cálculo foi do engenheiro Suíço, Paul Haller. Essa edificação possui paredes portantes variando de 15 cm até 37,5 cm de espessura (OLIVEIRA, 2001).

No Brasil, a partir do ano de 1989 surgiu a primeira norma sobre alvenaria estrutural, permitindo tímidos avanços na cadeia produtiva da construção civil, capitaneada principalmente por pesquisas acadêmicas. Contudo, diversas construções em alvenaria são observadas em países da Europa, Estados Unidos, Canadá, Austrália, com todos os casos apresentando elevado desempenho em serviço até os dias atuais (ROMAN, 1999). A alvenaria estrutural é o sistema construtivo mais antigo, sendo possível uma economia global na ordem de 25% quando comparada aos sistemas convencionais (MOTA, 2006).

Deve-se destacar que uma estrutura de alvenaria alcança relevante padrão de desempenho e durabilidade, desde que apresentem materiais e processos que tenham fundamentos teóricos. A alvenaria como estrutura é sem dúvida um modelo construtivo dos mais nobres, implicando em habitabilidade segura e duradoura. Poder-se-ia apresentar algumas construções com estrutura em alvenaria, tendo em vista aspectos históricos e desempenho em serviço com durabilidade incontestada, a saber: Ponte Alcântara, Toledo/Espanha (tempos Romanos), Figura 1.1; Edifício em alvenaria, Sintra/Portugal (Século VIII), Figura 1.2; Edifício Monadnock com 16 pavimentos, Chicago (1889), Figura 1.3; Residencial The Gift com cinco torres de 19 pavimentos cada e apartamentos com 200 m², São Paulo, Figura 1.4.



Figura 1.1 – Ponte Alcântara (tempos Romanos), Toledo/Espanha



Figura 1.2 – Edifício em alvenaria (Século VIII), Sintra/Portugal



Figura 1.3 – Edifício Monadnock com 16 pavimentos (1889), Chicago/EUA (símbolo clássico da alvenaria estrutural)



Figura 1.4 - Residencial The Gift com cinco torres de 19 pavimentos cada e apartamentos com 200 m², São Paulo (2008)

1.2 – Alvenaria resistente

Na Região Metropolitana do Recife (RMR) observou-se a tradição na construção em alvenarias “resistentes” (alvenaria de vedação com função estrutural) desde o período colonial, haja vista herança dos portugueses no domínio desse modelo construtivo. Além de casas com um e dois pavimentos, em períodos mais recentes (década de 1960) edificações com três e até quatro pavimentos (tipo “caixão”) foram erguidos com essa “estrutura”.

Existem aproximadamente seis mil prédios tipo “caixão” com blocos de vedação, predominantemente cerâmico com furos na horizontal e poucos casos com blocos de concreto, sendo todos com espessura média de 9,0 cm e resistência à compressão até 2,5 MPa. As argamassas de assentamento e revestimentos geralmente compostas de cimento, saibro e areia ou cimento, cal e areia ou ainda cimento e areia. Sabendo que a esbeltez para pé direito padrão 2,60 m chega próximo de 30, implica numa redução adicional da capacidade de suporte das paredes, tendo em vista ser bem superior à aceitável na alvenaria estrutural, 20 (MOTA; ARAÚJO; OLIVEIRA, 2006).

A Figura 1.5 mostra paredes de vedação de blocos cerâmicos que se portam com função estrutural. Destaca-se a forma aleatória da construção, visto que não existe alinhamento das juntas, os blocos têm largura abaixo da estabelecida por norma de alvenaria estrutural, são posicionados com furos na horizontal (perpendicular ao carregamento compressivo) etc.



Figura 1.5 – Alvenaria de vedação com blocos cerâmicos de oito furos na horizontal com função estrutural sobre viga radier e pilares em concreto armado

Nos anos 70 iniciaram-se construções, em larga escala, de edifícios populares com até quatro pavimentos, financiado pelo Banco Nacional de Habitação, através da companhia de habitação popular (COHAB's) e do instituto de orientação às cooperativas habitacionais (INOCOOP's). Em princípio, os edifícios eram construídos sobre pilotis, onde, a partir da primeira laje em concreto armado, erguia-se a estrutura dos apartamentos com áreas perto de 100 m² em alvenarias resistentes. Nessa época não existiam normas nacionais de alvenaria estrutural (OLIVEIRA; SILVA; PIRES SOBRINHO, 2008).

A deterioração dessa prática construtiva foi provocada pelas crises financeiras sucessivas que o país enfrentou. Isso no início dos anos de 1980, quando os apartamentos se condensaram com o aproveitamento do térreo para unidades residenciais. Esses apartamentos passaram a ter próximo de 50 m² de área construída por unidade, com as alvenarias erguidas desde as fundações. Essa configuração deixou o prédio com o formato de uma caixa, propiciando o nome de edifício tipo “caixão”.

Esses edifícios foram originados por aspectos sociais, políticos e econômicos, com até quatro pavimentos, em sua maioria com oito apartamentos por prédio. Estima-se que nesses empreendimentos habitam cerca de 250.000 pessoas, importando em perto de 10% da população da RMR (MOTA; OLIVEIRA, 2007). Não se pode deixar de citar que edificações com características análogas são encontradas na cidade de Caruaru, no estado da Paraíba, Alagoas, bem como em cidades do Sul etc. Em alguns casos observam-se Pilares em concreto armado até a laje do primeiro pavimento (pilotis) e a partir desta alvenaria resistente.

Verificam-se diversos edifícios tipo “caixão” na Região Metropolitana do Recife com elevados níveis de patologias (envelhecimento precoce), várias interdições e até desabamentos com dezenas de mortes. Avaliando a relação entre o número de desabamentos e o número de edificações existentes, identifica-se probabilidade de falha de aproximadamente 1:500, ou seja, bem acima do aceitável quando envolve a segurança de vidas humanas que é de no máximo 1:10.000 (MOTA; OLIVEIRA, 2007).

Pode-se dizer que, na maioria dos casos a causa que governou os desabamentos foi à deterioração do embasamento devido às águas subterrâneas, seja pela expansão por umidade (EPU) dos blocos cerâmicos e, ou, ataque por sulfato aos elementos cimentícios (blocos de concreto e argamassas). É importante dizer que a super-estrutura deve ter necessariamente reforço, uma vez que não se pode atestar estabilidade teórica (MOTA, 2006).

Em diversas edificações não se observavam peças importantes com vergas e contra vergas; as indispensáveis cintas de amarração, com as nervuras das lajes apoiadas diretamente nas paredes, favorecendo a ruptura “explosiva”; estrutura de concreto ao longo do edifício para sustentação da escada e reservatório de água superior, levando ao apoio direto nas alvenarias; caixão vazio na fundação, significando acréscimo de carga de mais um pavimento (térreo); radier de concreto armado, dentre outros.

Em alguns escombros de um mesmo prédio que veio a desabar, constataram-se variações de materiais utilizados, isto é, blocos cerâmicos e concretos em mesmo baldrame, alvenaria singela de 20 cm em lugar de alvenaria dobrada de 20 cm etc. Sabe-se que, diversos edifícios tipo “caixão” estão com alterações de projetos, na medida em que os moradores buscam adequações com reformas de toda ordem, sendo em sua maioria sem nenhum critério técnico, produzindo agravo da instabilidade teórica.

Descrevendo as principais características das fundações dos prédios em alvenaria resistente, pode-se dizer que predominava a sapata corrida em concreto armado (tipo T invertido) ou peças em pré moldado sobre concreto magro. Acima das sapatas posicionavam-se alvenarias singelas ou dobradas, que seria o embasamento ou baldrame, acima dessa peça o radier, e posteriormente as paredes da super-estrutura da edificação (Figura 1.6).

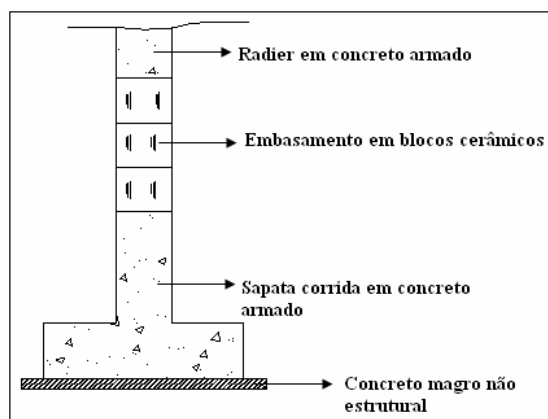


Figura 1.6 - Exemplo de peças para fundação dos edifícios “caixão” (COSTA e SILVA; MOTA; BARBOSA, 2009)

Constatou-se, em todos os sinistros, a laje de piso do pavimento térreo transmitindo carga diretamente ao embasamento, ao invés do aterro compactado do caixão, ou seja, configuração do caixão vazio. Nesses casos, o “pseudo” reservatório de águas servidas formado no centro do edifício (Figura 1.7) aguçava o processo de lixiviação e deterioração das paredes das fundações, peças que ruíram e provocaram os desabamentos bruscos.



Figura 1.7 – Caixão vazio sob laje de piso do pavimento térreo - micro clima favorecendo elevada agressividade (MINISTÉRIO PÚBLICO DE PERNAMBUCO, 2010)

A maior preocupação nos prédios tipo “caixão” é, sem dúvida, a forma de ruptura brusca e o colapso progressivo não são aceitáveis quando se verifica os padrões de confiabilidade estrutural (MOTA; OLIVEIRA, 2007). Entretanto, em que pese à falta de controle na produção dos materiais e do processo construtivo em diversos casos, destacam-se construções com essas características com mais de 40 anos em serviço.

Desde 2006 a prefeitura de Recife vetou através de lei municipal construções com mais de dois pavimentos, exigindo que acima disso se construísse com alvenaria estrutural (OLIVEIRA; SILVA; PIRES SOBRINHO, 2008).

1.3 - Justificativa

Essa pesquisa é justificada pela existência de aproximadamente 6.000 edifícios “tipo caixão” na RMR com instabilidade estrutural teórica (resistência mecânica insuficiente) diante das normas de alvenaria estrutural, bem como ruptura brusca e durabilidade incipiente. Portanto, especifica-se uma proposta para reforço que atenda a resistência mecânica; ductilidade e durabilidade dessas edificações.

1.4 - Objetivos

1.4.1 - Objetivo geral:

Apresentar um modelo de reforço com argamassa de revestimento armada e adição de metacaulim que eleve a capacidade de suporte, ductilidade e durabilidade das paredes da super-estrutura de alvenaria resistente.

1.4.2 - Objetivos específicos:

- Identificar experimentalmente, o incremento efetivo da resistência à compressão devida argamassa armada e metacaulim em prismas de alvenaria resistente com blocos cerâmicos, simulando peças da super-estrutura dos edifícios tipo “caixão”;
- verificar a ductilidade comparando prismas sem e com reforço, considerando a forma de ruptura (qualitativo) e porcentagem de deformação e tenacidade (quantitativo);
- comparar as argamassas utilizadas no reforço, através de ensaios relacionados com a durabilidade;
- avaliar a capacidade de suporte devido incremento propiciado pelo reforço proposto para super-estrutura em relação às alvenarias sem reforço, bem como análise defronte carregamento provável dos edifícios “caixão” levando em conta o fator redutor devido o efeito de flambagem.

Em síntese, defende-se a tese de que reforço com argamassa armada e adição de metacaulim apresenta elevada condição de resistência à compressão, ductilidade e durabilidade para super-estrutura de alvenarias resistentes análogos aos edifícios tipo “caixão”.

1.5 Apresentação da estrutura do trabalho

A estrutura do trabalho tem o seguinte conteúdo:

► Capítulo 1 – Introdução: Buscou-se apresentar considerações gerais acerca de alvenaria de obras antigas e novas. Nesse ponto, objetiva-se dizer que o sistema estrutural em alvenaria é um modelo consagrado e nobre, todavia, devem-se ter todos os cuidados necessários, atendendo às normas pertinentes em todos os níveis da cadeia construtiva (projetos, fornecedores e produção). Outro ponto relatado foi alvenaria resistente. Nesse

caso, apresentou-se um contexto histórico até as causas dos sinistros consecutivos. Por fim, apresentaram-se as considerações que justificavam esta pesquisa e os objetivos.

► Capítulo 2 – Casos de desabamentos de edifícios tipo “caixão”: Nesse capítulo serão expostos casos de desabamentos. Entende-se como importante pela apresentação das causas principais dos sinistros.

► Capítulo 3 – Influência das argamassas em estruturas de alvenaria: Neste capítulo serão relatados aspectos de alvenarias (estrutural e resistente).

► Capítulo 4 – Durabilidade devida ação de pozolana: Serão explanadas considerações acerca das pozolanas e em especial metacaulim, bem como resultados de pesquisas com utilização de pozolanas em concretos e argamassas.

► Capítulo 5 – Método para o desenvolvimento da pesquisa e materiais: Neste capítulo serão apresentadas a metodologia e materiais utilizados, percorrendo os ensaios acerca do reforço com argamassa de revestimento com armadura e adição de metacaulim na resistência mecânica, ductilidade e durabilidade.

► Capítulo 6 – Resultados e discussões: Serão apresentados todos os resultados com as devidas discussões. Destacam-se a freqüente análise comparativa entre as diversas famílias, compararam-se as médias das amostras dos prismas sem reforço com prismas com reforço.

► Capítulo 7 – Conclusões e sugestões: Serão apresentadas conclusões propostas no objetivo do trabalho, citando ainda sugestões para futuros trabalhos.

CAPÍTULO 2

2.0 CASOS DE DESABAMENTOS DE EDIFÍCIOS TIPO “CAIXÃO”

Doze desabamentos de prédios tipo “caixão” ocorreram nos últimos 30 anos na RMR com 12 mortes e centenas de interdições (PIRES SOBRINHOS apud Jornal do Comércio, 2012). Alguns dos principais sinistros observados na região Metropolitana do Recife em prédios tipo “caixão”, serão discorrido concisamente, a seguir.

2.1 - Edifício Aquarela

Localizado no Bairro de Piedade em Jaboatão dos Guararapes/PE, após onze anos de construído desabou em 1997. O prédio composto por dois blocos de quatro pavimentos cada tinha estrutura em alvenaria resistente singela com blocos cerâmicos de oito furos na horizontal assentados a galga. As lajes com nervuras tipo volterrana, apoiava-se em cintas corrida de concreto armado com dimensões variadas posicionadas sobre as paredes de pé direito 2,60 m. Com o andamento das investigações, observou-se a ruptura brusca do embasamento.

Ensaio de amostras coletadas nos escombros mostraram redução de 20% da resistência das alvenarias de embasamento. Destaca-se a influência positiva das cintas solidarizando o conjunto, uma vez que se evitou o desmoronamento generalizado. A Figura 2.1 apresenta o acidente.



Figura 2.1 – Ruptura dos embasamentos

2.2 - Bloco B do conjunto Enseada de Serrambi

O desabamento ocorreu em Dezembro de 1999 em Jardim Fragoso (nove anos de construído), Olinda/PE., com sete vítimas fatais. Todo edifício foi construído com alvenaria singela de blocos cerâmicos. Na fundação também existia caixão vazio sob laje tipo volterrana do pavimento térreo. Constatou-se que o desabamento ocorreu em virtude da ruína da alvenaria singela do embasamento. Não existiam cintas de amarração em concreto armado nos pavimentos, levando a ruptura explosiva (Figura 2.2).



Figura 2.2 – Escombros

2.3 - Edifício Sevilha (2007)

O edifício tinha onze anos de construído e desabou (região posterior do bloco B) em Dezembro de 2007 em Jaboatão dos Guararapes/PE. Na fundação tinha caixão vazio sob a laje de piso do pavimento térreo e o embasamento era de alvenaria singela de blocos cerâmicos de oito furos. Destaca-se o desempenho das cintas de amarração em concreto nos pavimentos, tendo em vista promover a mitigação da ruptura brusca generalizada (Figura 2.3).



Figura 2.3 – Embasamento ruído

CAPÍTULO 3

3.0 INFLUÊNCIA DAS ARGAMASSAS EM ESTRUTURAS DE ALVENARIAS

Busca-se neste tópico mostrar a influência de argamassas de assentamento e revestimento em alvenarias que se comportam como estrutura. Em especial será apresentado incremento mecânico devido à argamassa de revestimento com mais ênfase em alvenaria resistente por ser o foco desse trabalho.

3.1 – Influências da argamassa de assentamento em alvenarias

Diversos trabalhos mostram que argamassas com resistências superiores a 4 MPa ou 50% da resistência do bloco não exerce influência sobre a resistência à compressão da parede de alvenaria. A Figura 3.1 ilustra percentuais de resistência à compressão relacionada com traços de argamassas.

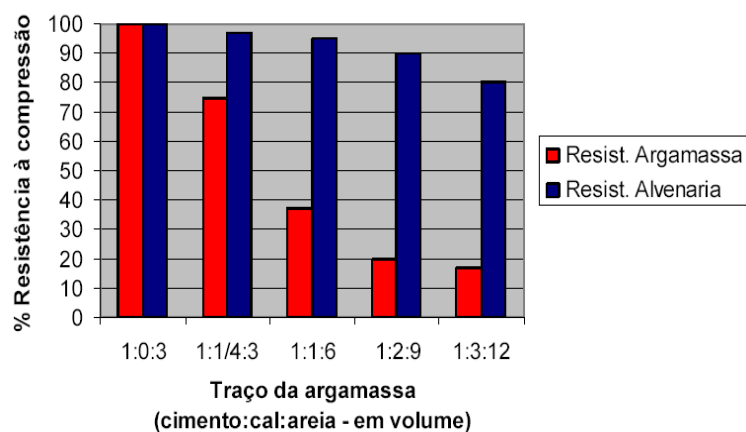


Figura 3.1 – Suporte de parede de alvenaria relacionado com proporcionalidades de argamassas (CARASEK, 2005)

Não obstante, a literatura e normas técnicas pertinentes indicam 10 mm como espessura adequada para argamassa de assentamento. Para espessuras menores, a condição de deformação será limitada, e para espessuras maiores a resistência da parede reduzirá, devida maior condição da quebra do estado de confinamento, na ordem de 15% para cada 3 mm em geral (MOTA; OLIVEIRA, 2007).

Podem-se apresentar concisamente algumas pesquisas com variações mecânicas e formas de rupturas devido às argamassas de assentamento, a saber:

- Cheema; Klingner (1986) e Shrive (1982) verificaram que prismas de alvenaria estrutural com blocos de concreto grauteados ou não, mostraram ruptura por tração dos septos.
- Mohamad (1998) identificou que a resistência dos prismas não grauteados de blocos de concreto estrutural, aumenta com aumento da resistência da argamassa de assentamento, não coincidindo com resultados de outros pesquisadores; o aumento da resistência mecânica das juntas diminui a ductilidade; a ruptura dos prismas com argamassa de menor resistência foi dúctil; a eficiência dos prismas ficou entre 0,56 e 1, sendo tanto maior quanto maior fosse a resistência da argamassa.
- Mendes apud Gomes (2001) verificou que prismas de blocos cerâmicos estruturais grauteados ou simples, a ruptura é elástico linear, entretanto, os prismas confeccionados com argamassa de assentamento com menor resistência tiveram ruptura por tração do bloco, sendo considerado dúctil. Todavia, os prismas com argamassa mais forte teve ruptura brusca generalizada, o que considerou frágil.
- MOTA et al., 2012 verificaram que quanto maior a espessura da argamassa de assentamento, menor foi a resistência à compressão e o fator de eficiência dos prismas de blocos cerâmicos. Assim, a argamassa de assentamento de 10 mm apresentou maior desempenho.

3.2 – Ação mecânica de revestimentos argamassados em paredes de alvenaria estrutural

Mesmo sabendo que a presente pesquisa tenha o cunho de modelar um reforço utilizando revestimento argamassado em alvenaria de vedação, é cabível apresentar na forma resumida, o contexto da influência da argamassa de revestimento e forma de ruptura em alvenaria estrutural:

- Kahn (1984) verificou que alvenaria não armada de tijolos maciços reforçada com argamassa projetada sobre tela de aço apresentou aumento da resistência ao cisalhamento e na capacidade de deformação.
- Jabarov et al. (1985) verificaram em paredes de alvenaria de blocos cerâmicos estruturais danificados previamente e reforçado com barras de aço em diagonais e tela com espaçamento a cada 20 cm, que a resistência e a rigidez das paredes dependem da espessura e resistência da argamassa, bem como da taxa de armadura.
- Sing et al. (1988) analisando colunas de blocos cerâmicos de alvenaria estrutural encamisadas com argamassa armada (conectores tipo “U” e telas com Ø 1 mm e Ø 5 mm), verificaram maior resultado com revestimento e traço mais rico em consideração as colunas não revestidas, sendo fundamental a aderência da argamassa no substrato e o envolvimento adequado da malha.
- Reinhorn; Prawel (1991) verificaram em parede de alvenaria não-armada com tijolos cerâmicos estruturais, incremento médio de 2,05 vezes na resistência devido revestimento com tela de aço quando comparadas com as não revestidas.
- Irimies; Crainic (1993) avaliaram reforço com argamassa armada (telas com Ø 4 mm e Ø 6 mm e espaçamento 20 e 25 cm) em alvenarias de blocos cerâmicos maciços, onde

concluíram que as paredes com revestimentos tiveram aumento na carga de ruptura e rigidez em relação a sem revestimento, tendo em todos os casos ruptura por tração.

- Cavalheiro (1991) avaliou a influência do revestimento em prismas com blocos cerâmicos maciços. Concluiu que o incremento da resistência à compressão e módulo de deformação foi pouco significativo, possivelmente pelo traço (1:2:11 – cimento, cal e areia) apresentar resistência mecânica muito baixa.

- Alcocer et al. (1996) ensaiaram a influência de argamassa armada (telas 15 x 15 cm com Ø 3.4 mm) em alvenaria de blocos cerâmicos estruturais devidos solicitações sísmicas. Verificaram que o revestimento aumenta a resistência sísmica (cisalhamento), rigidez e capacidade de deformação.

- Ehsani; Saadatmanesh (1996) estudaram reforço em paredes não armada de tijolos cerâmicos estruturais com aplicação de compósitos de fibras como revestimento. Concluíram que a resistência mecânica e ductilidade elevavam-se significativamente a resistência ao cisalhamento das fibras, na ordem crescente: aço, vidro e carbono.

- Oliveira (2001) estudou reabilitações de alvenaria estrutural com aplicação da argamassa em alvenarias de blocos de concreto. Foi verificado que, o revestimento eleva a capacidade resistente e rigidez, podendo em determinadas condições melhorar a ductilidade da alvenaria; a maioria da ruptura ocorreu por tração dos septos dos blocos; o revestimento armado (tela de aço de Ø 2,77 mm a cada 50 mm e conectores de Ø 5.0 mm) elevou significativamente a rigidez, não só pelo aumento da área, mas também pela redução da fissuração na face, caracterizando a importância da tela no retardamento dos mecanismos de fratura (armadura de fretagem).

- Costa e Silva; Mota; Barbosa (2013) estudaram a influência da argamassa de revestimento em prismas de blocos cerâmicos estruturais. Concluíram que: a forma de ruptura predominante foi por tração dos septos na região da argamassa de assentamento, ou seja, as

deformações horizontais nas duas direções que desequilibrar o estado de confinamento argamassa/bloco (Figura 3.2); elevou-se a resistência à compressão dos prismas de alvenaria com o aumento da espessura do revestimento (1 cm: 27% e 3 cm: 36%); a influência da argamassa de revestimento em alvenarias com blocos estruturais é menor do que as alvenarias com blocos de vedação, pois se entende que a elevação da capacidade mecânica é inversamente proporcional à resistência do bloco.



Figura 3.2 – Forma de ruptura: sem revestimento, com espessura de 10 mm e de 30 mm

3.3 – Influência da argamassa de revestimento em alvenaria resistente

Apresentar-se-ão estudos concernentes à ação da argamassa de revestimento em alvenarias de vedação. A justificativa de se verificar ação de revestimentos em paredes de vedação, não teria sentido se não existissem edificações com paredes de vedação com função “estrutural”. Portanto, seguem resultados dessa influência em alvenaria com blocos cerâmicos de vedação de seis ou oito furos na horizontal.

- Cavalheiro (1994) avaliou paredes com e sem argamassa de revestimento de blocos cerâmicos destinados a vedação com seis furos assentados na horizontal. Os furos dos blocos tinham formato arredondado, ocasionando resistência inferior aos que possuem formato retangular. Os corpos de prova foram executados de duas formas em relação ao assentamento dos blocos (face maior e face menor), sendo 2 séries de 9: uma sem revestimento e outra com revestimento nos dois lados (chapisco e emboço com espessura média do revestimento de 15 mm). A argamassa de assentamento e revestimento tinha

proporção de 1:2:11 (cimento, cal e areia) em volume com resistência média aos 28 dias 0,70 MPa para cura úmida e 0,52 MPa para cura natural. A resistência média dos blocos foi 2,29 MPa na face menor e 2,68 MPa na face maior.

Concluiu-se que: (a) o revestimento incrementou o módulo de deformação e a resistência, porém em proporções distintas; (b) o revestimento inibe as deformações das paredes, aumentando a rigidez e a capacidade de suporte da alvenaria, sendo interessante no caso de reforço da alvenaria; (c) as fissuras tiveram início nos furos migrando para o vinco lateral mais próximo do bloco, ocorrendo de forma brusca em mais de 60% dos casos (material frágil); (d) o revestimento manteve-se íntegro e aderente até a ruptura; (e) houve acréscimo na resistência em 22% e 70% do módulo de deformação quando as pequenas paredes são revestidas e assentadas na menor face, e 24% na resistência e 32% no módulo de deformação para a maior face.

- Oliveira; Hanai (2002) analisaram a influência do revestimento na resistência à compressão axial em alvenarias com blocos cerâmicos de vedação assentados com os furos perpendiculares à direção do carregamento. Quando as seções internas dos blocos são de furos arredondados, verifica-se ruptura ainda mais grave. Este fato foi confirmado através de análise teórica efetuada com auxílio de programa computacional fundamentado no método dos elementos finitos.

As tensões atuantes no bloco assentado com furos na direção horizontal apresentam tração transversal no septo, provocando fedilhamento e ruptura por instabilidade. Os septos verticais absorvem cargas verticais, todavia, sua capacidade de resistência se esgota pela ruptura dos septos transversais. Os ensaios basearam-se na análise da resistência à compressão axial de blocos, prismas e paredinhas. Os blocos assentados em pé (série 1) e deitados (série 2) teve resultados médios de 0,3 MPa. Essa resistência se apresenta aquém do mínimo exigido por norma (1 MPa).

Os prismas e paredinhas foram moldados com argamassa de assentamento com traço 1:0,5:5, com resistência 6 MPa e relação água/cimento ≤ 1 . A argamassa de revestimento “fraca” tinha traço 1:3,5:10 com 5 MPa, e “forte” com traço 1:3 e 11 MPa, sendo as telas soldadas aplicadas com argamassa forte, constituídas com fios de $\varnothing 2,77$ mm a cada 50 mm de espaçamentos posicionados nas duas faces. Todos os corpos de prova tinham capa de revestimento com 2,0 cm de espessura e foram ensaiados aos 28 dias.

As conclusões dessa pesquisa foram: (1) o aumento da resistência devido o revestimento foi evidente, além do aumento substancial da rigidez e ductilidade, tanto nas paredinhas como nos prismas; (2) nas paredinhas da série 1, observou-se incremento na resistência cerca de 20 vezes mais quando revestidos com argamassa “fraca” e 33 vezes mais com argamassa “forte”, entretanto, quando se utilizou tela como armadura revestida com argamassa “forte”, os resultados não foram satisfatórios; (3) as paredinhas da série 2, o ganho de resistência também se mostrou elevado, embora a rigidez e a ductilidade tenham sido menores, sendo o acréscimo de resistência das paredinhas revestidas com argamassa fraca 5 vezes mais e 10 vezes mais quando revestidas com argamassa forte. Não se verificou ganho de resistência quando se utilizou tela de armadura e revestimento de argamassa forte, possivelmente pela aderência comprometida entre o substrato e a argamassa, dificultada pela tela; (4) os prismas da série 1, o ganho de resistência média, devido à argamassa de revestimento, foram de 2,61 vezes mais para argamassa de revestimento forte, 2,45 quando fraca e 2,06 quando se utilizou tela e argamassa forte. Já os prismas da série 2, o ganho de resistência média foi de 1,85 com argamassa de revestimento forte, 2,05 com argamassa fraca e 1,89 com tela e argamassa forte; (5) Essa pesquisa demonstrou que as paredes revestidas aumentam a capacidade resistente e rigidez. Assim, pode-se afirmar que essa técnica tem condição de ser aplicada na reabilitação de paredes e de outros elementos de alvenaria.

- Mota (2006) e Mota; Oliveira (2007) avaliaram a ação da argamassa de revestimento na resistência à compressão axial em prismas de alvenaria resistente (vedação) de blocos cerâmicos posicionados em pé (galga) com oito furos na horizontal. As argamassas de assentamento e revestimento chamado de traço “médio” tiveram traço 1:1:6:1,14 (cimento,

cal, areia e relação água/cimento) com resistência à compressão 9 MPa e módulo de elasticidade dinâmico 8,8 GPa e a argamassa de revestimento chamada de traço “fraco” 1:2:9:1,94 (cimento, cal, areia e relação água/cimento) com resistência à compressão 4 MPa e módulo de elasticidade 3,2 GPa. O chapisco usado nas duas faces dos prismas teve traço 1:3:0,8 (cimento, areia, relação a/c), onde o módulo de elasticidade foi 10,8 GPa. Utilizou-se 15 unidades para determinação da resistência à compressão dos blocos cerâmicos. Algumas características são mostradas na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Caracterização dos blocos

Ensaio	Método	Resultados Médios
Dimensões: comprimento, largura e altura (cm)	NBR 15270	19,5, 9,0 e 18,9
Massa (g)	NBR 15270	2.372,83
Resistência à compressão (MPa)	NBR 15961	2,85
IRA – Initial Rate of Absorption (g/200cm ² /min)	ASTM C-67	12,53
Absorção (%)	NBR 15270*	15,8
Sortividade (mm _x min ^{-1/2})	Wilson; Carter; Hoff (1999)	0,64

As amostras foram identificadas da seguinte forma: P1 (prismas sem revestimentos); P2 (prismas chapiscados nas duas faces); P3 (prismas chapiscados e revestidos nas duas faces, sendo a espessura do revestimento 2,0 cm e o traço utilizado fraco); P4 (prismas chapiscados e revestidos nas duas faces, sendo a espessura do revestimento 2,0 cm e o traço utilizado médio); P5 (prismas chapiscados e revestidos nas duas faces, sendo a espessura do revestimento 3,0 cm e o traço utilizado fraco) e P6 (prismas chapiscados e revestidos nas

duas faces, sendo a espessura do revestimento 3,0 cm e o traço utilizado médio). A Tabela 3.2 apresenta os resultados de resistência dos prismas na tensão e força.

Tabela 3.2 – Resultados à compressão dos prismas

PRISMAS (Amostras)	RESULTADOS				INCREMENTOS (%)	
	Tensão (MPa)			Força (Kgf) (Média)	No valor médio da tensão (σ)	No valor médio da força (F)
	Média (MPa)	D. Padrão (MPa)	CV (%)			
P1	1,96	0,18	9,18	3.437,47	-	-
P2	2,23	0,22	9,87	4.345,72	13,78	26,42
P3	3,38	0,25	7,42	9.494,45	72,45	176,20
P4	4,53	0,39	8,69	12.641,91	131,12	267,77
P5	3,51	0,36	10,26	10.963,57	79,08	218,94
P6	4,66	0,61	13,1	14.538,58	137,76	322,94

Pode-se concluir que:

(a) os prismas não revestidos e chapiscados tiveram rupturas bruscas;

(b) observou-se nos prismas com revestimento de 2,0 cm de espessura, ruptura por tração dos septos horizontais dos blocos cerâmicos ligados à argamassa de assentamento, onde ocasionou, no instante posterior, desequilíbrio do estado de confinamento. Portanto, a argamassa de assentamento deixou de estar triaxialmente comprimida, passando a se deformar substancialmente nas duas direções horizontais, gerando deslocamentos laterais excessivos, implicando na ruptura das camadas de argamassa de revestimento nesta região;

(c) os prismas com revestimento de 3,0 cm de espessura, após ruptura dos septos horizontais dos blocos cerâmicos por tração, a capa de revestimento foi rompida por cisalhamento. Observou-se que a maior robustez da capa de revestimento com 3,0 cm de espessura, na maioria dos casos, inibiu a deformação lateral excessiva após o desequilíbrio do estado de confinamento da argamassa de assentamento com os blocos cerâmicos,

mitigando a explosão dos corpos de prova, e, por conseguinte as rupturas tornaram-se menos bruscas;

(d) ao longo do carregamento dos prismas, observou-se claramente a falência integral do bloco cerâmico para posteriormente a capa do revestimento agir e se comportar como “pilaretes” “portantes” que ajudavam na sustentação;

(e) vários estalos foram ouvidos durante o processo de carga dos prismas, devido possivelmente aos rompimentos progressivos dos septos por tração. Sons similares foram testemunhados por diversos moradores dos edifícios em momentos anteriores aos desabamentos;

(f) verificou-se um aumento da resistência à compressão dos prismas, de acordo com o aumento da espessura da camada de revestimento, e de forma substancial com o enriquecimento do seu traço;

(g) em alguns prismas com revestimento de 3,0 cm de espessura, foi observada uma tendência de descolamento da primeira para a segunda camada, fato possivelmente ocorrido pela deficiência da aderência entre essas camadas, tendo em vista a aplicação do revestimento em duas etapas conforme recomendação da literatura para essa espessura e prática comum nas construções com o processo construtivo similar;

(h) pode-se inferir que, sob as mesmas hipóteses, quanto menor for a resistência do bloco, maior será a influência da argamassa de revestimento na resistência à compressão da alvenaria;

(i) observou-se que o fator de eficiência (relação entre a resistência do prisma e a do bloco) foi de 0,69. Verificou-se acréscimo substancial na resistência da parede quando se calcula levando em conta o revestimento na resistência à compressão do prisma e na redução do fator associado à flambagem;

(l) pode-se dizer que o revestimento com o traço médio e espessura de 3,0 cm, forneceu melhor capacidade de suporte, bem como melhor resistiu às deformações laterais excessivas ocasionados pelo rompimento progressivo dos septos dos blocos.

As Figuras 3.3. 3.4 e 3.5 mostram a forma de ruptura que melhor representa a tendência de cada amostra dos prismas ensaiados. As fotos circundadas em vermelho representam o instante inicial da ruptura, registrados por câmera lenta.



Figura 3.3 - Forma de ruptura dos prismas sem revestimento e com chapisco



Figura 3.4 - Formas de ruptura dos prismas com revestimento de 2,0 cm



Figura 3.5 - Formas de rupturas dos prismas com revestimento de 3,0 cm

- Oliveira; Azevedo (2006) pesquisaram a influência da argamassa de revestimento na resistência à compressão axial em prismas de três blocos cerâmicos. A argamassa de assentamento e revestimento tinha cimento, saibro e areia. Além do objetivo principal, esta pesquisa foi justificada em vista da utilização de saibro em suas proporções, pois esse material foi utilizado largamente em edificações da região devido elevada condição de plasticidade. Para melhor caracterização do saibro, definiu-se como um solo predominantemente arenoso (85% de areia), tendo o teor de argila até 15%. O saibro utilizado foi adquirido em armazém, seguindo os procedimentos usuais de utilização deste material.

As 15 réplicas dos blocos tiveram resistência média à compressão de 2,15 MPa. Utilizaram-se proporções na argamassa de assentamento 1:1:7 e revestimento 1:3:5 (cimento, saibro e areia), em volume, sendo ambas as resistências médias à compressão próximo de 5,5 MPa. Os prismas foram confeccionados no campus da Universidade Católica de Pernambuco, onde foram estudadas três amostras com 15 réplicas cada, sendo primas sem revestimentos, com revestimento de espessura 1,5 cm e com revestimento de 3,0 cm. Todos os prismas revestidos foram previamente chapiscados.

Os resultados médios da resistência à compressão axial dos prismas foram: 1,07 MPa para os prismas sem revestimentos; 2,12 MPa para os prismas com revestimento de 1,5 cm de espessura e 2,56 MPa para os prismas com 3,0 cm de espessura. Então, o incremento da resistência à compressão axial foi de 98,13% para revestimento com espessura de 1,5 cm e 139,25% para revestimento com espessura de 3,0 cm, ambas as amostras quando comparados com prismas sem revestimento. Portanto, a estabilidade dos prédios existentes construídos com esse material, pode ser explicada quando se considera o incremento da resistência oferecido pela argamassa de revestimento.

- Araujo Neto (2006) pesquisou ação mecânica do revestimento de argamassa em alvenaria de vedação de blocos de concreto. A resistência à compressão do bloco foi 3,19 MPa. Utilizaram-se nas argamassas de revestimentos cimento, cal e areia nos traços 1:1:6

(médio) e 1:2:9 (fraco), sendo todos prismas chapiscados e com espessuras dos revestimentos 1,5 cm e 3,0 cm. Os resultados mostraram que: a ação do chapisco incrementou 11% na resistência à compressão; prismas com revestimentos de 1,5 cm de espessura quando comparados com sem revestimentos aumentaram em 108% no traço fraco e 177% para o traço médio; quando se comparou prismas sem revestimento com revestimentos de 3,0 cm de espessura foi 120% para traço fraco e 159% para traço médio.

- Andrade (2007) estudou a influência da argamassa de revestimento na resistência à compressão em paredinhas. Os blocos cerâmicos tinham resistência à compressão 2,87 MPa. Os traços das argamassas utilizadas foram 1:2:9; 1:1:6; 1:0,5:4,5 (cimento, cal e areia) e espessuras 2,0 e 3,0 cm. Verificou-se que o revestimento armado não alterou a forma de ruptura, diferentemente quando se arma com telas travadas. O incremento da argamassa de revestimentos no suporte de alvenarias resistente é tanto maior quanto menor for a resistência do bloco.

- Silva et al. (2008) ensaiaram prismas de alvenaria de blocos cerâmicos e de concreto, ambos de vedação. Moldaram-se prismas sem revestimentos e com revestimentos, bem como prismas com tela de aço no interior da argamassa de revestimento com e sem travamento. A argamassa utilizada tinha traço 1:1:6 (cimento, cal e areia) em volume. Concluíram: (a) prismas de blocos cerâmicos com revestimento armados com 3,0 cm de espessura, contribui na capacidade de suporte em até 335% na carga; (b) em que pese rupturas diversas nos prismas de blocos cerâmicos, verificou-se predominância de tração lateral dos septos; (c) não se observou acréscimos substanciais em prismas com tela sem conectores; (d) prismas com blocos de concreto verificou-se acréscimo no suporte devido à capa de revestimento com 3,0 cm de espessura em até 72%. Todavia, o acréscimo ocorreu a patamares de até 159% quando se utilizou armadura; (e) quando se utilizou camada dupla (6,0 cm de espessura) de argamassa armada, o incremento do suporte chegou 300% em blocos de concreto; (g) quando se usa conectores, verificou-se elevação de 65% a capacidade de suporte axial em relação a revestimentos armados sem conectores.

- Oliveira; Silva; Azevedo (2009) pesquisaram prismas com blocos de concreto (2,3 MPa de resistência) e cerâmicos (2,2 MPa), ambos de vedação, para verificar a influência do revestimento no suporte com e sem tela de aço. Utilizaram traços 1:1:6 e 1:2:9 e telas de Ø 2,6 mm com espaçamentos a cada 5 cm na horizontal e 10 cm na vertical e Ø 4,2 mm a cada 10 cm nas duas direções. Concluíram que: a influência mecânica do revestimento é maior nas alvenarias de blocos cerâmicos quando comparados com alvenarias de blocos de concreto; prismas com aplicação de tela de aço elevam a capacidade de suporte em 50% nos prismas com blocos de concreto e 31% para prismas com blocos cerâmicos; pode-se atribuir a argamassa de revestimento nas alvenarias de vedação portantes, importância substancial no equilíbrio estático de edifícios construídos com esse processo.

- Pire Sobrinho; Oliveira; Andrade (2009) ensaiaram paredinhas em alvenaria de blocos cerâmicos de oito furos (9x19x19) cm com argamassa mista de cimento, cal e areia, na dosagem volumétrica de 1:1:6. Nessa pesquisa concluiu-se que: - o revestimento de argamassa com 3,0 cm de espessura aumenta a rigidez das paredes, sendo este acréscimo proporcional à espessura e ao módulo de elasticidade da argamassa; - o revestimento não modifica a forma de ruptura das alvenarias, que acontece de forma brusca, porém sendo constatado que há uma efetiva participação do revestimento no comportamento compressivo das paredes; - o reforço com tela, com perfeito travamento no revestimento, eleva a capacidade resistente das paredes, e, fundamentalmente, produz mudança significativa na forma de ruptura, conduzindo a um comportamento plástico, abaixo do patamar de ruptura, possibilitando redistribuição de esforços e deformações entre elementos da estrutura; - as paredinhas com revestimento e aço tiveram aumento de mais de sete vezes na carga de ruptura quando se comparou as paredinhas nuas.

- Azevedo (2010) ensaiou prismas de vedação de dois e três blocos cerâmicos de vedação, analisando a resistência à compressão. Utilizaram-se traços 1:2:9 e 1:1:6 com 1,5 e 3 cm de espessura. Em alguns casos usou-se tela com malha Ø 4,3 a cada 10 nas duas direções. Concluiu-se que: nos prismas com dois blocos observou-se incremento na capacidade de suporte devido o revestimento em até 165%; nos prismas com três blocos verificou-se que a

capa de revestimento contribuiu substancialmente no incremento do suporte, especialmente, quando se aplica armadura (210%), entretanto, a principal observação neste caso foi à mudança da forma de ruptura, haja vista eliminação da ruptura brusca. No mais, não se verificou diferenças relevantes nos dados de saída dos ensaios de prismas de dois e três blocos, denotando existir similaridade.

- Mota; Oliveira, (2013) e Mota et al. (2013) pesquisaram prismas protótipos objetivando propor um modelo de reforço com argamassa armada em alvenaria resistente. Estabeleceu-se executar três amostras que pudesse apresentar resultados acerca da resistência mecânica e parâmetros para ductilidade. Estes trabalhos precediam uma pesquisa de doutoramento, de tal forma que buscava calibra e identificar as maiores dificuldades.

Os blocos cerâmicos foram de oito furos na horizontal similares aos utilizados nas construções dos edifícios tipo “caixão” localizado na Região Metropolitana do Recife. Para caracterizar ensaiou-se 12 unidades para verificar a resistência à compressão. O cimento usado foi CP-II-F 32, a cal CH-I, a pozolana metacaulim HP e areia média amplamente encontrada na Região.

Todos os prismas tiveram as juntas de assentamento 1,0 cm de espessura com traço 1:1:6 (cimento, cal e areia). Os ensaios de compressão ocorreram aos 90 dias. A Tabela 3.3 mostra a nomenclatura estabelecida nos processos, os traços e materiais, donde foram executadas 7 réplicas de prismas por amostras, sendo todas com três blocos:

- **Amostra 1** – prismas sem revestimentos;
- **amostra 2** – prismas sem revestimento + chapisco médio + revestimento “fraco” com 2,0 cm de espessura (nas duas faces);
- **amostra 3** – prismas sem revestimento + chapisco médio + revestimento “fraco” + argamassa armada (reforço) traço “médio” com 3,0 cm de espessura (nas duas faces). A Figura 3.6 mostra detalhe de parte dessa amostra.

Tabela 3.3 – Nomenclatura das argamassas especificadas

PROCESSOS	TRAÇOS (volume)/MATERIAIS
<u>Chapisco médio</u> com 5 mm de espessura	1:4:2 (cimento, areia e relação água/cimento)
<u>Revestimento fraco</u> com 2 cm de espessura +/- 2 mm	1:2:9:2 (cimento, cal, areia e relação água/cimento)
<u>Revestimento para reforço médio</u> com 3 cm de espessura +/- 3 mm	1:1:6:1,5 (cimento, cal, areia e relação água/cimento) com 15% de substituição de cimento por metacaulim (MOTA et al., 2011)

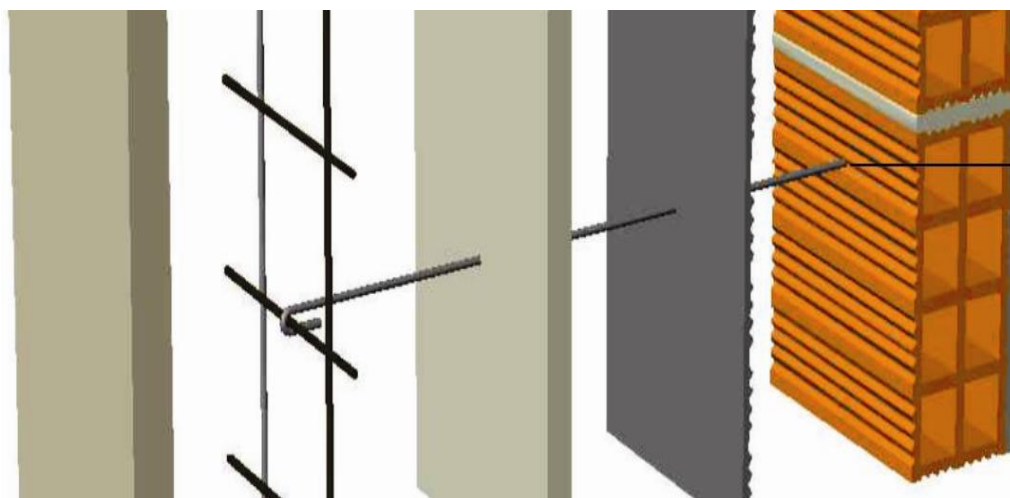


Figura 3.6 – Detalhe do reforço que retrata uma das faces da amostra 3, com sequência da direita para esquerda: bloco, chapisco, argamassa fraca e o reforço (argamassa armada com traço médio e tela em seu interior travadas por dois conectores)

As armaduras foram mergulhadas no centro da capa da argamassa com adição de pozolana, estando às telas posicionadas em ambos os lados dos prismas, com Ø 5.0 mm a cada 10 cm nas duas direções e ligadas (travadas) por 2 conectores de Ø 8.0 mm por prisma (Figura 3.7).



Figura 3.7 – Amostra 3 pronta para receber a argamassa de reforço (em vermelho os dois conectores chumbados com argamassa)

Os conectores tiveram extremidades em formato de gancho (180°) para fixar as telas nas duas faces do prisma. Esses passaram por furos feitos nos prismas de três blocos com brocas de vídea, de tal forma que o diâmetro dos furos passasse o conector pronto (com as curvas nas extremidades executados).

Especificou-se 3,0 cm de espessura da argamassa de revestimento para reforço devido ser uma espessura que mitiga a ruptura brusca, uma vez que tende a confinar as deformações laterais excessiva, bem como contribui como barreira física importante para armadura (MOTA, 2006).

Os ensaios foram executados em ambiente da empresa Tecomat. As Figuras 3.8 (a e b) mostram as formas no prisma com medidas determinadas para as espessuras das argamassas e conector em furo apropriado.

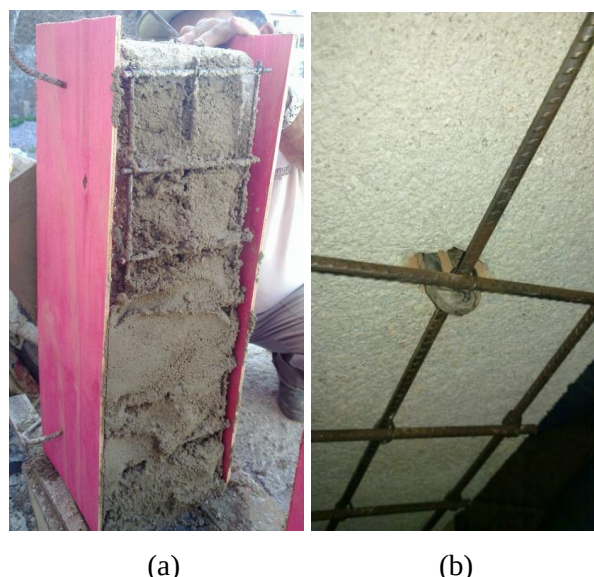


Figura 3.8 – (a) Prisma recebendo argamassa para reforço em formas (amostra 3); (b) Conector fixando a tela

A resistência média à compressão dos blocos cerâmicos utilizados nos primas foi 2,49 MPa e a resistências à compressão das amostras estão mostradas na Tabela 3.4.

Tabela 3.4 – Resistência à compressão dos prismas protótipos

AMOSTRA /média da área das bases (cm ²)	RESULTADOS				INCREMENTOS em relação à amostra 1 (%)	
	Tensão (MPa)			Força (kgf.) (Média)	No valor médio da tensão (σ)	No valor médio da força (F)
	Média (MPa)	D. Padrão (MPa)	CV (%)			
1/172	1,02	0,31	30,58	1.762	-	-
2/256	2,42	0,63	26,22	6.216	137%	252%
3/371	2,72	0,4	14,93	10.080	166%	472%

Todos os ensaios de ruptura dos prismas foram amplamente registrados através de fotos e filmes. Observou-se condição dúctil qualitativa na amostra 3, devido ausência absoluta de ruptura brusca (CALLISTER, 200). Diferente, verificaram-se rupturas bruscas nas amostras 1 e 2 (sem reforço).

Vale discorre referências acerca de deformação e fratura de autores importantes, com o objetivo de se construir conclusões sobre ductilidade dos prismas reforçados devido à forma de ruptura.

♦ Mehta; Monteiro (1994):

Muitos materiais de engenharia, tal como o aço, podem ser divididos em dois estágios quando submetido a incremento de carga. O comportamento tensão/deformação de um corpo de prova tem como primeiro estágio a deformação elástica, sendo reversível quando descarregado, e como segundo estágio, observa-se em elevados níveis de tensão, a deformação permanente ou plástica, onde corpo de prova não mais recupera a medida inicial. A quantidade de deformação permanente antes do rompimento, é medida de ductilidade do material.

O módulo de elasticidade é definido como a relação entre a tensão e deformação reversível. Em materiais homogêneos, o módulo de elasticidade é a medida da força da ligação interatômica, não sendo afetada por mudanças microestruturais, entretanto, não se pode dizer pertinente este conceito em materiais multifásicos como o concreto. Por conseguinte, o limite de elasticidade em projeto estrutural representa a deformação máxima permitida antes do material adquirir deformação permanente.

A energia necessária para romper um material, produto da força vezes a distância, representada pela área sob a curva (tensão/deformação), é a medida da tenacidade (Figura 3.9).

A diferença da tenacidade para resistência, é que a primeira mede a energia, enquanto a segunda é a medida da tensão necessárias para fraturar o material. Então dois materiais podem ter resistência idênticas, porém tenacidade diferentes.

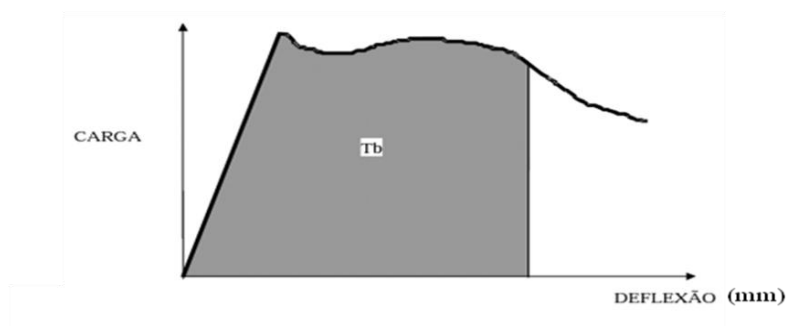


Figura 3.9 - Critério para determinação do fator de tenacidade [Tb = tenacidade (kgf.cm ou J) (JSCE-SF4, 1984 apud FIGUEIREDO, 2000)]

Apesar do concreto sob compressão parecer apresentar alguma deformação permanente antes do rompimento, tem típica deformação na fratura mais baixa em relação aos metais. Em aplicações práticas, projetistas não consideram o concreto como material dúctil, a não ser quando armado com aço.

Em síntese, Mehta; Monteiro (1994) retratam que a quantidade de deformação que pode ocorrer antes da ruptura é a ductilidade, e a tenacidade é a energia necessária para romper o material, que é representado pela área sob a curva tensão-deformação.

♦ Callister Jr. (2000):

Avaliam-se as características mecânicas de materiais diante da natureza (tração, compressão, cisalhamento) e duração da carga aplicada, e das condições ambientais. Para carga de tração e compressão, tem-se: tensão de engenharia (carga pela área da seção), deformação de engenharia (mudança do comprimento na direção da carga, pelo comprimento original), tensão verdadeira (carga instantânea pela área instantânea) e deformação verdadeira (logaritmo do comprimento instantâneo pelo comprimento original).

Em nível atômico, deformação elástica ocorre devido estiramento das ligações interatômicas e pequenos deslocamentos atômicos. Todavia, a deformação plástica pode ser relatada de duas formas: (a) movimento de elevado números de átomos em função da ação

de determinada tensão, donde durante o processo, as ligações interatômicas devem ser rompidas e então “novamente” formadas; (b) movimento de discordâncias (defeitos cristalinos) em resposta da tensão cisalhante, sendo caracterizado por sucessivas e repetidas quebras das ligações atômicas e o deslocamentos por distância interatômicas dos semiplanos de átomos. Observa-se que operações de estiramento profundo, conduzem à deformação plástica (grãos que podem mudar de forma, alongando-se em direção do estiramento).

Ductilidade é uma propriedade importante e representa a medida da habilidade de um material em ser submetido a uma deformação plástica antes de sofrer fratura. Essa ductilidade pode ser expressa quantitativamente tanto como alongamento percentual (% AL) como redução de área percentual (% RA). O alongamento percentual é a porcentagem da deformação plástica na fratura. Esse alongamento percentual (denominada coeficiente percentual de estricção – NBR ISO 6892-1) tem l_f que representa o comprimento no momento da fratura e l_0 o comprimento útil original.

$$\% \text{ AL} = [(l_f - l_0) / l_0] \times 100; \quad (\text{Equação 7.1})$$

A redução de área percentual é definida como sendo A_0 (área original da seção reta) e A_f (área da seção reta no momento da fratura).

$$\% \text{ RA} = [(A_0 - A_f) / A_0] \times 100; \quad (\text{Equação 7.2})$$

Tanto l_f como A_f são medidos na ocorrência da fratura. Em geral, a magnitude de AL% e RA% para um dado material serão diferentes. A maioria dos metais possui pelo menos um grau moderado de ductilidade à temperatura ambiente.

A ductilidade dos materiais é importante, uma vez que indica para o projetista um grau segundo o qual uma estrutura irá se deformar plasticamente antes de fraturar. Assim, algumas vezes se refere aos materiais relativamente dúcteis como sendo “generosos”, pois

pode haver deformação local expressiva sem que ocorra fratura, caso exista um erro de magnitude no cálculo da tensão de projeto.

No entanto, os materiais frágeis são considerados, de maneira aproximada, aqueles com deformação de fratura inferior a aproximadamente 5%.

Pode-se dizer que a tenacidade é uma das principais considerações para todos os materiais estruturais e tem características mecânicas que podem ser expressas em três contextos: (a) propriedade indicativa de uma medida da resistência de um material à fratura quando uma trinca ou outro defeito concentrador de tensões está presente; (b) termo mecânico que representa uma medida da habilidade de um material em absorver energia e se deformar plasticamente antes de fraturar; (c) para uma situação estática (pequena taxa de deformação), pode ser determinada em ensaio de tração, sendo a área sob a curva tensão/deformação de engenharia até o ponto de fratura. Para que um material seja conhecido como tenaz ele precisa dispor tanto de resistência quanto ductilidade, tendo unidade análoga a resiliência, ou seja, kgf.cm ou J - energia por unidade de volume do material.

Acerca de fundamentos da fratura, pode-se dizer que sua forma simples consiste na separação de um corpo em mais de um pedaço em função de uma carga estática aplicada (constante ou com alteração lenta ao longo do tempo) e à temperatura bem abaixo do ponto de fusão. Para materiais de engenharia, são possíveis dois modos de fraturas resultados de tensões de tração, compressão, cisalhamento e torção: dúctil e frágil, onde aquele exhibe considerável deformação plástica com elevada absorção de energia antes da ocorrência da fratura, e, este, com pouca ou nenhuma deformação plástica, podendo fraturar com baixa energia absorvida.

Ensaio de tensão/deformação sob compressão podem ser realizados de maneira semelhante ao ensaio de tração, diferenciando pela força compressiva levar o corpo de prova a se contrair ao longo da direção da tensão. Por convenção, uma força compressiva é

considerada negativa, pois o l_0 (comprimento original) sempre sendo maior que l_i (comprimento instantâneo), leva a deformações negativas. Portanto, ensaios de compressão são empregados quando se deseja conhecer o comportamento do material submetido a deformações plásticas.

Qualquer processo de fratura deriva da formação, e fundamentalmente da propagação de trincas diante da tensão imposta. Na fratura dúctil ocorre elevado estado de plasticidade na vizinhança de uma trinca que avança (trinca estável), entretanto, na fratura frágil as trincas podem se espalham de maneira extremamente rápida, denotando pouca deformação plástica (trincas instáveis e propagação continuada e espontânea sem acréscimo da magnitude da carga aplicada).

Entende-se que a ruptura dúctil é preferível, pois alerta que uma fratura é eminente, permitindo medidas preventivas. Para a ruptura ocorrer, elevada energia de deformação é exigida, uma vez que são materiais mais tenazes (grande força de coesão). Entretanto, ruptura frágil ocorre repentinamente e catastróficamente, sem qualquer aviso, função da rápida propagação de trincas. Então, as ligas metálicas sob ação de tensão de tração são mais dúcteis, enquanto as cerâmicas são notavelmente frágeis e os polímeros podem exibir ambos os tipos de fraturas.

A fratura frágil ocorre sem nenhuma deformação considerável, com célere propagação de trincas. Em geral, a região dessa propagação tende a se apresentar perpendicularmente à direção da tensão de tração imposta. Em materiais dúcteis, a deformação plástica ocorre quando a tensão máxima excede o limite de escoamento, levando a distribuição uniforme das tensões na vizinhança.

Materiais cristalinos frágeis sob a ótica microscópica indicam a propagação de trincas com quebra sucessiva e repetida das ligações atômicas ao longo do plano cristalográfico específico, ou seja, clivagem (fácil divisão em planos).

A resistência à fratura de um sólido é função das forças de coesão existente entre átomos, de modo que a resistência coesiva teórica de um material sólido elástico é estimada como sendo $E/10$ (E - módulo de elasticidade). Contudo, na engenharia, a resistência à fratura experimentalmente para maioria dos materiais situa-se entre 10 e 1000 vezes abaixo do valor teórico.

Fraturas frágeis de materiais cerâmicos são verificadas nas cristalinas e não cristalinas, sendo que a trinca nas cerâmicas cristalinas ocorre geralmente através dos grãos (transgranular) e ao longo de planos cristalográficos (clivagem) específicos, que possui elevada densidade atômica.

A resistência à fratura medida para os materiais cerâmicos são significativamente inferiores às aquelas estimadas pela teoria a partir das forças de ligações interatômicas, em vista dos defeitos muito pequenos e onipresentes no material, os quais servem como fatores de concentração de tensões. Assim, a magnitude das tensões de tração aplicada é amplificada e proporcional ao comprimento da trinca na superfície ou micro trincas interna, sendo virtualmente impossível de evitar e controlar.

Sabendo que a resistência a tração de uma cerâmica representa aproximadamente $1/10$ de sua resistência à compressão e a fratura ocorre pela propagação lenta de trincas na ocasião da aplicação de tensões estáticas. Esse fenômeno é conhecido como fadiga estática ou fratura retardada. São materiais cerâmicos sensíveis a esse tipo de fratura, o vidro a base de silicato, a porcelana, o cimento portland, as cerâmicas com elevado teor de alumina, o titânio de bário e o nitreto de silício.

Como resumo, Callister (2000) diz que ductilidade de um material é o grau de deformação com grande absorção de energia antes da fratura, função da temperatura, da taxa de deformação e do estado de tensão. Fratura frágil ocorre bruscamente sem qualquer aviso, consequência da rápida propagação das trincas. Fraturas dúcteis exigem maior energia de deformação e tem propagação de trincas limitadas.

Continuando a avaliação dos prismas com reforço da pesquisa (MOTA; OLIVEIRA, 2013), adicionou-se manualmente após a prensa travar ao final do ensaio, uma deformação entre 10 cm e 15 cm com o cunho de verificar a condição de desmoronamento. Devido às armaduras e, fundamentalmente aos conectores, não houve explosão em nenhum momento do ensaio com as réplicas da amostra 3. Os corpos de prova ao se deformarem adicionalmente, ficaram como escombros empilhados ou empacotados, sem que houvesse desmoronamento.

As Figuras 3.10 (a) até (d) mostram detalhes de rupturas dos prismas. Durante os ensaios ouviam-se na ruptura dos septos, sons (estalos agudos). Sons com características análogas foram identificados e relatados por moradores de edifícios entrevistados mediante alguns sinistros de desmoronamentos.



Figura 3.10 - (a): Prisma com septos rompidos por tração; (b): ruptura por tração dos septos e revestimento (amostra 2); (c): ruptura explosiva, chapisco aderente e septos destruídos; (d): Ruptura brusca. septos rompidos por tração (amostra 2)

As Figuras 3.11 (a) até (c) apresentam a ruptura dos prismas da amostra 3. Verificou-se elevada ductilidade, visto que absolutamente em nenhum caso houve ruptura brusca (CALLISTER, 2000). Destaca-se a Figura 3.11 (c) por conta da liberação do equipamento para deformar 12 cm objetivando identificar a ocorrência de explosão, o que não se observou em nenhuma fase. Durante todo carregamento adicional, só se identificou uma espécie de entulhamento/empacotamento



Figura 3.11 - (a): Fissura inicial na região da interface revestimento fraco/revestimento armado do reforço. Alguns septos foram rompidos por tração; (b): prisma 7 com deformação adicional realizada após o término do ensaio de 6 cm aproximadamente. Observam-se blocos totalmente colapsados; (c): mesmo prisma (b) com deformação adicional de 12 cm.

Portanto, foi possível concluir alguns pontos significativos gerados por registros em planilhas, filmes (em câmera lenta) e fotos, conforme a seguir:

- A capa de revestimento com 2 cm de espessura (amostra 2) elevou a resistência à compressão em mais de 250% quando comparado com os prismas sem revestimento (amostra 1);
- quando se comparou os prismas com argamassa de reforço (amostra 3) com os prismas sem revestimentos (amostra 1), o incremento da resistência à compressão foi mais de 470%;
- verificou-se ruptura brusca nos prismas da amostra 1 (prisma sem revestimento) e da amostra 2 (com revestimento fraco) e elevada capacidade de deformação nos prismas da amostra 3 (reforçado com argamassa armada);
- nos prismas com reforço, observaram-se na conclusão do ensaio pequenas avarias imperceptíveis, e com a deformação adicional e manual após o ensaio em torno de 12 cm, a

não ocorrência da ruptura explosiva, comprovando, por conseguinte, a eficiência da solução, na medida em que não se pode conceber qualquer modelo de reforço de estruturas que atenda ao suporte das cargas atuantes, porém não promova a eliminação da ruptura brusca.

Outro aspecto de fundamental importância é atender a melhor condição possível no que concerne a durabilidade do reforço. Nesse contexto, não se pode deixar de aplicar materiais que possam minimizar ações de agentes deletérios, uma vez que nesse modelo específico, a durabilidade da armadura deve ser preservada, aumentando a vida útil. Portanto, sabendo que a porosidade da argamassa é elevada, torna-se necessária adição de pozolana na mistura da argamassa para reforço, buscando aumento das propriedades e da vida útil do modelo proposto.

CAPÍTULO 4

4.0 AÇÃO DE POZOLANA EM MATRIZ CIMENTÍCIA

É relevante apresentar os benefícios das pozolanas em materiais cimentícios, mais precisamente sua contribuição com a durabilidade. Seria temeroso e inaceitável sugerir um modelo de reforço que não concedesse mitigação de agentes deletérios com base em critérios técnicos, objetivando maior durabilidade ao modelo sugerido.

Observando que os edifícios tipo “caixão” da RMR estão situados em áreas sem saneamento, urbana e litorânea, qualquer que seja o reforço estrutural proposto, ações que apontem para durabilidade é importante. Serão apresentados conceitos, considerações e propriedades sobre cada pozolana, destacando a metacaulim (pozolana utilizada no reforço), adicionadas às argamassas.

Utilização de sistemas binários com cimento portland e pozolana metacaulim têm sido amplamente discutidos e estudados pela comunidade científica de todo mundo nos últimos anos. Esse fato ocorre graças aos diversos benefícios que o metacaulim promove em matriz cimentícia. Esse material apresenta superfície específica elevada que propicia o preenchimento de pequenos espaços, melhorando as propriedades mecânicas das argamassas e concretos. Assim, a porosidade é reduzida promovendo maior capacidade de resistir a agentes agressivos, como a carbonatação, lixiviação, eflorescência, salinidade (ROCHA, 2005).

A sílica e alumina do metacaulim e o hidróxido de cálcio presentes no cimento em temperatura ambiente produzem silicatos de cálcio hidratado C-S-H, composto responsável por garantir a resistência da pasta de cimento hidratada, e que impõe melhorias quanto às propriedades mecânicas, desempenho e durabilidade (NITA; JOHN, 2007).

O benefício relevante na produção de laços de C-S-H, seria a morfologia de suas fibras pouco cristalinas com área específica de 100 a 700 m²/g. Este composto é o principal responsável pela resistência mecânica da pasta, atribuída, principalmente, às forças de Van der Waals e compõe entre 50 e 60% do volume total de sólidos da pasta (MEHTA; MONTEIRO, 2008) (Figura 4.1).

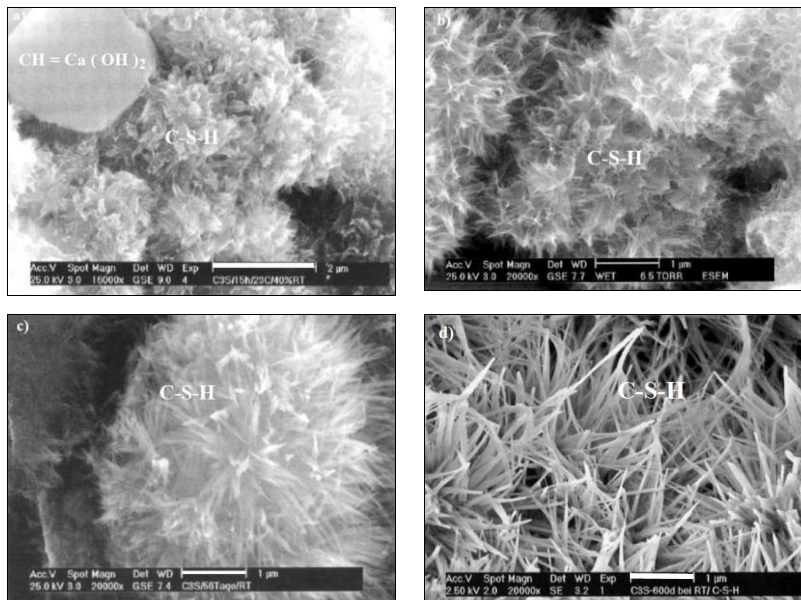


Figura 4.1 – C-S-H após: a) 15 horas, b) 7 dias, c) 56 dias, d) 600 dias

O CH representa 20 a 50% do volume de sólidos na pasta de cimento hidratada e, ao contrário do C-S-H, esse composto apresenta estequiometria definida $\text{Ca}(\text{OH})_2$, formando grandes cristais com uma morfologia prismática hexagonal distinta. Também chamada de portlandita, apresenta característica alcalina, sendo responsável pela passivação das armaduras protegendo-as de corrosão (Figura 4.2).

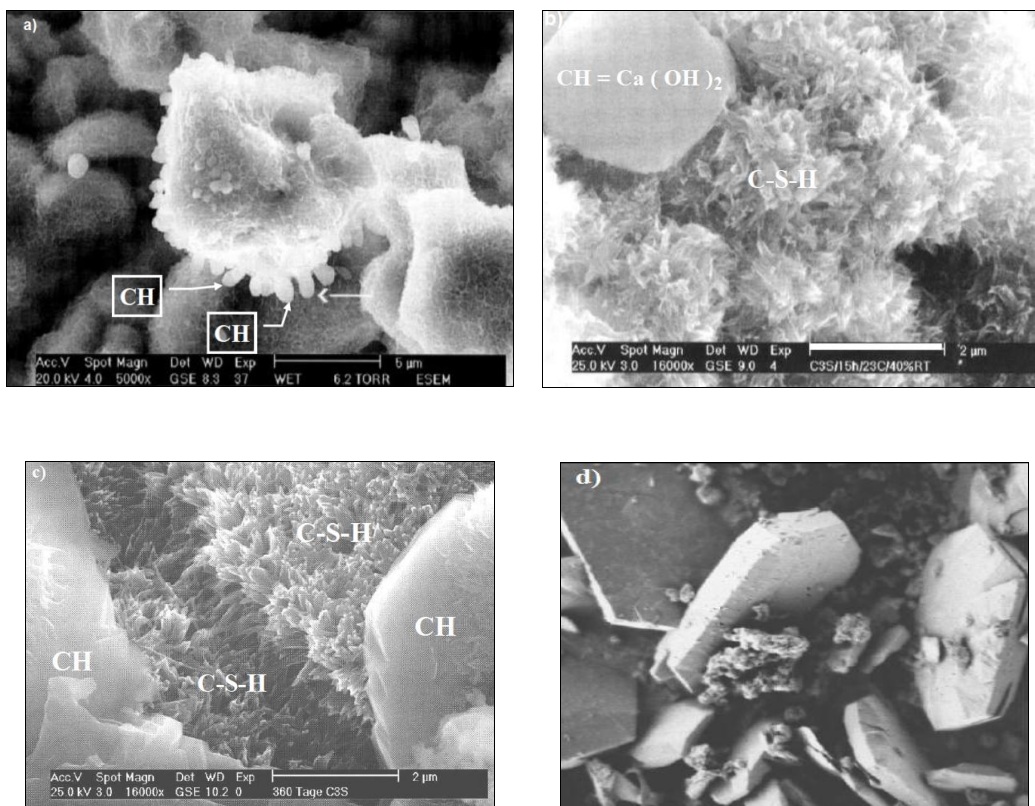


Figura 4.2 – CH após: a) 140 minutos, b) 15 horas, c) 36 dias e d) CH em idades avançadas (MEHTA; MONTEIRO, 2008)

Os Sulfoaluminatos de cálcio ocupam de 15 a 20% do volume de sólidos da pasta de cimento hidratada e possuem apenas papel secundário na microestrutura. Durante os estágios iniciais de hidratação se forma trissulfato hidratado ($C_6AS_3H_{32}$), também conhecido como etringita, que se apresenta como cristais prismáticos na forma acicular, no entanto, em pastas de cimento puro, a etringita se transforma em monossulfatos hidratados (C_4ASH_{18}) com cristais de placas hexagonais (MEHTA; MONTEIRO, 2008). A Figura 4.3 apresentam os estágios dos sulfoaluminatos e a Figura 4.4 o C-S-H, CH (portlandita) e vazio capilar. Vale enfatizar o vazio capilar, condição indesejada nos materiais.

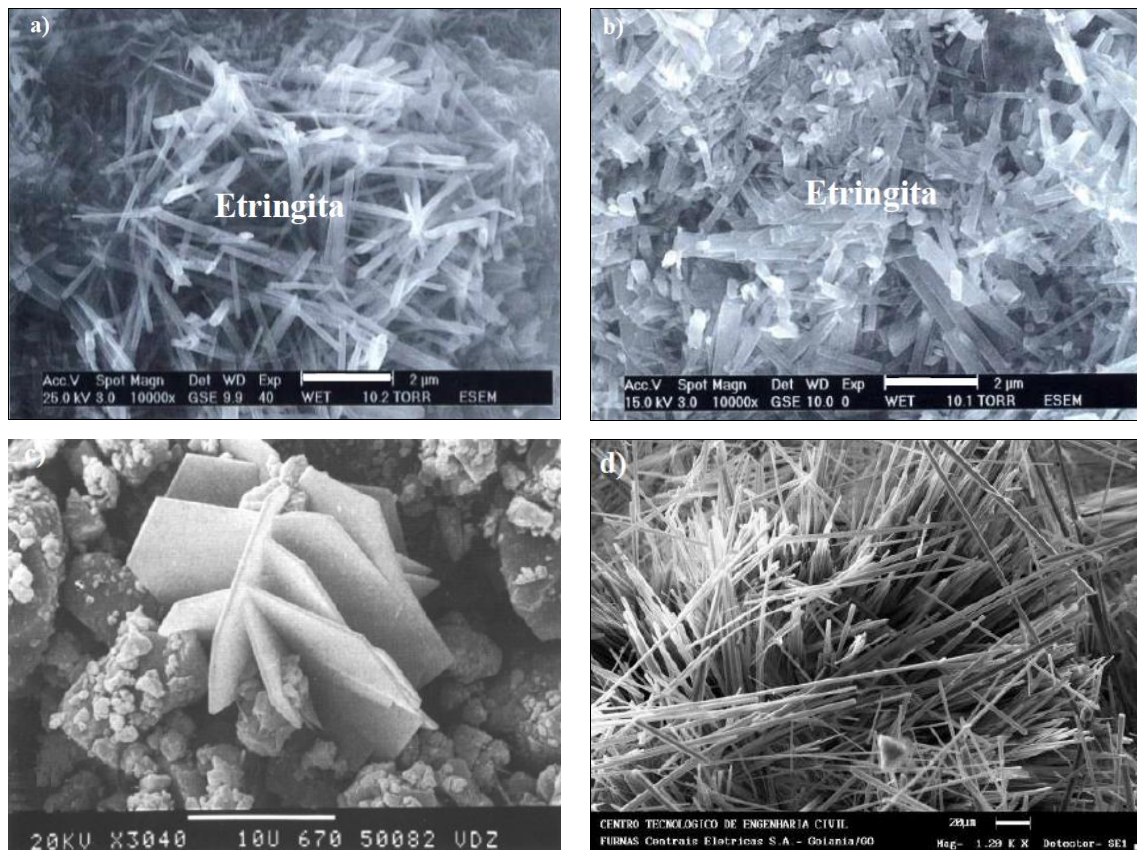


Figura 4.3 - Sulfoaluminato de Cálcio hidratado após: a) 75 minutos, b) 360 dias, c) monossulfatos hidratados e d) trissulfato hidratado ou etringita (MEHTA; MONTEIRO, 2008)

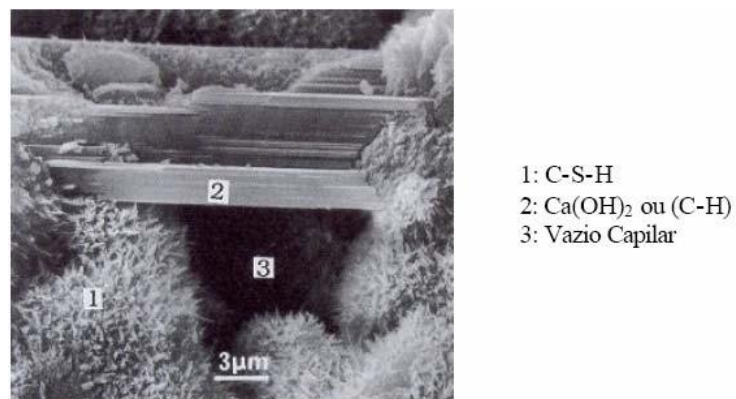


Figura 4.4 – (1): Morfologia típica do C-S-H; (2): portlandita (CH); (3): vazio capilar (OLIVEIRA, 2007)

A NBR 12653 define pozolana como sendo materiais silicosos ou silicoaluminosos que possuem pouca atividade aglomerante, mas que, quando finamente divididos e na presença da água, reagem com o hidróxido de cálcio à temperatura ambiente para formar compostos com propriedades aglomerantes.

Portanto, a vida útil das argamassas e concretos deriva da estruturas dos poros, já que são eles que controlam a entrada de umidade, oxigênio, CO₂, sulfatos, cloretos, dentre outros. (CERVO; GASTALDINI; ISAIA, 2001).

A pozolana metacaulim foi usada no modelo de reforço proposto objetivando elevar a resistência mecânica e durabilidade. As origens dos caulins podem ser primária ou secundária. Aquele é proveniente da alteração de rochas devido a circulação de fluidos quentes provenientes do interior da crosta (ação de vulcões ou da hidratação do silicato anidro de alumínio, seguido pela remoção de álcalis), e este formado pela deposição de sedimentos em ambientes lacustres, lagunares ou deltaicos, normalmente apresentam menores teores de quartzo e mica, porém, maiores teores de óxidos de ferro e titânio (LUZ et al., 2005). No mais, a decomposição do feldspato é outra forma de obtenção do metacaulim.

Metacaulim é uma pozolana de alto desempenho amorfo constituída por silicato de alumínio hidratado $[(Al_2Si_2(OH)_4)]$, que perdem os íons de hidroxilas de sua estrutura cristalina com a calcinação transformando-se em $[Al_2SiO_2O_7]$, sendo o processo industrial a ativação térmica entre 600°C e 850°C e moagem das argilas cauliníticas e caulins (MEDINA, 2011). Quando é proveniente do caulim de alto índice de pureza, após o processo de calcinação e moagem das partículas, é gerada pozolana metacaulim com alta reatividade - MCAR (SOUZA, 2003).

A palavra grega “Meta” indica mudança de estado, mudança do estado inicial de hidratação do caulim para o estado desidratado através da desidroxilação da molécula da caulinita na

calcinação. O radical “caulim”, palavra chinesa do termo *kauling* (colina alta), colina na região de *Jauchau Fu* na província de *Jiangxi*, norte da China, de onde se descobriu argilas do grupo dos silicatos hidratados de alumínio (minerais caulinita e haloisita) (MONTE et al., 2003).

Cerca de 95% da matéria prima estão em quatro países, com uma estimativa total próximo de 15 bilhões de toneladas, assim distribuídos: Estados Unidos (53,0%), Brasil (28,0%), Ucrânia (7,0%), Índia (7,0%). No Brasil as reservas maiores estão nos estados do Amazonas, Pará e Amapá, participando com 63%; 19%; e 9% respectivamente (OLIVEIRA, 2007). Constitui-se basicamente de sílica (SiO_2) e alumina (Al_2O_3) na fase amorfa, e durante o processo de hidratação do cimento Portland é capaz de reagir com o hidróxido de cálcio [$\text{Ca}(\text{OH})_2$] formando hidratados similares aos cimento portland. Essa combinação física com o cimento modifica a reologia dos compósitos (concretos e argamassas) no estado fresco, contribuindo com as propriedades relacionadas à durabilidade e ao desempenho mecânico.

O impacto ambiental é baixo, pois o beneficiamento do caulim gera areia quartzosa que pode ser aproveitada como agregado miúdo na construção civil, bem como o processo de calcinação leva somente à emissão de vapor de água a atmosfera. Após beneficiamento, a composição química da argila caulinítica e do caulim transformando em metacaulim ou MCAR, deverá apresentar os seguintes percentuais de sílica em torno de 46% e alumina em torno de 40% (ROCHA, 2015).

É importante para o desenvolvimento das atividades pozolânicas a redução significativa das partículas, de modo que sejam inferiores a 5 μm (SOUZA; DAL MOLIN, 2005). Assim, a metacaulim pode ser classificada como uma pozolana de baixa, média ou alta reatividade, sendo função da reatividade do material, e dos hidróxidos de cálcio para formação de compostos cimentante. Parâmetros que determinam a qualidade do metacaulim para sua classificação são: nível de pureza; área específica; perda ao fogo; composição mineralógica; composição química; composição física e alguns outros parâmetros. A

Tabela 4.1 apresenta requisitos químicos de metacaulim por diferentes normas técnicas (MEDINA, 2011).

Tabela 4.1 - Exigências químicas de metacaulim em diferentes normas

Propriedades	NBR 12653	ASTM C 618	IS 1344 (Índia)	DMS 4635 (Texas)	NF 18-513 (França)
$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$	> 70	> 70	> 70	> 85	-
$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$	-	-	-	-	> 90
SiO_2	-	-	> 40	-	-
CaO	-	-	< 10	-	-
CaO livre	-	-	-	-	< 1
MgO	-	-	3	-	< 4
SO_3	< 4	< 4	< 3	-	< 1
Cloreto	-	-	-	-	< 0,1
$\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$	-	-	< 3	-	-
Teor de umidade	< 3	< 3	-	-	-
Perda ao fogo	< 10	< 10	< 5	< 3	< 4
Álcalis disponíveis em Na_2O	< 1,5	< 1,5	-	< 1	-
Álcalis solúveis em água	-	-	< 0,1	-	-

Fonte: (MEDINA, 2011)

É importante dizer que um dos principais benefícios da utilização de pozolana é gerada pelas finas partículas inertes que diminuem os vazios (fenômeno físico), pois enquanto não se iniciam as reações pozolânicas, os espaços existentes que seriam ocupados pelo ar são ocupados.

A Tabela 4.2 sintetiza os principais parâmetros que caracterizam a metacaulim (ROCHA, 2005)

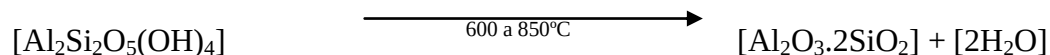
Tabela 4.2 - Classificação da Metacaulim de baixa, média e alta reatividade

Parâmetros	Umidade	Nível de reatividade do Metacaulim		
		Baixa	Média	Alta
$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$	%	> 70	-	-
Fe_2O_3	%	-	-	-
Na_2O solúvel	%	< 0,1	< 0,1	< 0,1
K_2O solúvel	%	< 0,5	< 0,5	< 0,1
TiO_2	%	< 1,5	< 1,5	< 1,5
MgO	%	< 1,0	< 1,0	< 1,0
CaO	%	< 1,0	< 1,0	< 1,0
Outros compostos	%	< 0,5	< 0,5	< 0,1
Perda ao Fogo	%	< 10,0	< 7,0	< 4,0
Relação $\text{Al}_2\text{O}_3 / \text{SiO}_2$		-	-	0,70 a 0,90
Atividade pozolânica com cal	MPa	> 6,0	> 10,0	> 14,0
Atividade pozolânica com cimento	%	> 75	> 85	> 95

Os minerais consistem de placas contínuas em plano, sendo empilhadas na direção perpendicular, cujas espessuras das unidades são de aproximadamente $7,2 \text{ \AA}$. Essas unidades são firmemente mantidas unidas por pontes de hidrogênio entre as camadas, de modo que o mineral não é disperso em água. Suas partículas são extremamente pequenas, com dimensões máximas laterais entre $0,3 \text{ \mu m}$ e $4,0 \text{ \mu m}$ e espessura entre $0,05 \text{ \mu m}$ e $2 \text{ \mu m}$ (BERNARDIN, 2006).

Na formação química do metacaulim, as argilas cauliníticas e o caulim quando submetidos a tratamento térmicos, destrói-se seu arranjo atômico devido retirada dos íons de hidroxilas

($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$). Esse processo químico pode ser representado da seguinte maneira: (CHRISTÓFOLLI, 2010).



Observa-se que, no metacaulim o tamanho das partículas variam entre 0,2 a 15 μm e sua área específica encontra-se em valores maiores que 12.000 m^2/kg . Já o MCAR apresenta área específica com valores até 60.000 m^2/kg e suas partículas são altamente lamelares (NITA, 2006). A Figura 4.5 apresenta os aspectos morfológicos de uma partícula de metacaulim.

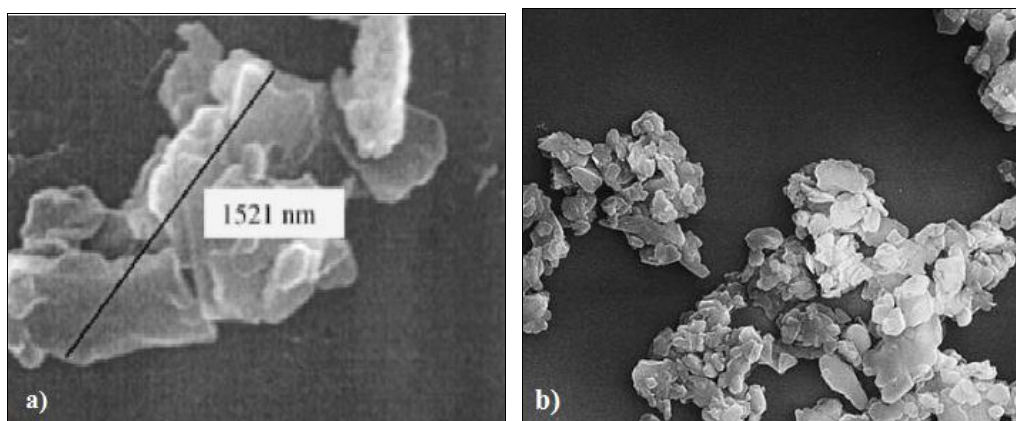


Figura 4.5 – Micrografia: (a) partícula de metacaulim com 1521 nm e (b) partículas de metacaulim (NITA; JOHN, 2007).

A atividade pozolânica também é influenciado pela utilização de aditivos com Na_2SO_4 ou CaCl_2 . Verificou-se aceleração da reação pozolânica principalmente nas primeiras idades, precipitando gipsita, formando hidróxido de sódio e aumento do pH (NITA, 2006). Quanto maior o valor do pH da solução, maior será a facilidade da pozolana se dissolver, principalmente para valores maiores que 12,5, apresentando maior cinética das reações de hidratação, implicando em maior produção de C-S-H, CH e aluminatos de cálcio (responsáveis pelo tempo de pega), isto é, age como elemento da nucleação.

A introdução de pozolanas de baixa reatividade em substituição de cimento diminui o calor de hidratação em concretos e argamassas (MEHTA; MONTEIRO, 1994). Diversos ensaios foram realizados com metacaulim em substituição parcial ao cimento no teor de 7% e observou-se calor de hidratação menor, principalmente para as idades de 3, 5 e 7 dias em relação à amostra sem adição (LIDUÁRIO, 2006). Estudos com MCAR mostrou que ocorreu aumento do calor de hidratação, confirmando o efeito acelerador desta pozolana sobre o processo de hidratação de cimento. Este comportamento também foi obtido com teores de substituição de 10% e 15% em argamassas (OLIVEIRA, 2007).

A respeito da trabalhabilidade, pode-se dizer como sendo uma das propriedades mais importantes. Essa propriedade adequada estabelece desde bom desempenho na produtividade, como indica propriedades do estado endurecido satisfatórias (PETRUCCI, 1998). Portanto, estruturas lamelares do MC tem forte ligação ao longo das camadas, todavia, as ligações entre camadas são branda, gerando facilidade no escorregamento entre as camadas [Figura 4.6 (a) e (b)].

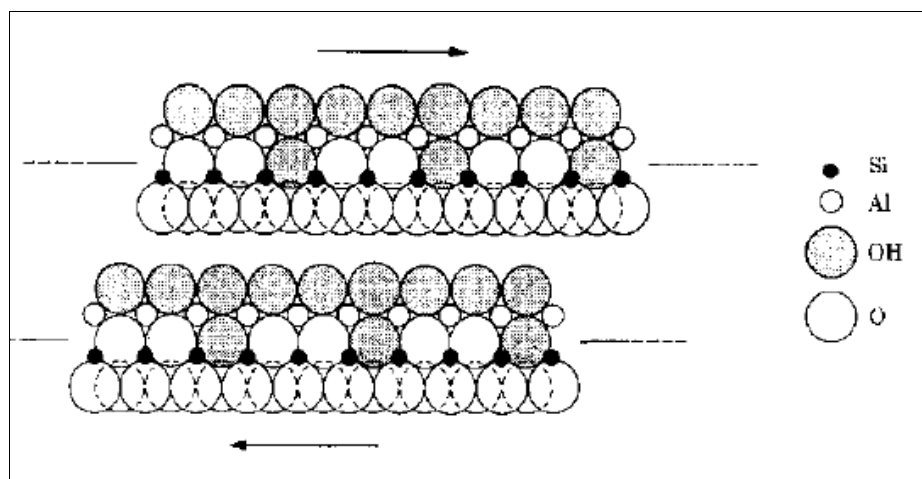


Figura 4.6 (a) - Deslizamento observado entre as camadas lamelar da caulinita (VAN VLACK, 1970) *apud* LACERDA; HELENE (2005).

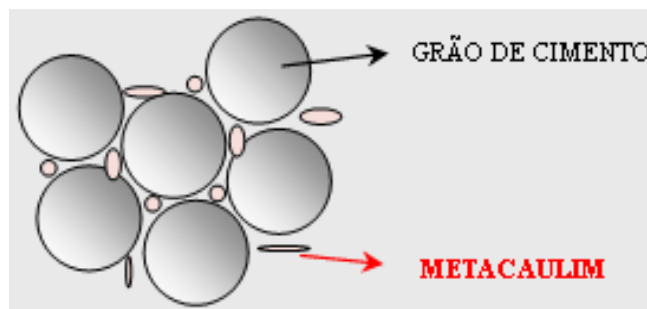


Figura 4.6 (b) - Partículas da pozolana metacaulim nos interstícios do cimento

A resistência à compressão das argamassas e concretos é definida pela capacidade de resistir à tensão atuante. Essa propriedade é inversamente proporcional a relação água/cimento, ar incorporado e ar aprisionado. O tipo de cimento, o fator água/cimento e o grau de hidratação determinam a porosidade (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

A medida que a hidratação do cimento vai liberando o hidróxido de cálcio, a reação pozolânica vai ocorrendo, precipitando os compostos oriundos desta reação justamente nos poros da matriz cimentícia, tornando o material mais denso e consequentemente mais resistente. O MCAR quando empregado como substituição parcial de cimento, desenvolve três fatores que contribuem na resistência à compressão: efeito físico (preenchimento de vazios); celeridade na hidratação do cimento (fenômeno de nucleação); reação pozolânica com o CH (produzindo C-S-H). O efeito filer é imediato, a aceleração da hidratação do cimento atinge o máximo dentro das primeiras 24 horas e o efeito máximo da reação pozolânica ocorre entre o 7º e o 14º dia. A partir daí não são observados acréscimos substanciais na resistência em relação ao proporcionado pelas misturas de cimento portland comum (BARATA, 1998).

Verificando a resistência relativa de argamassas e pastas com substituição parcial de MCAR, Wild; Khatib (1997) verificaram melhores resultados no 14º dia (40%), todavia, nas outras idades também ocorreram melhorias independente do teor de substituição. Os autores também constataram que após o 28º dia não há evidência de aumento significativo na resistência.

Pode-se atribuir o aumento da resistência à compressão até o 14º dia em virtude dos seguintes fenômenos: a) formação de uma camada inibidora, constituída por produtos de hidratação, que envolve as partículas do metacaulim impendendo dessa forma as reações pozolânicas com o CH; b) formação de grandes poros, a partir da dissolução dos cristais de CH que não podem ser totalmente preenchidos com produtos da hidratação; c) transformação de produtos, de tal ordem que altera a densidade, ocasionado um decréscimo no volume de sólidos, conseqüentemente, aumentando a porosidade e reduzindo o desenvolvimento da resistência (SILVA; GLASSER, 1990).

Taha; Shrive (2001) mostraram que a resistência de aderência de argamassa inorgânica mista com adição de pozolana (sílica) aumentou em até 45% aos 180 dias. O teor ideal de substituição de cimento por sílica ativa foi de 20% e o traço utilizado 1:1:6 (cimento, cal e areia em volume).

Galvão (2004) verificou elevado desempenho das argamassas com adição de metacaulim por substituição de cimento. O teor de 15% apresentou melhores resultados na proteção contra íons cloretos e carbonatação e maiores resistência à compressão, módulo de elasticidade e tração por compressão diametral. Todavia, absorção por imersão, não se verificou diferenças em relação às amostras sem adição, constatando resultados similares.

Silva (2004) mostrou que a resistência de aderência à tração de argamassas superou 1 MPa, com elevação próximo de 100% quando comparadas com amostras sem adição (referência). Nessa pesquisa foi avaliada a substituição de cimento pela sílica da casca do arroz no chapisco, onde o teor ideal foi de 5% e o traço foi 1:2 (cimento e areia). Essa autora afirma que a relação água/cimento deve ser controlada, de modo que altas quantidades de água promovem elevação da porosidade na interface reduzindo a extensão de aderência.

Mota; Oliveira; Dourado (2011) e Mota; Carasek; Costa e Silva (2011) analisaram argamassas com metacaulim em substituição ao cimento nas proporções de 0% (referência) – família 1; 5% - família 2; 10% - família 3; 15% - família 4, sendo todas famílias com

traço 1:1:6:1,5 (cimento, cal, areia e relação água/cimento). O teor de substituição ideal de cimento por metacaulim foi 15%, devido maiores resultados mecânicos (resistência à compressão, tração por compressão diametral e resistência de aderência) e os relacionados à durabilidade (absorção total, capilaridade e permeabilidade), contudo, a redução da absorção foi tímida.

Mota et al., (2011) e Dourado; Mota; Barbosa (2001) estudaram o efeito da pozolana em concretos utilizando amostras sem adição (referência), com 5%, 8% e 10% de metacaulim em substituição ao cimento. O traço adotado foi 1:2:3:0,5 (cimento, areia, brita e relação a/c). Avaliou-se resistência à compressão, tração por compressão diametral, módulo de elasticidade e absorção total nas idades 7, 28 e 90 dias. Os autores concluíram que as amostras de concreto com 8% de adição de metacaulim em substituição ao cimento, em todas as propriedades estudadas tiveram melhores resultados.

Pesquisa com quatro diferentes tipos de metacaulim e sílica ativa, em substituição de 15% da massa de cimento em argamassas de alto desempenho, revelaram a influência da finura na resistência à compressão. Na Figura 4.7 verifica-se que nas idades iniciais, as argamassas contendo metacaulim com maior superfície específica (1, 2 e 3), apresentam valores de resistência superiores aos obtidos nas argamassas de referência e com sílica ativa. Nas idades avançadas às amostras com metacaulim e sílica ativa apresentam valores de resistência similares (CURCIO et al., 1998).

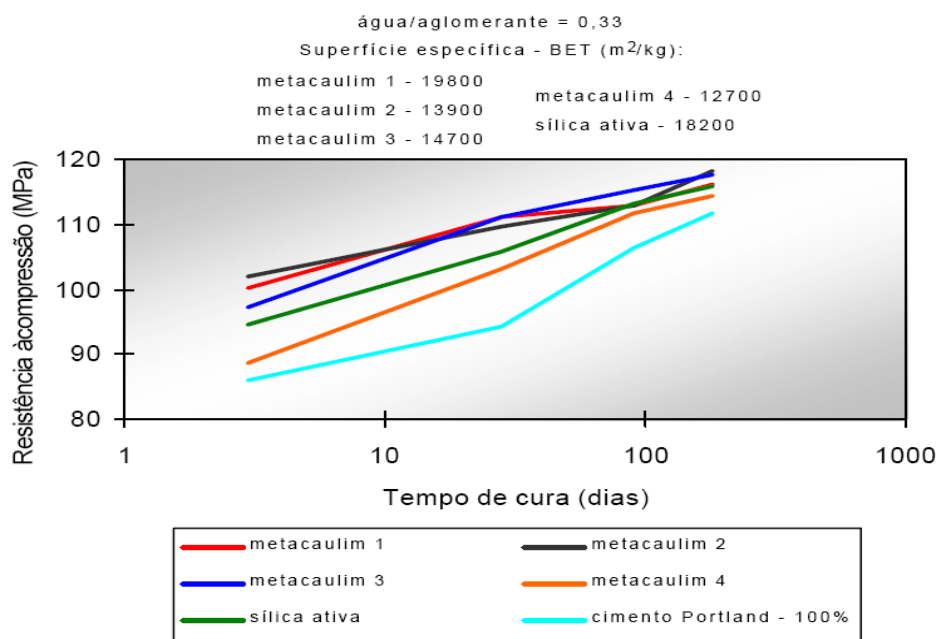


Figura 4.7 - Resistência à compressão de argamassas com metacaulim e sílica ativa

Avaliando o módulo de elasticidade, pode-se dizer que um corpo quando submetido a algum esforço se deforma, isto é, ao ser comprimido tende a encurtar-se havendo aproximação relativa das moléculas. Efeito contrário é observado para esforços de tração, pois resulta no alongamento da peça no distanciamento relativo das moléculas. Essas deformações são tão maiores quanto menor for o módulo de elasticidade do corpo, cuja determinação é feita com base na curva obtida pela medição da tensão versus deformação. Concretos e argamassas com adição de metacaulim tem seu módulo de elasticidade aumentado em até 15%, pois as reações pozolânicas refinam o teor de porosidade, tornando a matriz mais rígida (LACERDA; HELENE, 2005).

O transporte de massa em materiais cimentícios (lixiviação, carbonatação, corrosão) constituem na chave para a durabilidade, e consequentemente vida útil. O tamanho, volume e continuidade dos poros implica no maior ou menor meio para transporte de matéria na microestrutura de materiais cimentícios, através dos quais deriva a qualidade e vida útil (LEVY, 2001). Adição de materiais pozolânicos, seja substituindo parte da massa de

cimento ou como simples adição, aumenta a vida útil de argamassas e concretos (NEVILLE, 1997).

Mota et al. (2010) estudaram a influência da adição de filer calcário em concretos com resistência média à compressão 29 MPa. Objetivou-se avaliar os teores de cloretos em relação à massa de cimento de corpos de prova de concreto maturados na Região litorânea de Porto de Galinhas/PE, tendo em vista elevada agressividade devido o ataque de íons cloreto através das elevadas névoas salinas.

As Figuras 4.8 (a), (b) mostram respectivamente aspecto marinho próprio da Região em estudo e foto onde se encontravam os corpos de prova (ambas com destaque em vermelho).



Figura 4.8 (a) - Aspecto do ambiente marinho da Região (névoa salina)

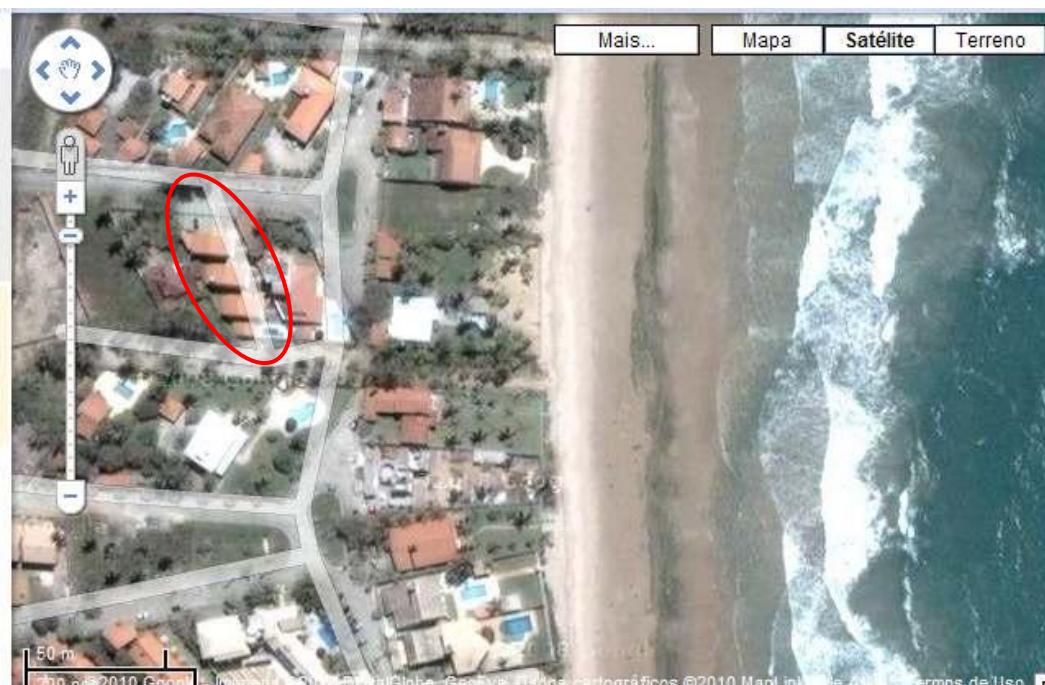


Figura 4.8 (b) - Região em que se encontravam os CP's de concreto ensaiados
(<http://earth.google.com/.htm>. Acesso em: 28 abril, 2008)

As profundidades e teores investigados de íons cloretos foram de 0,5 cm; 1,5 cm; 2,5 cm; 3,5 cm e 4,5 cm. Os corpos de prova foram dispostos em três condições de agressividade: ► amostra 1 (corpos de prova sujeitos a ciclo de molhagem e secagem em recipiente com água do mar a cada 24 horas); ► amostra 2 situada sobre o reservatório superior de água (altitude 6 m e distância 85 m do mar, lado Leste da réplica); ► amostra 3 (idem a amostra 2, contudo, lado Oeste da réplica).

Os autores concluíram que: a amostra 1: verificou-se alto teor de cloreto (bem acima do prescrito em normas pertinentes) até a profundidade de 2,5 cm, entretanto, em profundidades superiores os teores de cloretos encontravam-se dentro dos padrões estabelecidos por normas pertinentes (0,4% de cloretos em relação à massa de cimento); as amostras 2 e 3 não se verificaram em nenhuma profundidade teores de cloretos consideráveis; quanto à carbonatação, não se verificou.

No processo de absorção à água em materiais cimentícios (concretos ou argamassas), a maior ocorrência advém dos poros conectados e pela ação da pressão capilar ou capilaridade, característica dos materiais higroscópicos. O diâmetro dos poros é inversamente proporcional à ascensão capilar, porém a quantidade total de água absorvida será maior por unidade de área (REGATTIERI; HELENE, 1999).

A estrutura de poros em pasta de cimento apresenta-se sob três diferentes formas: (a) espaço inter lamelar que varia entre 5 e 25 Å, correspondendo a 25% da porosidade no C-S-H sólido, que não afeta a resistência e permeabilidade da pasta a não ser que as pontes de hidrogênio retenham água nesses pequenos vazios; (b) vazios capilares que representam o espaço não preenchido pelos componentes sólidos da hidratação do cimento, sendo que estes influenciam na resistência da pasta de cimento e variam de 10 a 50 nm, no entanto, em pastas com alta relação água/cimento esses poros podem chegar a 5 µm; (c) ar aprisionado geralmente esférico, resultado de uma pequena quantidade de ar aprisionado na pasta de cimento durante o processo de mistura do concreto ou argamassa, onde estes vazios variam de 50 a 200 µm e podem reduzir a resistência mecânica (MEHTA; MONTEIRO, 2008) (Figura 4.9).

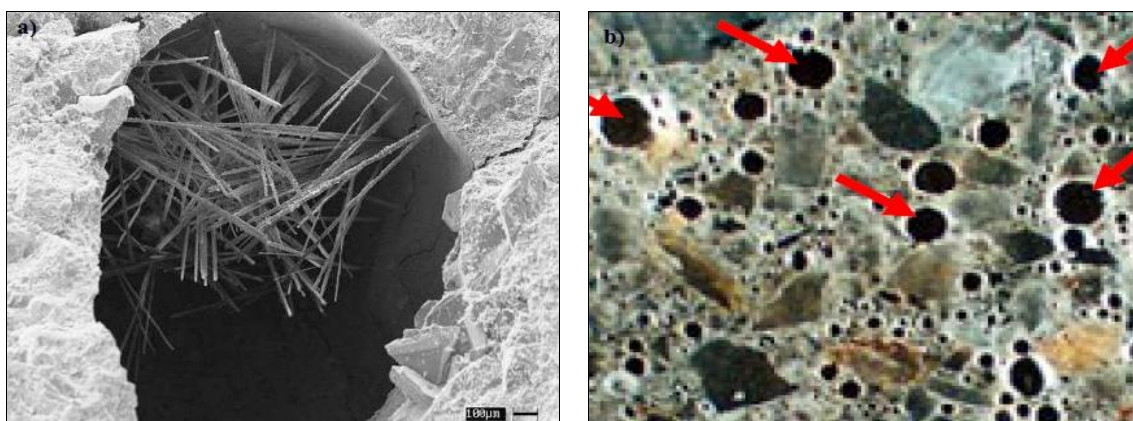


Figura 4.9 - Vazios na pasta de cimento: (a): vazios capilares; (b): ar aprisionado (FREITAS, 2008)

Lacerda; Helene (2005) relatam três fatores que podem justificar a redução da porosidade adicionando pozolanas em materiais cuja matriz seja cimentícia: As reações pozolânicas

que ocorre vão preenchendo os poros com cristais de C-S-H; A parcela que não reage, preenche fisicamente os poros (efeito “filer”); A presença de finos em concretos e argamassas eleva a trabalhabilidade, propiciando melhor adensamento, reduzindo a porosidade. Gomes et al. (2003) afirmam que adição pozolânica, seja por substituição ou adição à massa de cimento, aumenta a vida útil de argamassas e concretos com a promoção da redução da permeabilidade. A Figura 4.10 apresenta os possíveis caminhos formados dentro de materiais cimentícios durante o processo de hidratação da pasta.

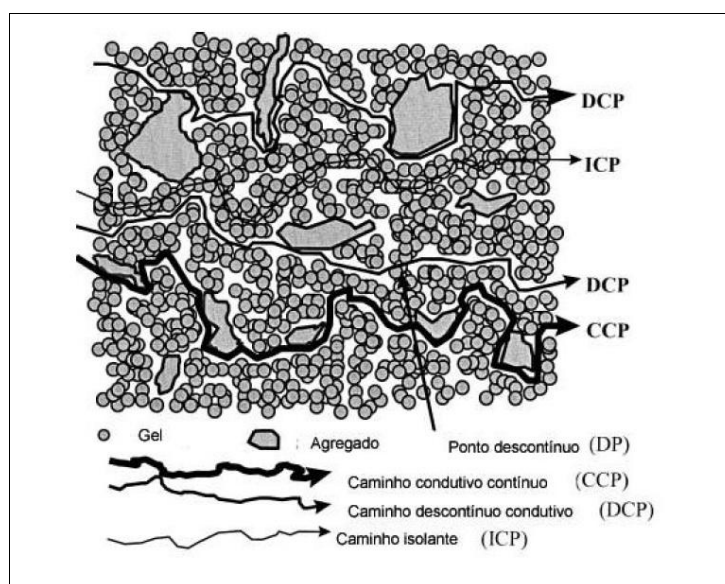


Figura 4.10 - Representação esquemática dos caminhos internos de materiais cimentícios (FREIRE, 2005)

Cordeiro (2001) pesquisou argamassa com adição de metacaulim em teores 10%, 15% e 20% nas idades 3, 7 e 28 dias. Verificou-se que os teores com 15% tiveram maior resistência à compressão aos 28 dias 43 MPa e 10% e 20% com resultados próximos a 40,5 MPa e 41 MPa respectivamente.

Souza; Dal Molin (2003) estudaram argamassas com adição de MCAR nos teores 5%, 10%, 15% e 20%, onde concluíram que a quantidade de água influencia na resistência, sendo inversamente proporcional a relação a/c. Os maiores resultados foram próximos da

relação a/c 0,25 e 20% em substituição do cimento, com resistência à compressão em torno de 80 MPa.

Vu; Stroeven; Bui (2001) avaliaram metacaulim de jazida do Norte do Vietnam com teores de substituição de cimento em argamassas 10% a 30% e concretos 10% a 20%. Os resultados mostraram que argamassas com teores entre 20% e 25% tiveram maiores resultados mecânicos. Também ficou constatado que para maiores relações a/aglomerantes, precisa-se de maiores teores de metacaulim em substituição ao cimento para se obter resistências melhores.

Gruber et al. (2001) estudou concretos com relações a/c 0,3 e 0,4 e substituição em massa de 0%, 8% e 12% de MCAR por cimento, objetivando avaliar difusão de cloretos. Concluiu-se que 8% e 12% diminuem o coeficiente de difusão em 50% e 60% respectivamente.

Pesquisa elaborada por Courard (2003) mostrou que argamassas com adição de metacaulim por substituição de cimento em teores de 10% e 15%, apresentaram melhores resultados com relação à difusão de cloretos e degradação por sulfato. Entretanto, avaliando absorção por imersão, não verificou resultados satisfatórios nas amostras com adição, constatando a argamassa de referência sem adição menor absorção, porém em valores muito similares as adicionadas.

Avaliando os objetivos desse capítulo, pode-se concluir que a pozolana metacaulim, de fato, apresenta benefícios consideráveis em concretos e as argamassas, na medida em que contribui com elevação do desempenho mecânico e durabilidade (vida útil) de materiais cimentícios.

Torna-se relevante a verificação na literatura de pesquisas com predominância de substituição de parte do cimento por pozolana, e não, por simples adição pura (sem retirar

parte do cimento). Essa prática foi desenvolvida e pode ser justificada diante de diversos aspectos, tais como: sustentabilidade, fator econômico, calor de hidratação e mais substancialmente pela melhor condição de combater a RAA (reação álcalis agregado).

Portanto, Barbosa (2013) e Mota et al. (2015) relatam que estudos iniciais objetivando mitigar a RAA, mostravam que o uso da pozolana apresentava-se como uma forma eficaz. Podem-se destacar alguns aspectos que levavam a justificar a prática de se utilizar pozolana em substituição ao cimento: ► ao se retirar parte do cimento, menor teor de álcalis era posto na mistura; ► parte dos álcalis do cimento é consumida pela sílica da pozolana através de reações, gerando compostos secundários; ► a elevação da resistência mecânica devida reações pozolânicas, propicia então, usufruir da redução de mais álcalis, retirando determinada porção de cimento até patamares que não comprometesse a tensão de suporte desejado, resultando numa espécie de compensação; ► refinamento dos poros pela geração de silicato de cálcio hidratado, contribuindo para redução da porosidade e para que os poros remanescentes ficassem desconectados, dificultando, em vista disso, acesso da umidade.

CAPÍTULO 5

5.0 METODOLOGIA E MATERIAIS

Diversas pesquisas vêm sendo desenvolvidas objetivando estabelecer técnicas para recuperação de estruturas, na medida em que não se têm uma metodologia específica para verificação de desempenho de peças reforçadas e durabilidade. Em geral, os trabalhos sobre reparos estruturais buscam atender exclusivamente a capacidade de suporte, contudo, é importante avaliar também a durabilidade. Em regiões litorâneas e grandes centros urbanos, essa imposição torna-se fundamental por conta de elevado nível de agressividade do meio.

Esse trabalho apresenta um modelo de reforço através de pesquisa experimental para estabelecer capacidade de suporte, ductilidade e durabilidade de alvenaria resistente reforçada nas duas faces com argamassa armada (telas e conectores de aço) e adição de metacaulim (Figura 5.1).



Figura 5.1 – Três fundações estudadas na tese

O reforço sugerido poderá ser aplicado em prédios “caixão” ou em qualquer edificação com características análogas, sendo especialmente especificada para super-estrutura. Ensaios prévios foram necessários para determinação de parâmetros para pesquisa, mais especificamente 15% como teor ideal de metacaulim para o reforço (MOTA; CARASEK; COSTA e SILVA, 2011 e MOTA; OLIVEIRA; DOURADO, 2011) e protótipos para calibra e identificar as dificuldades (MOTA; OLIVEIRA, 2013 e MOTA et al., 2013).

5.1 – Materiais empregados

Os materiais utilizados para execução dos prismas foram análogos aos encontrados nos edifícios tipo “caixão”, bem como os usados no reforço. Utilizaram-se cimento CP II Z – 32, cal tipo CH-I, pozolana metacaulim HP ULTRA, areia natural média, blocos cerâmicos

de vedação e aço (tela e conector). A Tabela 5.1 mostra características do cimento utilizado.

Tabela 5.1 – Características do cimento utilizado

Determinação (CP II Z – 32)			Resultados
Caracterização Física	Superfície específica Blaine (cm^2/g)		3.640
	Massa Específica (g/cm^3)		3
	Densidade Aparente (g/cm^3)		1,2
	Finura	Resíduo na peneira #200 (%)	2,2
		Resíduo na peneira #325 (%)	15,6
	Tempo de Pega	Início (min)	150
		Fim (min)	220
	Resistência à Compressão	3 dias (MPa)	26,4
		7 dias (MPa)	32,1
		28 dias (MPa)	39,5
Caracterização Química (%)	Composição potencial do Clínquer	C_3S	67
		C_2S	7,80
		C_3A	7,8
		C_4AF	10,5
	Perda ao fogo		4,3
	Resíduo insolúvel		6,8
	Al_2O_3		5,2
	SiO_2		20,6
	Fe_2O_3		3,5
	CaO / cal livre		65 / 1,4
	MgO / SO_3		2,6 / 3,2
	Na_2O / K_2O		0,3 / 0,8

Fonte: O fabricante

A cal cálcica CH-I foi de fabricação carbomil e é amplamente utilizada na Região Metropolitana do Recife (Tabela 5.2).

Tabela 5.2 – Características da cal

Ensaio			Cal Hidratada CH I (Cálcica)
Caracterização Física	Finura (% retida)	#30 (0,600 mm)	0,3
		# 200 (0,075 mm)	1,8
	Densidade Aparente (g/cm ³)		0,5
	Umidade (%)		1,2
Caracterização Química (%)	Anidrido Carbônico – CO ₂		2,2
	Anidrido Sulfúrico – SO ₃		0,05
	Perda ao Fogo		24,1
	Sílica e Resíduo Insolúvel		0,8
	Óxido não hidratado		7,3
	CaO		73,7
	MgO não hidratado		0,7
	Óxidos totais na base de não voláteis		98,1

Fonte: Fabricante

A pozolana metacaulim HP ULTRA, sílica e alumina na fase amorfa (vítrea) apresentam características na (Tabela 5.3).

Tabela 5.3 – Características químicas da metacaulimHP (%) - (EPUSP; UFPR)

SiO ₂	51
Al ₂ O ₃	40
Fe ₂ O ₃	2
CaO / MgO / SO ₃	-
Na ₂ O	0,08
K ₂ O	0,18
Umidade	0,6
Perda ao Fogo	2,
Equivalente alcalino	0,2
SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	94
Odor / pH	Inodoro / 5,0 a 6,5

Fonte: Helene; Medeiros (2004)

A distribuição granulométrica do metacaulim HP pode ser determinada por difração de raio laser. Todavia, esse método que determina o tamanho das partículas não é adequado para o metacaulim, visto partículas lamelares e não esféricas, remetendo para o BET a forma adequada (HELENE; MEDEIROS, 2004). A Tabela 5.4 mostra algumas características físicas da pozolana metacaulim HP ULTRA realizada pelo laboratório de caracterização tecnológica do departamento de engenharia de Minas e de Petróleo da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. O método utilizado foi BET.

Tabela 5.4 – Características físicas do metacaulim do Brasil (ensaios: EPUSP)

Diâmetro médio das partículas	12,4 μm
Densidade de massa específica	2.650 kg/m^3
Massa unitária	600 kg/m^3
Área de superfície específica – método BET	327.000 cm^2/g
Resultado de atividade pozolânica a $90 \pm 5^\circ\text{C}$	771,2 mg CaO/g amostra
Estado físico / Forma	Sólido / pó seco
Armazenamento	Filtro com eficiência de contenção de partículas de até 0,002 mm

Fonte: Helene; Medeiros (2004)

► O Agregado miúdo foi uma areia natural de natureza quartzosa amplamente encontrada na Região.

As Tabelas 5.5 (a) e (b) apresentam algumas características. O coeficiente de uniformidade de acordo com o método de Allen-Hazem, relaciona $C=d_{60}/d_{10}$, significando a equivalência da percentagem passante de material.

Tabela 5.5 (a) – Granulometria da areia natural (NBR NM 248)

Peneira (mm)	Peneira (Pol/Nº)	Massa retida (g)	% Retida	% Acumulada
9,5	3/8"	2,5	0,83	-
6,3	1/4"	4,6	1,53	2
4,8	Nº 4	2,7	0,9	3
2,4	Nº 8	19,5	6,5	9
1,2	Nº 16	42,6	14,2	23
0,6	Nº 30	53,7	17,9	41
0,3	Nº 50	90,3	30,1	71
0,15	Nº 100	76,5	25,5	97
	Fundo	7,6	2,53	100
	Total	300	100	

Tabela 5.5 (b) – Características da areia natural

Dim. Máximo característico (mm) – NBR NM 248	4,8
Módulo de finura – NBR NM 248	2,5
Massa unitária (g/cm ³) – NBR NM 45	1,4
Massa específica (g/cm ³) – NBR NM 45	2,6
Inchamento – NBR 6467	1,2
Teor de material pulverulento (%) – NBR 7219	2,1
Umidade (%) – NBR 6467	3,4
Matéria orgânica – NBR NM 49	Clara
Coefficiente de Uniformidade - método de Allen-Hazem	3

► Utilizaram-se blocos cerâmicos de vedação de oito furos assentados na horizontal. Para determinação da resistência à compressão foram utilizadas 15 unidades. A Tabela 5.6 mostra algumas características.

Tabela 5.6 – Caracterização dos blocos

Ensaio	Método	Resultados Médios
Dimensões: comprimento, largura e altura (cm)	NBR 15270	18,72; 8,96 e 19,08
Massa (g)	NBR 15270	2.285
Resistência à compressão (MPa / SD / CV -%)	NBR 15961 / 15270	2,381 / 0,87 / 37
IRA – Initial Rate of Absorption (g/200cm ² /min)	ASTM C-67	14
Absorção (%)	NBR 15270	13

► A água utilizada foi da rede de abastecimento pública da Companhia Pernambucana de Saneamento (Compesa), com pH médio fornecido pela companhia 6,5.

5.1.2 – Prismas e argamassas empregadas

Na qualificação para tese foi indicada amostras (famílias) adicionais, ou seja, amostras sem adição no traço “médio” e por adição simples (sem retirar parte do cimento) nos dois traços especificados [(1:1:6 – “médio”) e (1:0,5:4,5 – “forte”) - cimento, cal e areia]. Todas as sugestões para o reforço sobre as duas bases (sem e com revestimento). Nesse novo panorama, as amostras de prismas chamadas de caracterização (sem reforço) permaneceram as três sugeridas (prismas sem revestimentos; prismas com chapisco comum; prismas com revestimento traço “fraco” – 1:2:9, cimento, cal e areia).

Portanto, as amostras de prismas com argamassa para reforço passaram de quatro para dez, assim distribuídas: ▪ 0% de adição de metacaulim (no traço “médio”); ▪ 15% de metacaulim em substituição a parte do cimento (nos traços “médio” e “forte”); ▪ 15% de adição de

metacaulim (nos traços, “médio” e “forte”), sendo todas as amostras com reforço aplicadas sobre substrato nu (sem revestimento) e substrato com revestimento “fraco”.

Executaram-se ensaios das argamassas utilizadas na produção dos prismas, sendo as propriedades avaliadas aos noventa dias, a saber: - consistência (estado fresco); - massa específica; - absorção de água por imersão; - resistência à compressão; - resistência à tração por compressão diametral; - módulo de elasticidade. Utilizaram-se doze corpos de prova para resistência à compressão e seis para os demais ensaios.

A relação água/cimento foi definida pelos operários diante de várias tentativas, com a finalidade de se estabelecer a melhor trabalhabilidade, onde se formou uma matriz de consistência 200 mm +/- 20 mm como ideal para aplicação dos revestimentos argamassados estudados. Não houve a necessidade de aditivo tensoativo em nenhuma amostra, haja vista apresentarem dentro da matriz de consistência estabelecida.

Utilizou-se 5% de metacaulim em substituição ao cimento para o chapisco utilizado no reforço sobre base sem revestimento, devido apresentar melhor resultado de aderência quando comparado com o chapisco sem adição, bem como foi definido relação a/c 0,8 com o cunho de reduzir a porosidade na interface (SILVA, 2004 e MOTA; CARASEK; COSTA e SILVA, 2011).

Os traços estabelecidos para as argamassas usadas na confecção dos prismas sem e com reforço (Tabela 5.7), atenderam a NBR 13749 e ASTM C-270, sendo a argamassa (não estrutural) de revestimento [“O” (1:2:9) – traço fraco] e [“N” (1:1:6 – traço médio) e “S” (1:0,5:4,5 – traço forte) → argamassas para reforço]. Portanto, a argamassa traço fraco (revestimento sem reforço) foi especificada pela similaridade das usadas nas construções de alvenaria resistente da RMR, e as argamassas para reforço por embasamento na literatura.

A NBR 15961 especifica o prisma como resistência básica da alvenaria estrutural e apresenta o procedimento para estimar a resistência da parede, sendo importante ser executados nas mesmas condições verificadas nas construções, bem como especifica a

espessura da junta de alvenaria 10 mm, com tolerância de mais ou menos 3 mm, admitindo que valores fora deste padrão reduzam o desempenho das paredes. O ensaio de compressão uniaxial de prismas é aceito como uma forma segura e confiável de medir a resistência da parede (GOMES, 2001, CAMACHO, 2001 e OLIVEIRA, 2004).

Tabela 5.7 – Nomenclatura dos revestimentos das argamassas especificadas

SIGLA DA ARGAMASSA/PROCESSOS	PROPORCIONALIDADES/MATERIAIS (volume)
ARG.1: Chapisco comum (5 mm de espessura)	1:4:2 (cimento, areia e relação água/cimento) – processo usual nos prédios “caixão”.
ARG.2: Chapisco para reforço (5 mm de espessura)	1:3:0,8 (cimento, areia e relação água/cimento) com adição de 5% de substituição (SILVA, 2004) e (MOTA; OLIVEIRA; DOURADO, 2011).
ARG.3: Revestimento argamassado com traço fraco (20 mm +/- 2 mm de espessura)	1:2:9:2 (cimento, cal, areia e relação água/cimento) – processo usual nos prédios “caixão”. (ASTM C- 270, tipo “O”).
ARG.4: Argamassa de assentamento (espessura 10 mm) e para reforço sem adição	1:1:6:1,5 [cimento, cal, areia e relação água/cimento - (ASTM C- 270, tipo “N”)].
ARG.5A: Argamassa armada para reforço com traço médio (30 mm de espessura +/- 3)	1:1:6:1,5 (cimento, cal, areia e relação água/cimento) com 15% em substituição de parte do cimento (MOTA; CARASEK; COSTA e SILVA, 2011) - (ASTM C- 270, tipo “N”).
ARG.5B: Argamassa armada para reforço com traço médio (30 mm de espessura +/- 3)	1:1:6:1,5 (cimento, cal, areia e relação água/cimento) com simples adição de 15% (sem retirar parte de cimento).
ARG.6A: Argamassa armada para reforço com traço forte (30 mm +/- 3 mm)	1:0,5:4:1,5 (cimento, cal, areia e relação água/cimento) com 15% em substituição - (ASTM C- 270, tipo “S”).
ARG.6B: Argamassa armada para reforço com traço forte (30 mm +/- 3 mm)	1:0,5:4:1,5 (cimento, cal, areia e relação água/cimento) com adição de 15%.

Ramalho; Corrêa (2003) apresentam dois procedimentos usados para a obtenção da resistência à compressão das paredes de alvenaria: (a) Estimativas pela resistência de prismas, onde neste método a resistência é determinada através de ensaios experimentais de prismas sob compressão axial, nos quais são usados componentes idênticos aos que serão utilizados na obra; (b) estimativas por meio da resistência medida dos componentes, donde esse método se baseia em equações empíricas ou empírico-analíticas que correlacionam a resistência à compressão da alvenaria com as resistências à compressão dos componentes (bloco e argamassa).

A Figura 5.2 mostra fluxograma das amostras de prismas. As Tabelas 5.8 e 5.9 apresentam proporcionalidades das argamassas usadas na confecção dos prismas sem e com reforço respectivamente.

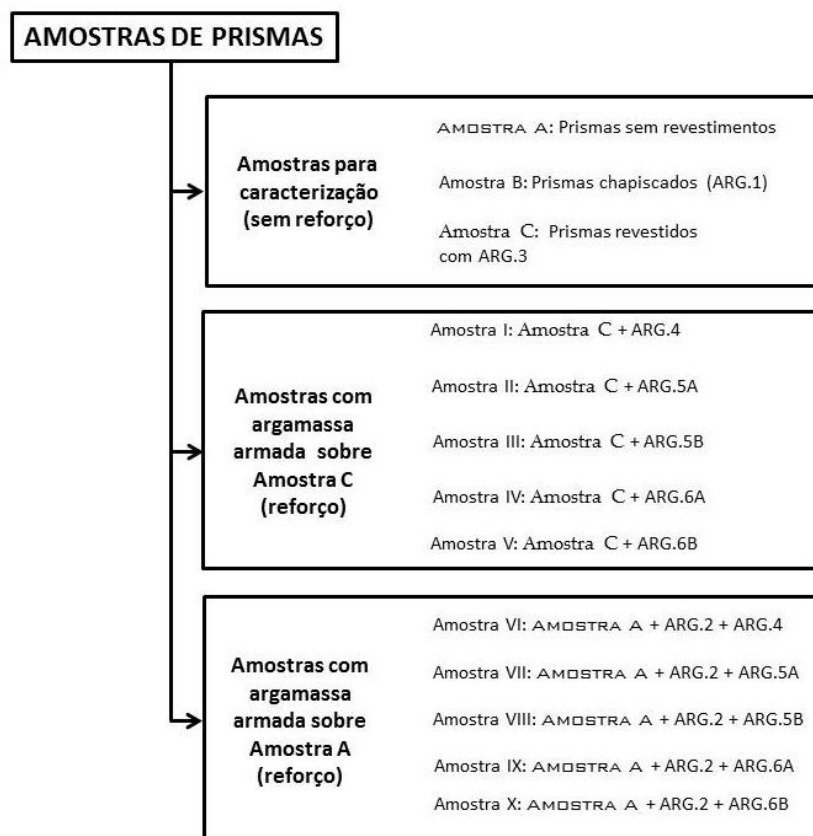


Figura 5.2 - Fluxograma das amostras dos prismas do experimento

Tabela 5.8 – Traços das argamassas comuns utilizadas na confecção dos prismas sem reforço

Proporcionalidades	ARG.1	ARG.2*	ARG.3
Traço em volume	1:4	1:3 (5% de metacaulim em substituição de parte do cimento)	1:2:9
Traço em massa	1:4,86	1:3,82 (0,049)	1:0,88:10,78
Relação água/cimento	2,5	0,8	2,0
Água/materiais secos	0,39	0,16	0,15
Água/aglomerantes	2,5	0,76	1,06
Aglomerantes/agregado	0,19	0,28	0,17

*Chapisco usado em amostras para reforço

Tabela 5.9 – Traços das argamassas utilizadas para reforço dos prismas

Proporções	ARG.4*	ARG.5A	ARG.5B	ARG.6A	ARG.6B
Traço em volume	1:1:6 (sem metacaulim)	1:1:6 (15% de substituição de parte do cimento)	1:1:6 (15% de simples adição)	1:0,5:4,5 (15% de substituição)	1:0,5:4,5 (15% de adição)
Traço em massa	1:0,53:7,88	1:0,59:8,33 (0,11)	1:0,53:7,88 (0,10)	1:0,29:6,21 (0,11)	1:0,26:5,77 (0,10)
Relação água/cimento	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Água/mat. secos	0,16	0,15	0,16	0,19	0,21
Água/aglomerantes	0,98	0,89	0,92	1,07	1,11
Aglomerante/agregado	0,19	0,20	0,21	0,22	0,24

* Argamassa também usada no assentamento

As Tabelas 5.10 (a) e 5.10 (b) mostram características médias das argamassas utilizadas nos prismas.

Tabela 5.10 (a) – Caracterização das argamassas usadas na produção simples dos prismas

Propriedades – Norma	ARG.1	ARG.2	ARG.3
Consistência (mm) - NBR 13276	342	322	251
Densidade de massa (g/cm ³) - NBR 13278	2,42	2,44	2,28
Absorção de água por imersão (%) - NBR 9778	10,71	9,55	15,21
Resistência à compressão (MPa) - NBR 7215 / 13279	12,55	15,01	3,92
Resistência à tração por compressão diametral (MPa) - NBR 7222	1,48	1,75	0,46
Módulo de Elasticidade (GPa) – NBR 8802	16,37	19,76	5,37

Tabela 5.10 (b) – Caracterização das argamassas usadas para reforço dos prismas

Propriedades – Norma	ARG.4	ARG.5A	ARG.5B	ARG.6A	ARG.6B
Consistência (mm) - NBR 13276	217	188	181	213	201
Densidade de massa (g/cm ³) - NBR 13278	2,15	2,26	2,17	2,38	2,38
Absorção de água por imersão (%) - NBR 9778	13,07	12,34	11,66	11,07	10,46
Resistência à compressão (MPa) - NBR 7215 / 13279	7,53	8,70	10,43	13,87	17,57
Resistência à tração por compressão diametral (MPa) - NBR 7222	0,65	0,55	1,03	1,31	2,10
Módulo de Elasticidade (GPa) – 8802	10,22	9,91	12,58	11,99	15,09

5.2 – Método

Foram ensaiados à compressão axial 15 prismas (réplicas) de cada amostra (sem e com reforço) aos 90 (noventa) dias. Essa quantidade adveio do estabelecimento do nível de confiabilidade de 95%, onde para tal, necessitava-se de 12 réplicas. Todos exemplares (prismas) mostraram-se significativos, uma vez que atenderam ao requisito estabelecido pela matriz: [média $\pm$ (3 x SD)] (ARAÚJO NETO, 2006). Ademais, aplicou-se tratamento estatístico com análise de variância das médias das amostras.

Os prismas foram produzidos com 3 unidades para melhor representar a parede (GOMES, 2001).

Para a execução do ensaio de compressão axial dos corpos de prova é necessário que as superfícies onde se apliquem as cargas sejam planas, paralelas e lisas, de modo que o carregamento seja uniforme. Para atingir essas características os prismas foram capeados com pasta de cimento e espessura máxima de 3 mm conforme NBR 15270-3. O processo de capeamento ocorreu sobre placa de compensado revestido com folha de laminado melamínico, sendo aplicado óleo de mamona e jornal, restringindo a aderência, para só então receber a pasta de cimento (1:1 – cimento: água) e posterior o corpo de prova. Para dar celeridade a esse processo, adicionou-se cloreto de cálcio (1:16 – cimento: cloreto de cálcio) na pasta de cimento buscando acelerar a pega, reduzindo o tempo do capeamento a metade em relação à condição normal.

As Figuras 5.3 (a) e (b) apresentam detalhes do processo de capeamento e posterior armazenamento.



Figura 5.3 - (a): Capeamento dos prismas sobre chapa de compensado revestida com laminado melamínico, óleo de mamona e jornal; (b): armazenamento de alguns prismas capeados

Moldaram-se 3 (três) grupos de baterias de prismas, a saber:

- **BATERIA 1:** (prismas sem reforço com a finalidade de caracterização);
 - **BATERIA 2:** (prismas com argamassa armada e metacaulim para reforço sobre substrato com revestimento fraco);
 - **BATERIA 3:** (prismas com argamassa armada e metacaulim para reforço sobre substrato sem revestimento).
- **BATERIA 1: Prismas para caracterização (sem reforço):** apresentados na Tabela 5.11 pelas amostras de “A” até “C”. Esses prismas retratam mais fielmente possível as características das alvenarias dos edifícios “caixão”.

As Figuras 5.4 (a) até (c) mostram uma das faces dos prismas para caracterização sem reforço.

Tabela 5.11 – Elementos para caracterização (sem reforço)

Amostra “A”: Prismas sem revestimentos com argamassa de assentamento, ARG.4: (1:1:6:1,5 - cimento, cal, areia e relação água/cimento)	
Amostra “B”: Amostra “A” + chapisco comum - ARG.1: (1:4:2 - cimento, areia e relação água/cimento)	
Amostra “C”: Amostra “B” + revestimento traço fraco - ARG.3: (1:2:9:2 - cimento, cal, areia e relação água/cimento)	

PRISMA NU

- 01 - Alvenaria com blocos cerâmicos de vedação de 8 furos;
02 - Junta com 1 cm;

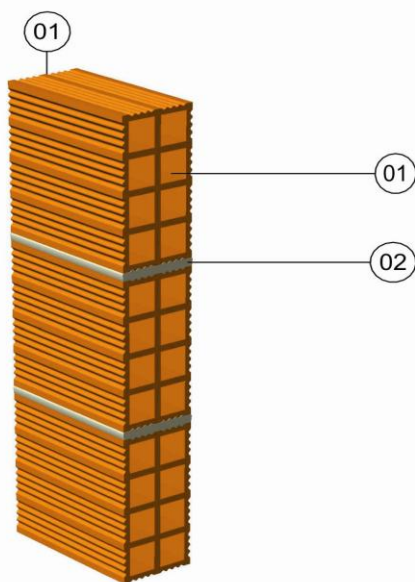


Figura 5.4 (a) – Prisma sem revestimento para caracterização (amostra “A”)

PRISMA COM CHAPISCO

- 01 - Alvenaria com blocos cerâmicos de vedação de 8 furos;
02 - Junta com 1 cm;
03 - Chapisco com 0,5 cm;

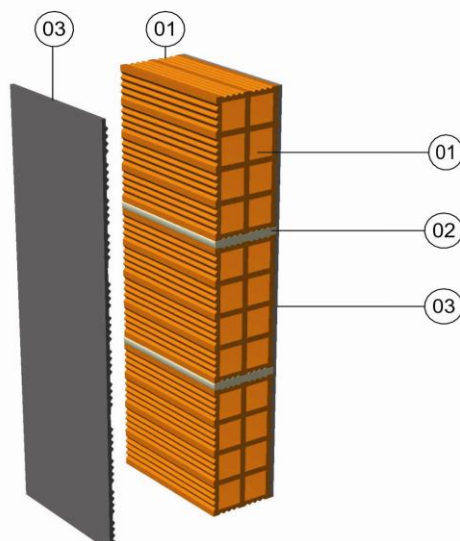


Figura 5.4 (b) – Prisma com chapisco (5 mm de espessura de cada lado) para caracterização (amostra “B”)

PRISMA COM REVESTIMENTO TRAÇO FRACO

- 01 - Alvenaria com blocos cerâmicos de vedação de 8 furos;
- 02 - Junta com 1 cm;
- 03 - Chapisco com 0,5 cm;
- 04 - Revestimento traço fraco com 2 cm.

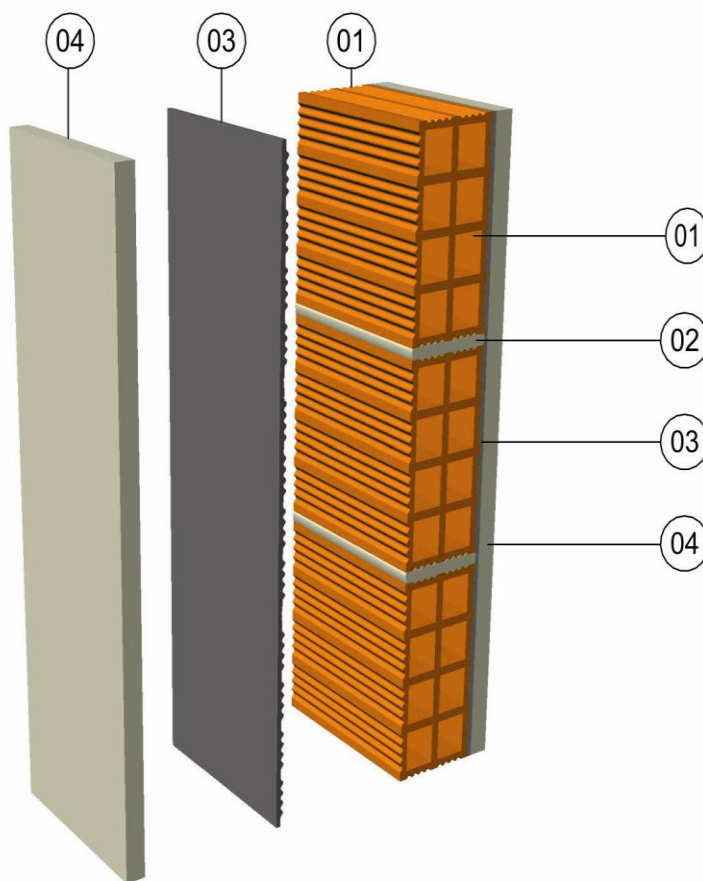


Figura 5.4 (c) – Prisma com revestimento traço fraco (2 cm de espessura de cada lado) para caracterização (amostra C)

► **BATERIA 2: Reforço com argamassa armada sobre prismas com revestimento fraco:** apresentados na Tabela 5.12 pelas amostras de “I” até “V”. A Figura 5.5 apresenta prisma com reforço sobre revestimento fraco.

Tabela 5.12 – Amostras de argamassa armada sobre prismas com revestimento

Argamassa armada para reforço com traço médio (1:1:6:1,5)			Argamassa armada para reforço com traço forte (1:0,5:4,5:1,5)	
Amostra I: Amostra “C” + ARG.4	Amostra II: Amostra “C” + ARG.5A	Amostra III: Amostra “C” + ARG.5B	Amostra IV: a Amostra “C” + ARG.6A	Amostra V: Amostra “C” + ARG.6B

PRISMA COM REFORÇO SOBRE REVESTIMENTO TRAÇO FRACO

- 01 - Alvenaria com blocos cerâmicos de vedação de 8 furos;
 02 - Junta com 1 cm;
 03 - Chapisco com 0,5 cm;
 04 - Revestimento traço fraco com 2 cm;
 05 - Tela de aço;
 06 - Conector de aço;
 07 - Argamassa armada para reforço com 3 cm.

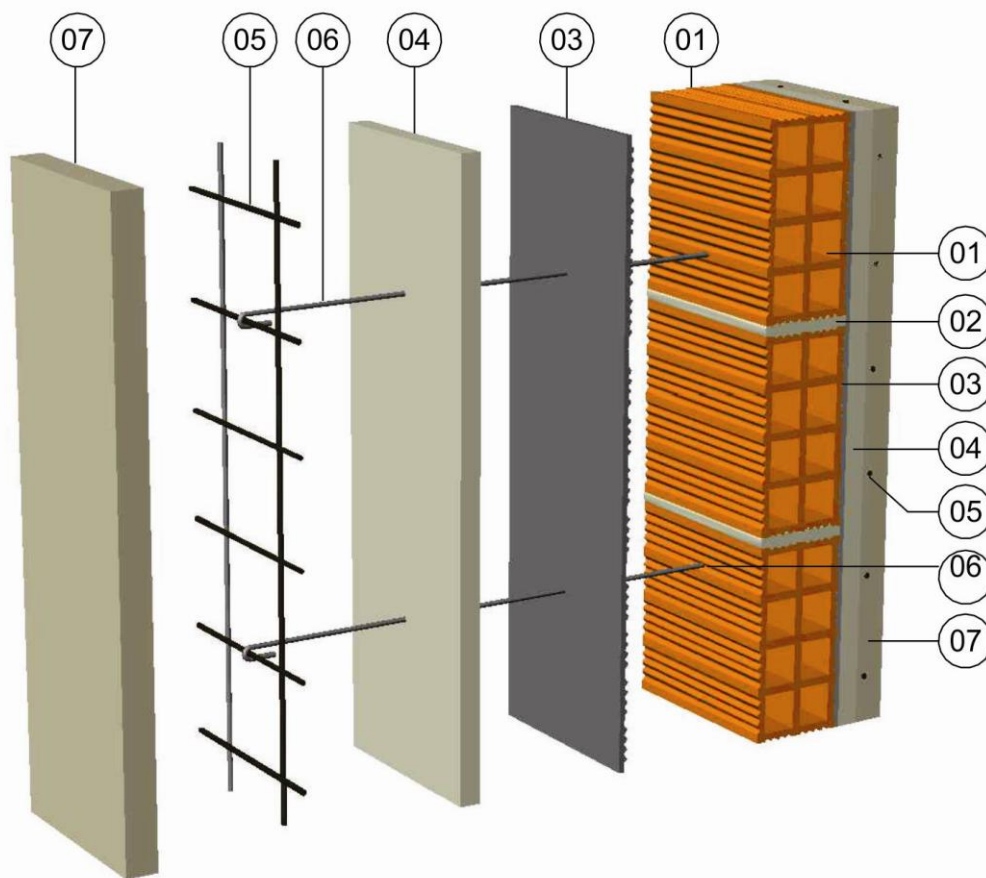


Figura 5.5 – Prisma com reforço de argamassa armada (3 cm de espessura de cada lado) sobre revestimento fraco. Destaca-se a tela que fica posicionada aproximadamente 2,0 cm da superfície

► **BATERIA 3: Reforço com argamassas armadas sobre prismas sem revestimentos:**

apresentados na Tabela 5.13 pelas amostras de “VI” até “X”. Essa condição é justificada, haja vista existirem (poucos) edifícios com alvenaria sem revestimento argamassado, isto é, revestimento em gesso, pintura direta sobre os blocos ou mesmo com os blocos aparente.

A Figura 5.6 mostra argamassa armada para reforço sobre prisma sem revestimento.

Tabela 5.13 – Amostras de argamassa armada sobre prismas sem revestimentos

Argamassa armada para reforço com traço médio (1:1:6:1,5)			Argamassa armada para reforço com traço forte (1:0,5:4,5:1,5)	
Amostra VI: Amostra “A” + ARG.2 + ARG.4	Amostra VII: Amostra “A” + ARG.2 + ARG.5A	Amostra VIII: Amostra “A” + ARG.2 + ARG.5B	Amostra IX: Amostra “A” + ARG.2 + ARG.6A	Amostra X: Amostra “A” + ARG.2 + ARG.6B

PRISMA COM REFORÇO SOBRE SUBSTRATO NU

- 01 - Alvenaria com blocos cerâmicos de vedação de 8 furos;
- 02 - Junta com 1 cm;
- 03 - Chapisco para reforço com 0,5 cm;
- 04 - Tela de aço;
- 05 - Conector de aço;
- 06 - Argamassa armada para reforço com 3 cm.

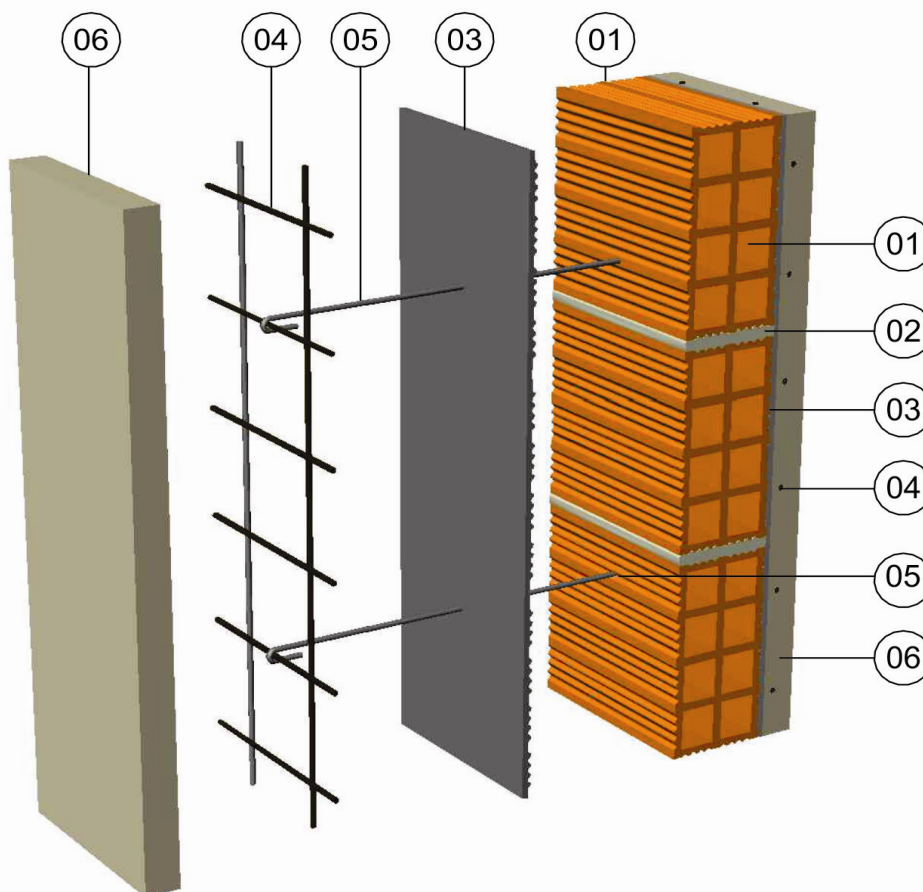


Figura 5.6 – Prisma com reforço de argamassa armada sobre substrato sem revestimento. Chapisco: 5 mm; Revestimento armada 3,0 cm de espessura de cada lado

A argamassa para reforço foi aplicada nas duas faces dos prismas com 30 mm de espessura, contendo tela de aço de Ø 5.0 mm a cada 10 cm nas duas direções, ligadas por 2 conectores de Ø 8.0 em todas as amostras, sendo as telas posicionadas a 10 mm do substrato e 20 mm da face externa, objetivando maior barreira física para armadura, contribuindo com a durabilidade.

Em que pese à taxa de armadura para reforço de alvenaria estrutural ser superior às identificadas na literatura, objetivou-se não comprometer a durabilidade. Então, buscou-se adotar a condição análoga a bitola mínima para estribo ($\varnothing$ 5.0 mm). Adotou-se 3,0 cm de espessura para argamassa armada para reforço devido ser uma espessura que mitiga a ruptura brusca, tendo em vista maior confinamento das deformações laterais excessivas que geram as rupturas dos septos por tração (MOTA, 2006).

Vale relatar que, buscando confirmar o comportamento satisfatório de conectores com diâmetro de $\varnothing$ 5.0, as amostras “IX” e “X” tiveram esta especificação, donde se apresentaram absolutamente intactos após os ensaios. Os conectores com extremidades em formato de gancho (180°) foram confeccionados utilizando equipamento tipo torno mecânico e foram instalados em furos ($> 3\varnothing$) realizados nos prismas empregando furadeira e broca de vídea [Figuras 5.7 (a) e (b)]. Portanto, o diâmetro dos furos foi de tal ordem que instalasse o conector pronto (com as curvas nas extremidades previamente executadas).



(a)

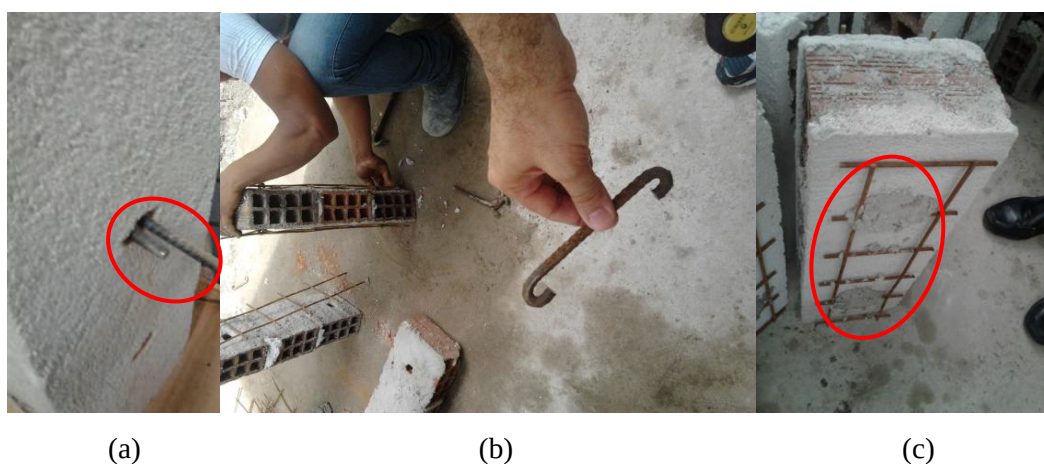
(b)

Figura 5.7 - (a): Furos nos prismas com máquina furadeira para instalação dos conectores; (b): prismas com ajustes de reabertura dos furos para instalações dos conectores e telas sobre prisma com revestimento

Após aplicação dos conectores interligando e fixando as malhas de ferros nas duas faces dos prismas, preencheu-se o vazio remanescente do furo com a própria argamassa do reforço. Os conectores necessariamente tiveram que ter curvatura de 180° , sob pena de abrir durante as solicitações horizontais, implicando, por conseguinte, em deficiência. Este aço

também deve ter medida absoluta para que possa fixar as telas das duas faces em seu curso final, pontuando com arame galvanizado firmemente, pois não poderá ser permitido folga nenhuma entre a tela e o estágio final do conector, na medida em que interfere negativamente se assim não estiver.

As Figuras 5.8 (a) até (c) mostram prismas com revestimento de traço fraco com os furos adequados a instalação do conector (vermelho); conector e telas ligadas aos conectores chumbados (vermelho), pronto para receber a argamassa para reforço.



Figuras 5.8 - (a): Prismas com furo na amostra “C” e instalação de conector para receber o reforço; (b): conector; (c): prismas com conectores chumbados nos furos prontos para receber argamassa para reforço

Concernente à durabilidade, avaliou-se os teores 15% de metacaulim adotado nas argamassas para reforço diante de ensaios prévios, e outro teor intermediário de 8% para balizar e comparar: sem adição; com adição por substituição de parte do cimento e adição (sem retirar parte de cimento). Os ensaios ocorreram com os dois traços estabelecidos para o reforço: [1:1:6:1,5 e 1:0,5:4,5:1,5 - (cimento, cal, areia, relação a/c)].

Portanto, verificou-se a durabilidade em corpos de prova de argamassa, com os ensaios: resistência à compressão (NBR 13279), módulo de elasticidade dinâmico (NBR 15630), absorção de água por imersão (NBR 9778), velocidade de propagação da onda ultrassônica

(NBR 8802), e método acelerado de envelhecimento para avaliação de desempenho: carbonatação (CPC-18, RILEM, 1988) e cloretos solúveis (ASTM C 1152).

A Tabela 5.14 mostra a matriz com as amostras especificadas para os ensaios de durabilidade. Os ensaios ocorreram aos 90 dias, exeto a carbonatação e cloretos, que foram aos 300 dias. Foram moldados doze réplicas por amostras para resistência à compressão, seis para módulo de elasticidade e absorção, e para os ensaios acelerados (carbonatação e cloretos) três réplicas. Esse elevado período ocorreu pela indisponibilidade das câmaras de carbonatação e cloretos, levando em se aguardar a transferência de local (endereço) e reinstalação.

Tabela 5.14 – Amostras estudadas nos ensaios de durabilidade

Traço médio – 1:1:6:1,5	Traço forte – 1:0,5:4,5:1,5
0% Metacaulim	0% Metacaulim
8% Substituição de parte do cimento	8% Substituição de parte do cimento
15% Substituição de parte do cimento	15% Substituição de parte do cimento
8% Adição em relação ao cimento	8% Adição em relação ao cimento
15% Adição em relação ao cimento	15% Adição em relação ao cimento

Os ensaios de resistência à compressão e módulo de elasticidade dinâmico foram executados por retratar a porosidade. A resistência de argamassas e concretos é inversamente proporcional à quantidade de vazios (MEHTA; MONTEIRO, 1994). Adição de pozolana é a mais eficaz forma de incremento à durabilidade, visto que promove refinamentos dos poros, estabelecendo barreiras físicas e químicas necessárias (NEVILLE, 1997).

Embasada nas NBR 15630; 8802, pode-se calcular o módulo de elasticidade dinâmico com ensaio de ultrassom através da equação:

$$E_d = v^2 \rho [(1 + \mu)(1 - 2\mu)] / (1 - \mu)$$

Em que: E_d - módulo de elasticidade dinâmico;

V - velocidade de propagação da onda (mm/ μ s);

ρ - densidade de massa aparente (kg/m³);

μ - relação de Poisson, este valor foi presumido constante para os diferentes tipos de argamassas, e igual a 0,20.

Realizou-se ensaio de carbonatação com os corpos de prova de argamassas submetidos ao ataque de CO₂ em câmara de carbonatação com umidade, temperatura e concentração de CO₂ em torno de (66 +/- 5)%; (25 +/- 3) °C e (10 +/- 2)% respectivamente. Para determinação da frente de carbonatação seguiu-se o procedimento CPC – 18, *Measurement of hardened concrete carbonation depth*, (RILEM, 1988). Verificou-se as profundidades de carbonatação de forma visual, após aspersão da solução de fenolftaleína sobre a superfície recém cortada com disco e máquina apropriada.

A solução continha 1% de fenolftaleína, 70% de álcool etílico e 29% de água destilada, com pH teórico de 9,5 a 25 °C. Realizou-se ensaio de carbonatação nas condições ao tempo e em câmara apropriada. Avaliaram-se três exemplares por amostra nas seguintes condições: condição (a): maturação em laboratório (1 mês), acrescido de 9 meses em sala de escritório fechada constantemente, totalizando 10 meses; condição (b): condição (a) acrescido de maturação em 24 horas de exposição em câmara de carbonatação; condição (c): condição (b) acrescido de 72 de exposição em câmara. Todas as leituras foram realizadas diante da aspersão de fenolftaleína, ficando vermelho carmim a argamassa não carbonatada e incolor carbonatada. Amostras de argamassa foram submetidas à câmara de cloretos por 192 horas. A umidade, temperatura e concentração de cloretos (teor em relação à água destilada) ficaram em torno de (95 +/- 4)%; (55 +/- 5) °C e teor de cloreto (5)%

respectivamente. Essa operação teve injeção de pressão (1 bar) de ar comprimido para formação de *salt spray*.

Utilizou-se cloreto PA (pro análise - puro) e água destilada na câmara. Esse período foi estimado tomando-se por base tempo especificado pelo fabricante para outros materiais e pela alta relação água/cimento e porosidade das argamassas quando comparado com concretos. Após a retirada, utilizou-se em três exemplares por amostra nitrato prata (1,7 g/100 ml de água deionizada) para verificar presença de cloretos livres, sendo identificada uma cor escurecida indicativa de presença de cloretos (Figura 5.9). Posteriormente, efetuou-se coleta de pó em quantidade de 50 g com profundidade aproximada entre 1,5 cm e 2 cm em cada amostra, região das armaduras dos prismas reforçados. Esse material foi levado ao laboratório específico para determinação de cloretos solúveis (ASTM C 1152).



Figura 5.9 – Corpos de prova no ensaio posterior a câmara de cloretos com nitrato de prata

A Tabela 5.15 apresenta dentro dos três pilares do reforço (capacidade de suporte, ductilidade e durabilidade) resumo dos ensaios, número de exemplares e idade.

Tabela 5.15 – Resumo dos ensaios do reforço: compressão, ductilidade e durabilidade

Avaliação	Ensaio	Amostras	Réplicas por amostra	Idade (dias)
Capacidade de suporte	Resistência à compressão axial	I até X	15	90
Ductilidade*	Porcentagem de deformação plástica	A, C, V e X	15	90
	Tenacidade	A, C, V e X	15	90
Durabilidade**	Resistência à compressão	8% e 15%	12	90
	Módulo de elasticidade	sem e com	6	90
	Velocidade da onda ultrassônica	adição	6	90
	Absorção	(substituição	6	90
	Carbonatação	e adição	3	300
	Cloretos	simples)	3	300

* V e X maiores amostras com reforço; ** dois traços e duas formas de adição

5.3 – Aspectos gerais dos ensaios

Aspectos necessários para se estabelecer uma melhor compreensão acerca dos ensaios propostos, são discurridos a seguir:

- Todos os blocos cerâmicos foram adquiridos em um armazém próximo ao local dos ensaios. Dessa maneira, se tinha elementos aleatórios, tal como se pretendia, tendo em vista ser essa a forma natural que se adquiria nas construções tipo “caixão”. Assim, também foi realizada a compra da areia. O cimento, cal e o metacaulim foram adquiridos em fornecedores específicos;
- Os ensaios com os prismas com pressão axial e argamassas foram realizados na empresa Tecomat Tecnologia da Construção e Materiais Ltda (empresa da Região é acreditada pelo Inmetro). O equipamento de ultrassom usado foi da Universidade Católica de Pernambuco.

Ensaio de caracterização dos materiais e das argamassas foram realizados no LEC da UNIFAVIP Centro Universidade do Vale do Ipojuca.

As Figuras 5.10 (a e b), 5.11 e 5.12 apresentam respectivamente a sala (cabine) com as prensas, a prensa, aspectos da carbonatação e a câmara de névoa salina (cloretos);

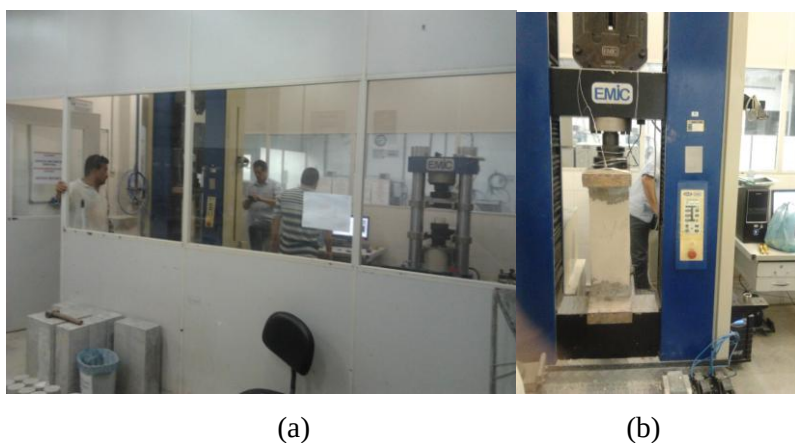


Figura 5.10 - (a): Cabine climatizada da prensa (resistência à compressão dos prismas); (b): prensa utilizada

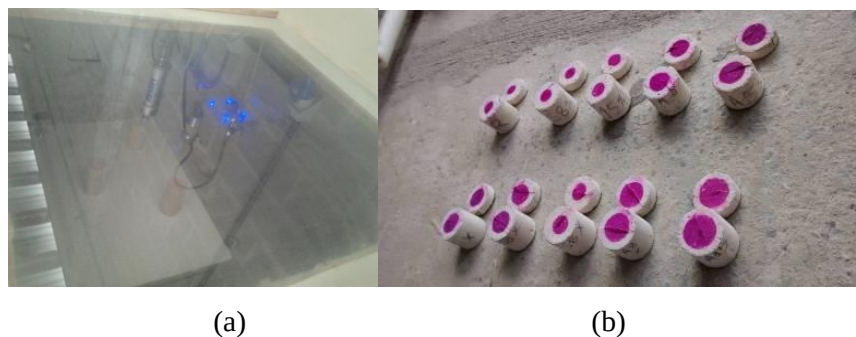


Figura 5.11 - (a): Câmara de carbonatação; (b): corpos de prova depois de retirada da câmara de carbonatação com aspersão da solução de fenolftaleína, condição (c)



Figura 5.12 – Câmara de névoa salina

- a mão de obra de toda produção dos prismas foi realizada por dois profissionais pedreiros e um ajudante prático, sendo o espaço físico uma das instalações da empresa Tecomat (Figura 5.13). Esse ambiente foi definido segundo a melhor condição de espaço suficiente para os trabalhos e a maior proximidade possível do galpão em que se encontrava a prensa, uma vez que o transporte tem uma importância fundamental e é determinante para que se retrate a realidade dos prismas produzidos. A homogeneização das argamassas atendeu o item 7.3.1.2 da NBR 7200;



Figura 5.13 – Setor posterior da área destinada à confecção dos prismas, e instalação das armaduras dos prismas

- a Figura 5.14 mostra edificação com alvenaria resistente situado na Região Oeste de Recife (registro fotográfico de 2013). Na visita casual na época, o responsável técnico da reforma da obra informou que o prédio passava por serviços de pintura. Portanto, a bateria 3 é justificada;



Figura 5.14 – Prédio com alvenaria resistente sem revestimento

- foram utilizadas formas de madeira e réguas de alumínio para servirem de gabarito, facilitando a aplicação do revestimento (NBR 7200) simples e das argamassas para reforço nos prismas (Figura 5.15). As argamassas foram aplicadas após três dias do chapisco aplicado;



Figura 5.15 – Formas e gabarito de madeira com régua de alumínio sendo usadas na aplicação das argamassas para reforço dos prismas

- a cura dos prismas reforçados foi realizada em ambiente abrigado e protegido das chuvas. A temperatura média no período da fabricação dos prismas e cura foi de 25,6 °C (média das máximas diárias de 27,9 °C e médias das mínimas diárias de 23,3 °C), a média da umidade relativa do ar foi de 81,5% (médias das máximas de 91% e médias das mínimas de 72%) e

a velocidade média dos ventos foi de 12,6 km/h, conforme o Instituto Nacional de Meteorologia - INMET;

- montou-se um plano cuidadoso para o transporte dos prismas, objetivando não gerar nenhuma avaria aos mesmos, evitando assim distorções nos resultados. O transporte do local da fabricação para o laboratório foi aproximadamente 190 m. Seguiram-se os prescritos na NBR 15961/NBR 15270, sendo o transporte feito em veículo, com velocidade muito baixa (Figura 5.16). Os prismas só eram transportados na posição vertical, conforme situação real das paredes. Só após os ensaios é que poderia transportá-los para o ambiente de descarte em posições quaisquer;



Figura 5.16 – Transporte dos prismas no percurso externo por veículo do local da produção para o laboratório em período muito chuvoso (1 quadra)

- todo ensaio de ruptura dos prismas foi amplamente fotografado e filmado. Diversos registros atenderam ao planejamento no que se referem à dinâmica do ensaio, tais como: - condição prévia do corpo de prova; - aspectos peculiares durante a ruptura; - forma de ruptura das réplicas; - contribuição em serviço da armadura; - comportamento do prisma com reforço submetido à deformação excedente entre 10 a 15 cm após a prensa travar pelo término do ensaio, dentre outros;

- a prensa utilizada nos ensaios dos prismas tem características conforme o certificado emitido pelo laboratório de calibração (Emic-Dcame – número: 721/13) acreditado pela Cgcre de acordo com a ABNT NBR ISO/IEC 17025, sob número 197.

- as câmaras de carbonatação e névoa salina (cloretos) possuem as seguintes características:

- câmara de carbonatação: câmara com construção própria, possuindo madeira MDF revestida com compensado, de tal forma que permite realizar ensaios de carbonatação acelerada com misturas de CO₂ de 0% a 100%. Essa mistura é realizada no interior da câmara com a injeção e circulação forçada de ar e gás CO₂, com auxílio de ventiladores tipo cooler;

- câmara de névoa salina: modelos Bass USC 01, construída pela Bass equipamentos, indicada para ensaios de névoa salina (salt spray), umidade e corrodokote, construída em fiberglas.

CAPÍTULO 6

6.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Apresentar-se-ão nesse capítulo discussões dos ensaios realizados com o cunho de caracterizar e apresentar aspectos concernentes ao modelo de reforço proposto para alvenaria resistente, avaliando a capacidade de suporte, ductilidade e durabilidade.

Serão apresentadas fotos dos ensaios com prismas reforçados com argamassa armada, onde, após o ensaio concluído e com o equipamento travado, observava-se em todos os corpos de prova um estado praticamente íntegro (condição dúctil), sem avarias (raros septos rompidos e poucas fissuras no revestimento argamassado). Por conta da ausência de avarias, buscou-se verificar a condição de desmoronamento com deslocamento adicional de aproximadamente 12 cm, o que não foi observado, pois ocorreu uma espécie de entulhamento/empacotamento.

Objetivando análise mais consistente para os ensaios com o reforço proposto, argamassa armada e metacaulim impuseram-se tratamento estatístico entre as médias das amostras com análise de variância. Obtidos os dados, foi possível saber a significância estatística, na medida em que uma variação de médias das amostras pode ser consequência da variação amostral ou é uma boa evidência da diferença entre as médias das populações. Utilizou-se a ferramenta oferecida pela Microsoft Office Excel.

Por fim, efetuou-se análise comparativa, a saber: (a) capacidade de suporte das paredes, sem e com reforço nos prismas; (b) avaliação das deformações entre paredes sem reforço (sem revestimento e revestimento fraco) e as maiores amostras reforçadas; (c) avaliação acerca das propriedades relacionadas com a durabilidade das argamassas utilizadas no reforço.

6.1 – Comentários acerca da resistência à compressão dos prismas ensaiados

6.1.1 – Prismas SEM REFORÇO para caracterização - (**BATERIA 1** com amostras: “A” – sem revestimento; “B” – chapiscado; “C” – com revestimento fraco)

A “bateria 1” foi chamada de bateria para caracterização, pois são prismas sem reforço, são prismas de referência similares as alvenarias dos prédios “caixão”.

A Tabela 6.1 apresenta resultados da capacidade de suporte média dos prismas ensaiados sem reforço, desvio padrão e coeficiente de variação. A resistência média à compressão dos blocos cerâmicos foi de 2,38 MPa, média da carga 4.153 kgf. e média da área da base 167,73 cm².

O fator de eficiência foi 0,79 (relação da resistência do prisma e do bloco). A Figura 6.1 mostra o gráfico ilustrando esquematicamente com resultados médios na força de compressão dos prismas sem reforço e a linha de tendência linear crescente.

Tabela 6.1 – Resultados da compressão axial dos prismas para caracterização (sem reforço)

Prismas	Resultados médios aos 90 dias: (Força – kgf. / SD - kgf. / CV - %) / Tensão – MPa
Amostra “A” - Prismas sem revestimentos (nus)	3.310 / 1.025 / 31 / 1,9
Amostra “B” – Prismas com chapisco	4.615 / 1.271 / 28 / 2,4
Amostra “C” - Prismas com argamassa traço fraco	7.068 / 1.737 / 25 / 2,7

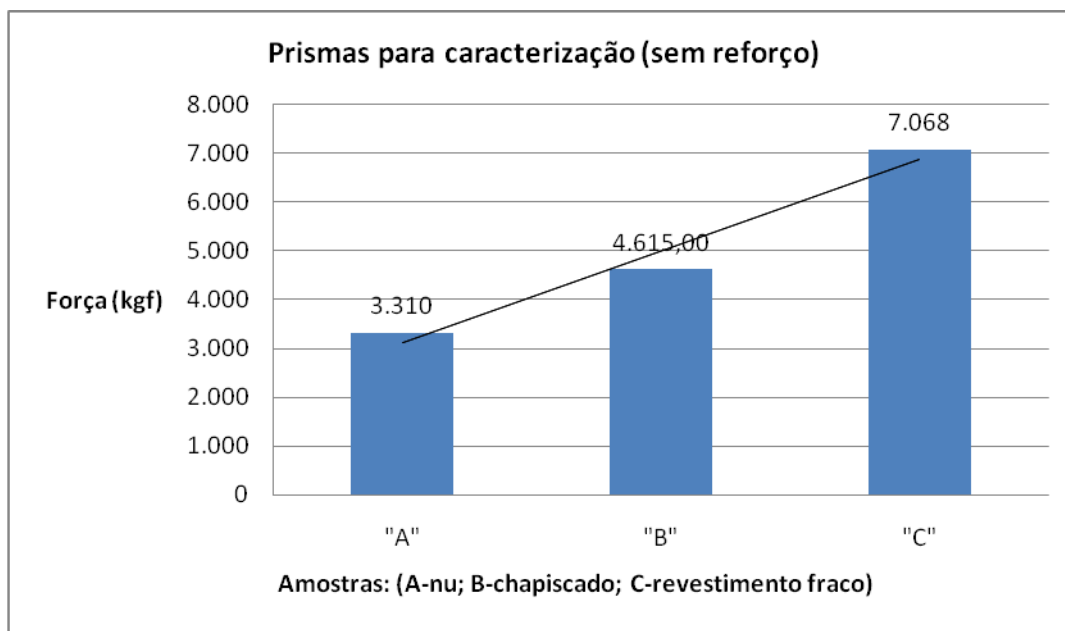


Figura 6.1 – Força média na ruptura das amostras com os prismas para caracterização (sem reforço) e a tendência linear crescente

A Figura 6.2 apresenta incremento das amostras "B" e "C" em relação à amostra "A" (%).

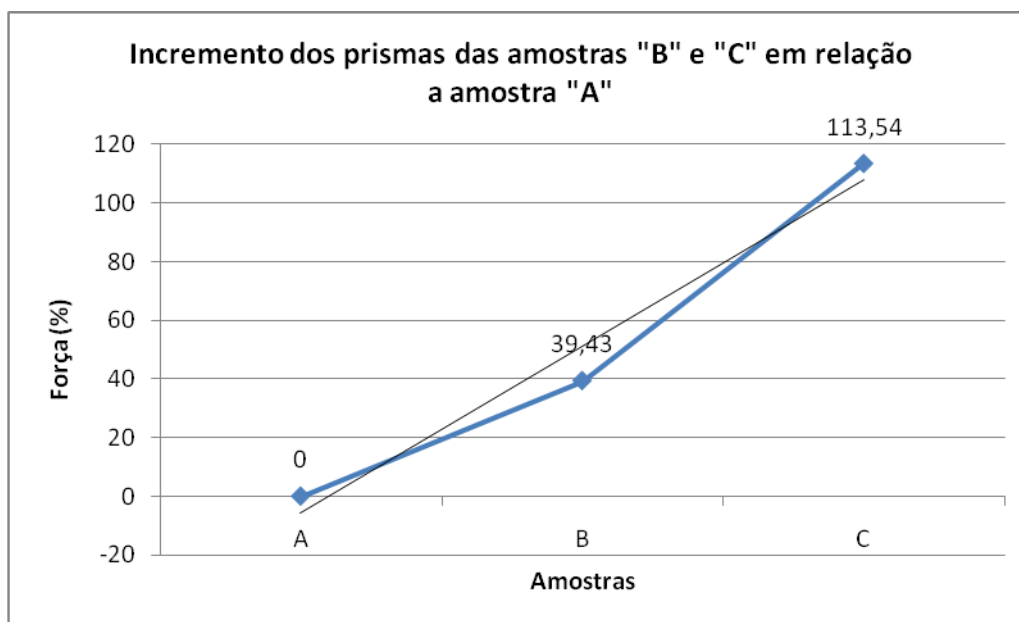


Figura 6.2 – Incremento na compressão das amostras "B" e "C" em relação à amostra "A" e a tendência linear crescente

Verifica-se influência positiva do chapisco, tendo em vista incremento de mais de 39% da resistência à compressão em relação aos prismas sem revestimentos. A amostra com argamassa traço fraco elevou a resistência em relação aos prismas chapiscados 53% e em relação aos prismas sem revestimentos 113%.

6.1.2 – Prismas COM REFORÇO em argamassa armada e adição SOBRE SUBSTRATO COM REVESTIMENTO TRAÇO FRACO (BATERIA 2 com amostras: “I, II, III, IV e V”)

6.1.2.1 – Análise na média com todos os valores numéricos

A Tabela 6.2 mostra os resultados médios numéricos (sem tratamento estatístico com ANOVA) da compressão axial dos prismas reforçados, desvio padrão e coeficiente de variação.

A Figura 6.3 apresenta o gráfico ilustrando os resultados médios na força compressiva na ruptura dos prismas sem reforço (amostra C) e reforçados com argamassa armada e adição sobre amostra C, bem como a linha crescente móvel dos dois períodos (traços: médio e forte). A Figura 6.4 mostra um gráfico com os incrementos compressivos das amostras da “bateria 2” em relação à amostra “C”.

Tabela 6.2 – Compressão axial dos prismas da bateria 2

Resultados médios aos 90 dias (força – kgf. / SD - kgf. / CV - %)				
Argamassa armada para reforço com traço médio (1:1:6:1,5)			Argamassa armada para reforço com traço forte (1:0,5:4,5:1,5)	
Amostra I (0% de metacaulim)	Amostra II (15% por substituição)	Amostra III (15% por simples adição)	Amostra IV (15% por substituição)	Amostra V (15% por adição)
11.150 / 3.123 / 28	10.510 / 2.814 / 27	12.400 / 2.338 / 19	13.300 / 2.578 / 19	14.790 / 2.468 / 17

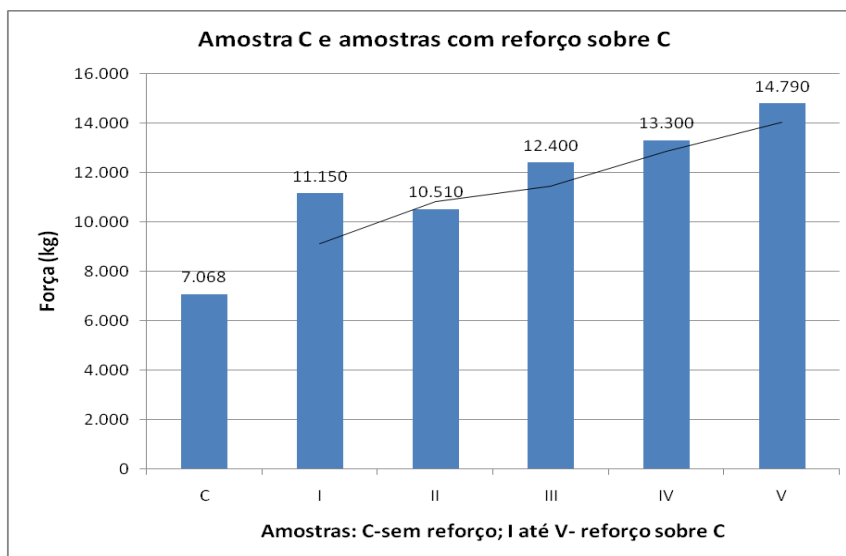


Figura 6.3 – Força média na ruptura da amostra “C” e das amostras com os prismas reforçados com argamassa armada e adição sobre “C” (substrato revestido com argamassa fraca), e a tendência média móvel dos dois períodos

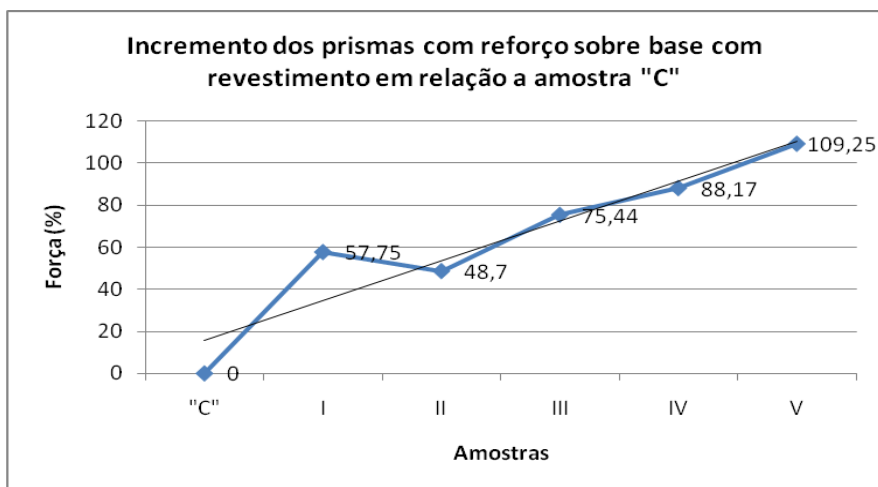


Figura 6.4 – Incremento na força compressiva das amostras com reforço (bateria 2) em relação a (amostra “C”) e a tendência linear crescente

As amostras da “bateria 2” apresentam a contribuição da argamassa armada e metacaulim, visto aumento da resistência axial em relação a prismas com revestimento de argamassa fraca sem reforço (amostra “C”). Os incrementos no suporte verificados nos prismas com as amostras de argamassa armada e metacaulim no traço médio (I – sem adição; II – adição em substituição de parte do cimento; III - adição) em relação à amostra “C” foram de 57%,

48% e 75% respectivamente. Entretanto, quando se compara a amostra sem reforço “C” com amostras reforçadas com argamassa armada no traço forte (IV – por substituição de parte do cimento; V – adição), verificou-se elevação da capacidade compressiva 88% e 109% respectivamente. Então, numericamente na média da força, o traço forte governa no suporte de carga, tendo a amostra com adição (sem retirada de parte do cimento) de metacaulim maior resultado.

Identifica-se numericamente que, amostras para reforço com adição de pozolana metacaulim (III e V) têm maiores resultados médios de suporte quando comparados com amostras com substituição de parte do cimento (II e IV), caracterizando que para essa bateria a forma de se adicionar sem substituir parte do cimento é mais substancial. A amostra (II) não superou numericamente nem a amostra com 0% de metacaulim (I), ratificando a relevante ação do cimento. A Figura 6.5 mostra o gráfico com todos exemplares (prismas) da bateria 2. Nessa conjuntura, busca-se estabelecer contorno geral (área delimitada) concernente à curva e faixa de novo desvio padrão considerando todos os prismas ensaiados dessa bateria.

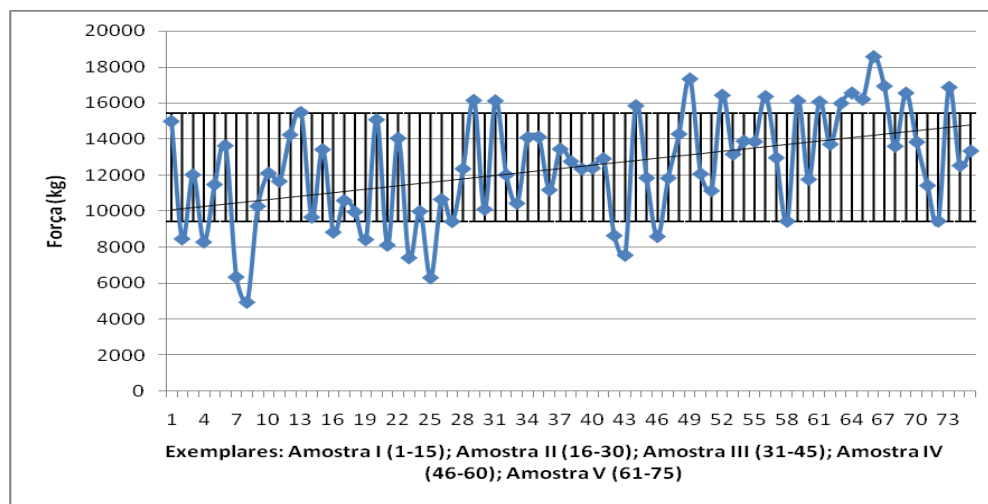


Figura 6.5 – Força na ruptura de todos os prismas das amostras da bateria 2 e a tendência linear crescente em área delimitada, com nova média e novo desvio padrão (média_{geral} = 12.429 kgf., SD_{geral} = 3.026 kgf. e CV = 24%)

A Figura 6.5 mostra uma tendência linear ascendente quando se avalia todos exemplares de todas as amostras da bateria 2, ou seja, desde a amostra sem adição (I) no traço médio, até a amostra com adição de metacaulim (V) no traço forte. Observa-se que 15% das amostras com traço médio (I, II e III) estão abaixo da área delimitada (média, mais ou menos o desvio padrão considerando todas as amostras da bateria 2) e 4% acima da área delimitada. Das amostras com o traço forte (IV e V) 16% estão posicionadas acima dessa área delimitada e nenhuma abaixo, indicando que as amostras com traço forte apresentam maior eficácia numérica como modelo de reforço.

6.1.2.2 – Análise de variância (BATERIA 2)

Fazendo tratamento estatístico acerca das amostras da bateria 2 para índice de confiabilidade de 95%, compilaram-se as médias de todas as amostras da bateria 2 (ANOVA). Como exemplo apresenta-se análise das duas amostras reforçadas com valores numéricos superiores (IV e V – traço forte) através da ANOVA, onde as médias das amostras não são significativamente diferentes entre si, uma vez que $F_o = 2,631$ é menor que o valor crítico $F_c = 4,196$ (Tabela 6.3)

Tabela 6.3 – ANOVA das médias das amostras (IV e V)

ANOVA						
<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>GL</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>Valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	16752224	1	16752224	2,631122	0,115996	4,195972
Dentro dos grupos	1,78E+08	28	6366952			
Total	1,95E+08	29				

Portanto, similar a esta forma foram feitas análise de variância entre todas as médias da bateria 2, com o objetivo de estabelecer um resumo (Tabela 6.4) para interpretar a influência da metacaulim diante dos traços e das formas de adição.

Tabela 6.4 – Resumo das análises da ANOVA das médias das resistências à compressão dos prismas da bateria 2

Amostras avaliadas (médias - kgf.)	<i>F – F crit.</i>	Resultado da ANOVA das médias	Considerações
I (11.150,00) e II (10.510,00)	0,344994 - 4,195972	Amostras não são significativamente diferentes entre si	Adição de metacaulim por substituição de parte do cimento, não contribuiu no suporte no traço médio
I (11.150,00) e III (12.400,00)	1,533425 - 4,19597	Não significativo	Adição de metacaulim, não contribuiu no suporte no traço médio
I (11.150,00) e IV (13.300,00)	4,236001 - 4,19597	Significativo a diferença	O traço forte com adição de metacaulim por substituição de parte do cimento elevou o patamar de suporte
I (11.150,00) e V (14.700,00)	12,59087 - 4,19597	Significativamente diferente	O traço forte com adição de metacaulim elevou substancialmente o patamar de suporte
II (10.510,00) e III (12.400,00)	3,980897 - 4,19597	Não significativo	No traço médio, não houve diferença entre adição de metacaulim por substituição de parte do cimento e adição simples
IV (13.300,00) e V (14.700,00)	2,631122 - 4,195972	Não significativo	No traço forte, não houve diferença entre adição de metacaulim por substituição de parte do cimento e adição
II (10.510,00) e IV (13.300,00)	8,013759 - 4,19597	Significativamente diferente	Na adição de metacaulim por substituição de parte de cimento, o traço forte sobressaiu
III (12.400,00) e V (14.700,00)	7,469678 - 4,19597	Significativamente diferente	Com simples adição de metacaulim, o traço forte sobressaiu

Portanto, verifica-se na bateria 2 que o traço forte, independentemente da forma de adição de metacaulim apresentou maior capacidade de suporte estatisticamente (ANOVA). Entretanto, todas as amostras com traço médio não apresentaram significativa diferença.

6.1.3 – Prismas com argamassa armada e adição para reforço SOBRE SUBSTRATO SEM REVESTIMENTO (BATERIA 3 – amostras: VI, VII, VIII, IX e X)

6.1.3.1 – Análise de todos os valores numéricos (BATERIA 3)

A Tabela 6.5 apresenta resultados numericamente médios (sem tratamento estatístico) da capacidade de carga dos prismas reforçados, desvio padrão e coeficiente de variação. A Figura 6.6 mostra esquematicamente às médias numéricas dos resultados da força compressiva na ruptura da amostra A (sem reforço) e amostras com reforço sobre A, e a crescente linha de tendência média móvel dos dois períodos (traços: médio e forte).

Tabela 6.5.– Resultados médios da resistência à compressão axial de prismas com argamassa armada e metacaulim para reforço sobre substrato sem revestimento
Resultados médios aos 90 dias: (força – kgf. / SD - kgf. / CV -%)

Argamassa armada e metacaulim para reforço com traço médio (1:1:6:1,5)			Argamassa armada e metacaulim para reforço com traço forte (1:0,5:4,5:1,5)	
Amostra VI (0% de metacaulim)	Amostra VII (15% por substituição)	Amostra VIII (15% como adição)	Amostra IX (15% por substituição)	Amostra X (15% como adição)
9.157 / 1.673 / 18	7.258 / 2.113 / 29	10.100 / 2.183 / 22	8.478 / 1.628 / 19	11.950 / 2.670 / 22

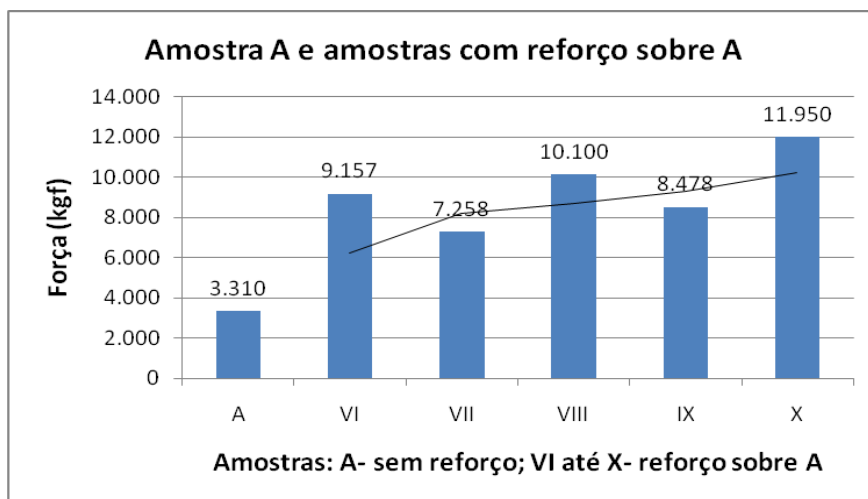


Figura 6.6 – Força compressiva média da amostra “A” e das amostras dos prismas reforçados sobre “A” (bateria 3), e a tendência média móvel dos dois períodos

As amostras da “bateria 3” apresentam-se reforço eficaz devido incremento numérico (%) da resistência à compressão média em relação aos prismas sem reforço da amostra “A” (Figura 6.7).

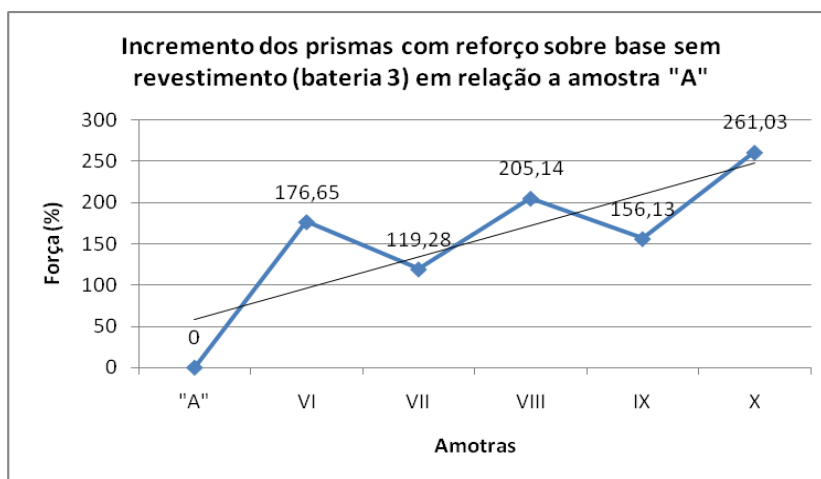


Figura 6.7 – Incremento na força das amostras com reforço da bateria 3 em relação à amostra “A” e a tendência linear ascendente

Verifica-se que substituição de parte do cimento, para capacidade de suporte dos prismas, apresenta desempenho inferior aos prismas com adição de metacaulim nos dois traços estudados. A amostra com substituição de parte do cimento, não superou sequer a amostra

sem adição no traço médio, mostrando a importância do cimento na condição de resistência compressiva dos prismas.

O incremento na carga média devido reforço das amostras da bateria 3 em relação aos prismas sem reforço da amostra “A” foram: (i) no traço médio VI (sem adição), VII (substituição de parte do cimento) e VIII (adição) 177%, 119% e 205% respectivamente; (ii) no traço forte IX (por substituição de parte do cimento), X (adição) 156% e 261% respectivamente.

Verifica-se numericamente que independente do traço, amostras com adição simples de metacaulim contribuíram sobremaneira no suporte de carga. Amostras com substituição de parte do cimento, não apresentou condição favorável na resistência independente do traço, ficando as amostras com essa característica (VIII e IX) aquém da amostra VI (traço médio sem adição). A Figura 6.8 mostra o gráfico com todos os exemplares (prismas) da bateria 3, onde, objetivou-se apresentar uma curva com novo desvio padrão e tendência linear.

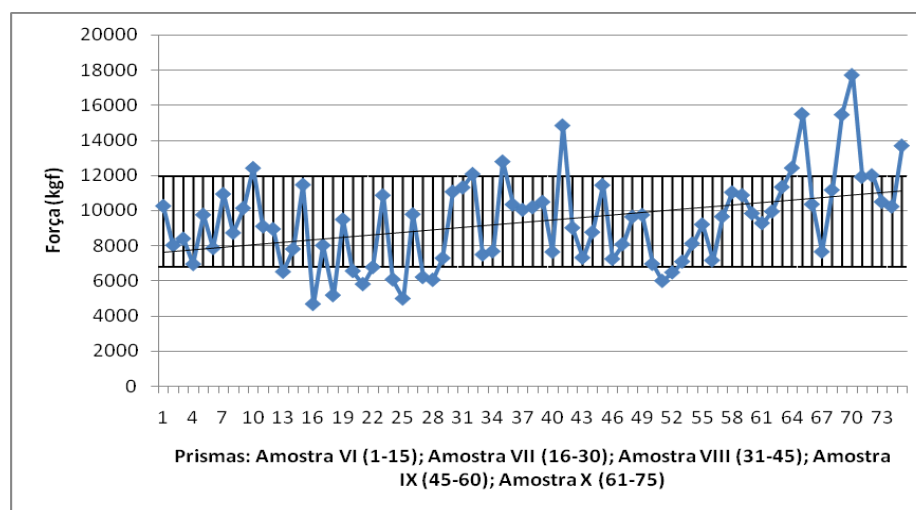


Figura 6.8 – Força de todos os prismas das amostras da bateria 3 e a tendência linear crescente da amostra (VI) até a (X). A área delimitada é do novo desvio padrão geral considerando todos exemplares ($m_{\text{geral}} = 9.389 \text{ kgf.}$, $SD_{\text{geral}} = 2.580 \text{ kgf.}$ e $CV = 27\%$)

Observa-se desvio padrão geral considerando todas as réplicas das amostras da bateria 3, onde nas amostras do traço médio (VI, VII e VIII) 13% estão posicionados abaixo da área delimitada do novo desvio padrão geral e 1% acima. Em relação ao traço forte (IX e X), 3% estão posicionados abaixo e 8% acima (todas da amostra X), indicando certa homogeneidade por conta de alto percentual na área do novo desvio.

6.1.3.2 – Análise de variância (BATERIA 3)

Aplicou-se tratamento estatístico através da ANOVA, com o cunho de verificar as relações entre todas as médias das amostras de reforço da bateria 3 para confiabilidade de 95%, sendo observada significativa a evidência da diferença entre as populações, ou não significativa por não se poder afirmar que as amostras sejam distintas. Mesmo fazendo a análise de variância de todas as médias, apresenta-se como exemplo as duas amostras com maiores resultados, amostras VIII e X (Tabela 6.6). Verificou-se que estas amostras são significativamente distintas, pois F crítico é menor que F .

Tabela 6.6 – ANOVA para amostras - VIII e X

ANOVA						
<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	25683552	1	25683552	4,318984	0,04697	4,19597
Dentro dos grupos	1,67E+08	28	5946665			
Total	1,92E+08	29				

Portanto, objetivando estabelecer um resumo acerca de toda análise estatística da bateria 3 através da ANOVA, criou-se a Tabela 6.7 para interpretar melhor as relações entre os traços médio e forte, averiguando a eficácia da influência da forma da adição do metacaulim.

Tabela 6.7 – Resumo da ANOVA das médias da resistência compressiva dos prismas da bateria 3

Amostras avaliadas (médias - kgf.)	<i>F - Fcrit.</i>	Resultado da ANOVA das médias	Observação
VI (9.157,00) e VII (7.258,00)	7,450361 - 4,19597	Amostras são significativamente diferentes entre si	O cimento governa frente adição de metacaulim por substituição de parte do cimento no traço médio
VI (9.157,00) e VIII (10.100,00)	1,762556 - 4,19597	Não significativo	Adição de metacaulim não contribuiu no suporte no traço médio
VI (9.157,00) e IX (8.478,00)	1,268659 - 4,19597	Não significativo	O traço forte com adição de metacaulim por substituição de parte do cimento, não elevou o patamar de suporte
VI (9.157,00) e X (11.950,00)	11,78591 - 4,19597	Significativamente diferente	O traço forte com adição de metacaulim elevou o patamar de suporte
VII (7.258,00) e VIII (10.100,00)	13,13006 - 4,19597	Significativamente diferente	No traço médio, adição de metacaulim sobressaiu frente amostra por substituição de parte do cimento
IX (8.478,00) e X (11.950,00)	18,48997 - 4,195972	Significativamente diferente	No traço forte, adição de metacaulim sobressaiu diante da amostra por substituição de parte do cimento
VII (7.258,00) e IX (8.478,00)	3,141891 - 4,19597	Não significativo	Amostras com adição de metacaulim por substituição de parte do cimento, não apresentaram diferença em ambos os traços
VIII (10.100,00) e X (11.950,00)	4,318984 - 4,19597	Significativo a diferença	Na adição de metacaulim, o traço forte elevou o patamar de suporte

Portanto, verifica-se na bateria 3 que o traço forte com adição de metacaulim apresenta maior capacidade de suporte estatisticamente e numericamente. A Tabela 6.8 apresenta uma síntese da performance de todas as amostras dos prismas reforçados com argamassa

armada e adição (bateria 2 e bateria 3) em relação à resistência compressiva axial, classificando em maior comportamento e menor comportamento, levando-se em conta análise estatística e numérica.

Tabela 6.8 – Resultados com maior e menor desempenho considerando todas as amostras reforçadas com argamassa armada e adição (bateria 2 e bateria 3)

CLASSIFICAÇÃO	AMOSTRAS	
	Bateria 2 (sobre base revestida)	Bateria 3 (sobre base sem revestimento)
MAIOR DESEMPENHO (numérico)	“V” (traço forte – por adição - 14.790 kgf.)	“X” (traço forte – por adição - 11.950 kgf.)
MAIOR DESEMPENHO (estatístico - ANOVA)	“IV” (traço forte – por substituição de parte do cimento - 13.300 kgf.) e “V”	“X”
MENOR DESEMPENHO (numérico)	“II” (traço médio – por substituição de parte do cimento - 10.510 kgf.)	“VII” (traço médio – por substituição de parte do cimento - 7.258 kgf.)
MENOR DESEMPENHO (estatístico - ANOVA)	“I” (traço médio - sem adição – 11.150 kgf.), “II” e “III” (traço médio – por adição - 12.400 kgf.)	“VI” (traço médio – sem adição – 9157 kgf.), “VII”, “VIII” (traço médio – por adição – 10.100 kgf.) e “IX” (traço forte – por substituição de parte do cimento – 8.478 kgf.)

Verificou-se como síntese na avaliação da capacidade de suporte que, na bateria 2 as amostras com traço forte tiveram melhores desempenho, denotando como fator relevante o

teor de cimento. Entretanto, na bateria 3, verificou-se como melhor desempenho a amostra com traço forte e adição de metacaulim.

6.2 – Forma de ruptura dos prismas (deformação)

Em todos os ensaios verificaram-se que os prismas sem reforço, (prismas sem revestimentos, simplesmente chapiscados e com revestimento traço fraco), tinham rupturas predominantes bruscas. As Figuras 6.9 (a) até (d) mostram prismas sem reforço.

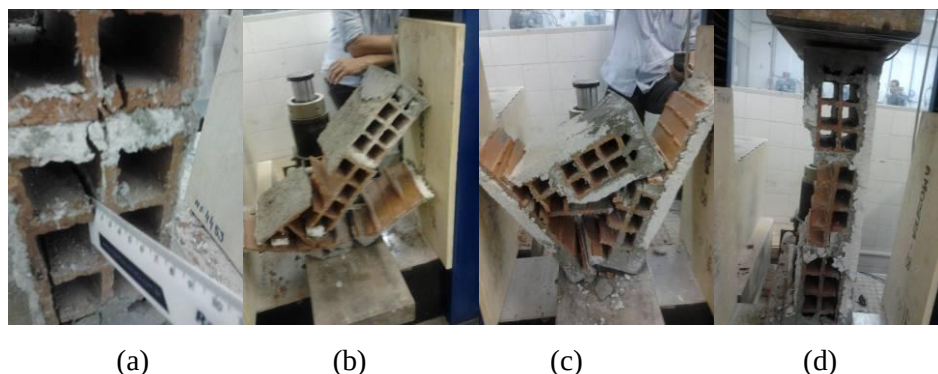


Figura 6.9 – (a) septos completamente rompidos de prisma revestido; (b) prisma chapiscado; (c) prisma revestido com ruptura explosiva; (d): ruptura de prisma revestido

Entretanto, em sua totalidade, os prismas reforçados com argamassa armada e adição de metacaulim não mostraram ruptura brusca em nenhum estágio do ensaio. Os prismas com reforço, até a prensa parar (travar) na conclusão do ensaio, observaram-se os sons/ruídos como se tivesse havendo acomodações e alguns poucos estalos.

Observaram-se em alguns exemplares, alguns poucos septos rompidos, algumas fissuras na face do revestimento próximo a região do conector da bateria 2, algumas fissuras na interface revestimento fraco/revestimento com reforço. Na maioria dos prismas, após a máquina travar devido sua elevada sensibilidade, parecia que estavam sem avarias, íntegros aparentemente. A Figura 6.10 apresentam amostras reforçadas encaminhando-se para o descarte. Não houve ruptura brusca em nenhuma amostra com reforço, em geral, a configuração dos exemplares parecem idênticos antes e depois do ensaio.



Figura 6.10 – Prismas refroçado e rompidos indo para o descarte. Condição aparentemente sem avarias. Ruptura não explosiva indicando ductilidade

As Figuras 6.11 (“a” até “d”) apresentam algumas avarias em exemplares com reforço.

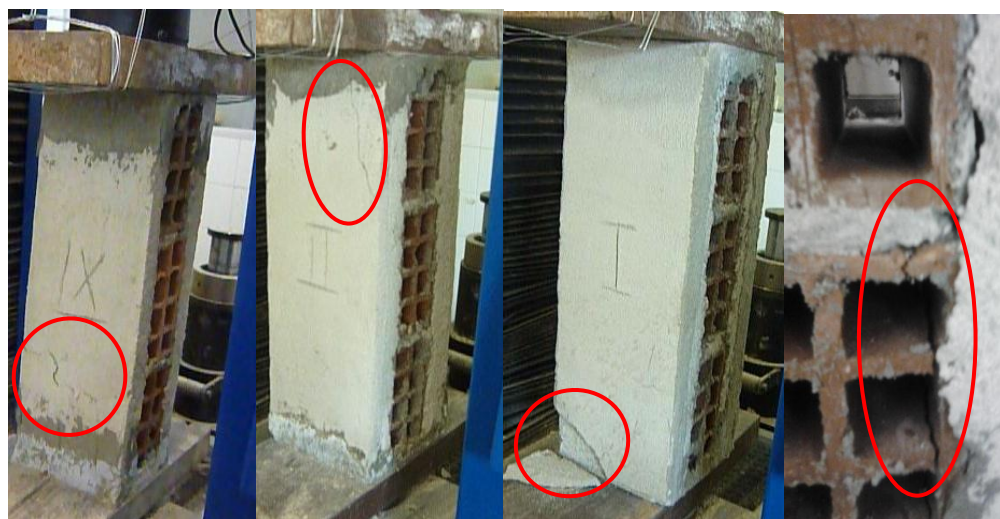


Figura 6.11 – (a): Fissura na face do revestimento na região do conector; (b): fissura no revestimento da parte superior do prisma; (c): fissura no revestimento da base do prisma; (d): poucos septos rompidos

Por conseguinte, de forma qualitativa, evidenciou-se que os prismas não revestidos tinham ruptura altamente brusca/explosiva, frágil. Entretanto, nos ensaios com os prismas reforçados com argamassa armada e adição, a ductilidade foi caracterizada analisando a forma de ruptura, na medida em que não houve ruptura brusca ou frágil, mas sim não

brusca ou dúctil (CALLISTER, 2000). Tal efeito pode ser atribuído as armaduras telas e fundamentalmente aos conectores. A Figura 6.12 mostra conectores, após a ruptura e demolição dos restos do prisma com marreta, onde se identificou sua integridade.



Figura 6.12 – Estado íntegro dos conectores após ensaios e demolição com marreta dos restos do prisma

Com os exemplares reforçados praticamente intactos visualmente após o ensaio concluído, foi aplicado deslocamento adicional com acionamento manual em torno de 12 cm, para verificar até onde ocorreria desintegração. Vale sublinhar que, em todos os casos quando o ensaio conclui (após a prensa parar), o programa trava, não se observando mais nenhuma alteração no gráfico, ou seja, a carga ou tensão versus deslocamento ou deformação não se modificava mais. Todavia, não se observou comportamento explosivo em nenhum momento, mas sim deslocamento gradativo sem haver explosão do corpo de prova. Por conseguinte, só se verificou uma espécie de empacotamento ou entulhamento.

A Figura 6.13 (a) mostra o prisma reforçado com reduzida avaria após o ensaio concluído e a Figura 6.13 (b) o mesmo prisma com deformação adicional após o ensaio.



(a)

(b)

Figura 6.13 – (a) o prisma após ruptura registrado na prensa, praticamente sem avarias; (b) mesmo prisma com deslocamento adicional (acionamento manual) após a conclusão do ensaio

Da mesma forma, a Figura 6.14 apresenta outros dois prismas indo para o descarte, visto que foram ensaiados. O da esquerda apresenta-se praticamente íntegro, com poucos danos, denotando ruptura não frágil. O da direita aplicou-se após o término do ensaio, deslocamento adicional de aproximadamente 10 cm, buscando verificar algo similar ao desmoronamento, o que não se processou.



Figura 6.14 – Corpos de prova da mesma amostra indo para o descarte. O da esquerda praticamente sem danos após o ensaio. O da direita que estava sem dano, foi dado deslocamento adicional, após o ensaio simples, com aproximadamente 10 cm

Observa-se que mesmo o corpo de prova da direita danificado, pôde-se retirá-lo da prensa, colocar no carro de mão para transportá-lo para um automóvel (na mala), sendo transportado até a área central da cidade (num escritório), sem que ele desintegrasse ou

soltassem partes, isto é, se manuseava sem problema, devido estar ainda como um “monobloco” entulhado.

As Figuras 6.15 e 6.16 mostram prismas com deslocamento adicional com acionamento manual após a o ensaio.



Figura 6.15 – Prismas reforçados sobre substrato revestido (ambos sem avarias visuais até o final do ensaio), com deformação adicional em torno de 12 cm após a conclusão do ensaio (prensa travada)

Os prismas com reforço rompidos com deformação adicional após a conclusão do ensaio (ruptura inicial simples), não tem relação com o conceito de ductilidade, conforme já mencionado em capítulos anteriores, em vista de já ter ocorrido algum tipo de fratura que substanciou a finalização do ensaio (pode ter sido apenas microfissuras internas).

A deformação adicional (após ensaio concluído) teve como único objetivo observar a condição de desmoronamento ou explosão com a imposição de deslocamento extra entre 15% e 25% da altura do prisma.

Contudo, em nenhum caso verificou-se desintegração em nenhum momento da operação, em nenhuma região do prisma, mas sim uma espécie de entulhamento dos escombros.

Pode-se concluir, acerca da forma das rupturas dos prismas reforçados que, de forma visual, identificaram-se ductilidade qualitativa, na medida em que não houve ruptura frágil (CALLISTER, 2000).



Figura 6.16 – Prismas reforçados sobre substrato sem revestimento, com deslocamento adicional manual em torno de 10 cm após o fim do ensaio

Objetivando verificar a ductilidade quantitativa, as amostras com melhor desempenho nas duas baterias com reforço (bateria 2: V e bateria 3: X) e sem reforço da bateria 1 (“A” e “C”).

Portanto, deve-se confrontar a amostra “A” com a amostra “X”, e a amostra “C” com a amostra “V”, tendo em vista a primeira dupla ser prismas sem revestimento (A) e prismas com reforço sobre A, e a segunda dupla de prismas com revestimento traço fraco sem reforço (C) e prismas com reforço sobre C (V).

Para obtenção de parâmetros que levassem à ductilidade, verificou-se a média de todos os prismas por amostra até a fratura: alongamento percentual, tipo de ruptura, tenacidade e tempo de ensaio. Material frágil $\leq 5\%$ e a tenacidade com a área sob a curva calculada por integral (dado de saída do programa) fornecido pelo relatório do ensaio que se encontra em anexos.

As Figuras 6.17 (a até d) mostram os gráficos desenvolvidos com auxílio do Coreldraw e AutoCAD (importando o pdf do relatório de ensaio pelo Coreldraw, com posterior passagem das curvas fidedignas para o AutoCAD) das amostras “A”, “C”, “V” e “X” [amostras sem reforço (A e C) e amostras com resultados mais significativos com reforço identificados através da ANOVA (V e X)]. Objetivou-se apresentar a porcentagem de deformação plástica (medida de ductilidade) com a marcação mais precisa possível dos pontos desde o fim da fase elástica (l_0) até a fratura (fim da plasticidade - l_f).

Portanto, os pontos para cálculo do alongamento percentual (porcentagem de deformação plástica - l_0 e l_f) – medida de ductilidade (CALLISTER, 2000), teve elevada acurácia com auxílio dos programas citados (Figura 6.17).

GRÁFICO: ALONGAMENTO PERCENTUAL

(Porcentagem de deformação plástica - % AL)

AMOSTRA (A) - SEM REVESTIMENTO

Tensão (MPa)

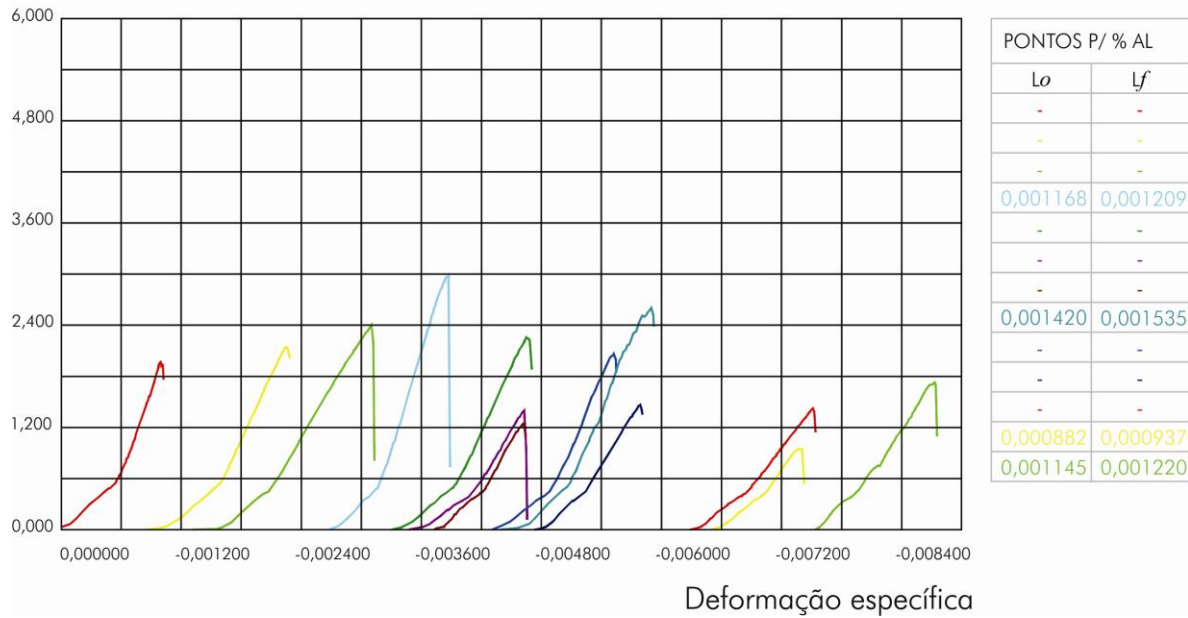


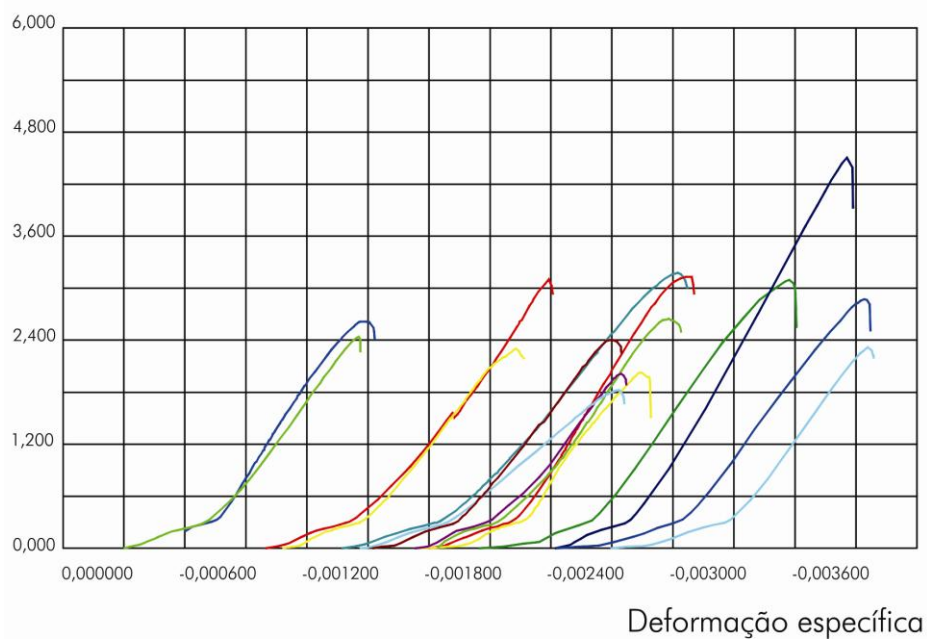
Figura 6.17 (a) – Gráfico da deformação específica (mm/mm) com as curvas dos prismas da amostra sem reforço “A” (sem revestimento), contendo os pontos para cálculo da porcentagem da deformação plástica

GRÁFICO: ALONGAMENTO PERCENTUAL

(Porcentagem de deformação plástica - % AL)

AMOSTRA (C) - TRAÇO FRACO

Tensão (MPa)



PONTOS P/ % AL	
L_0	L_f
-	-
0,000863	0,000935
-	-
-	-
0,001567	0,001705
-	-
0,001151	0,001226
0,000980	0,001042
0,001079	0,001138
0,001201	0,001307
0,001090	0,001199
-	-
-	-
0,001472	0,001547
-	-

Figura 6,17 (b) – Gráfico da deformação específica (mm/mm) com as curvas dos prismas da amostra “C” (revestidos sem reforço) contendo os pontos para cálculo da porcentagem da deformação plástica

GRÁFICO: ALONGAMENTO PERCENTUAL (Porcentagem de deformação plástica - % AL)

AMOSTRA (V) - REFORÇO SOBRE (C)

Tensão (MPa)

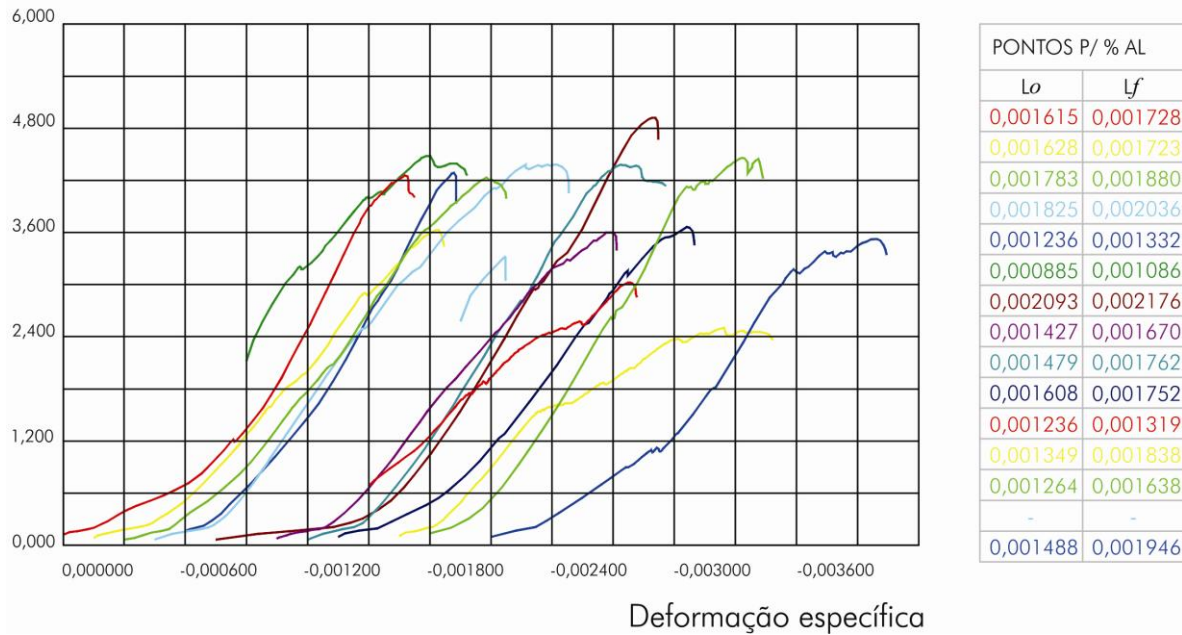
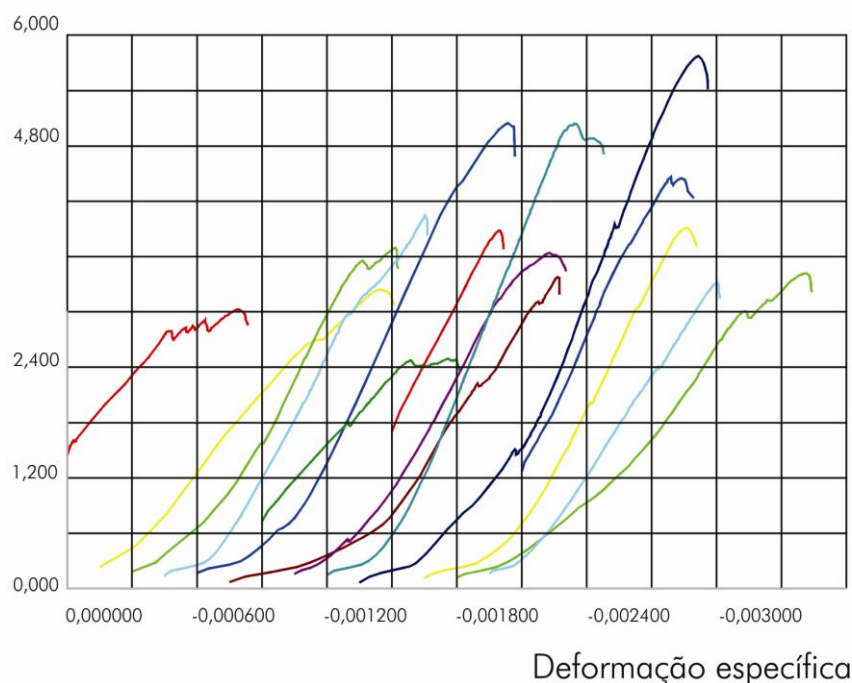


Figura 6.17 (c) – Gráfico da deformação específica (mm/mm) com as curvas dos prismas da amostra “V” (reforço sobre C) contendo os pontos para cálculo da ductilidade (porcentagem da deformação plástica)

GRÁFICO: ALONGAMENTO PERCENTUAL (Porcentagem de deformação plástica - % AL)

AMOSTRA (X) - REFORÇO SOBRE (A)

Tensão (MPa)



PONTOS P/ % AL	
Lo	Lf
0,000460	0,000836
0,001269	0,001362
0,001063	0,001230
-	-
-	-
0,000667	0,000912
0,001053	0,001256
0,001428	0,001527
0,001100	0,001281
0,001547	0,001612
-	-
0,000675	0,000795
0,001157	0,001259
0,001324	0,001642
-	-

Figura 6.17 (d) – Gráfico da deformação específica (mm/mm) com as curvas dos prismas da amostra “X” (reforço sobre A), contendo os pontos para cálculo da ductilidade (porcentagem da deformação plástica)

Observam-se nos gráficos, uma tênue inclinação no início das curvas devido efeito de acomodação dos corpos de prova aos apoios. Figueiredo; Helene (1997) identificaram aspecto análogo.

A Figura 6.18 apresenta curvas representativas (critério adotado: formato médio padrão e valor da tenacidade mais próximo da média da tenacidade da amostra) das amostras A, C, V e X. Verifica-se diferença significativa na porcentagem de deformação plástica e tenacidade, em favor das amostras reforçadas. A Tabela 6.9 (a) mostra cálculos da

porcentagem de deformação plástica das curvas representativas citadas na Figura 6.18. Cálculos idênticos foram feitos em todas as curvas de todas as amostras.

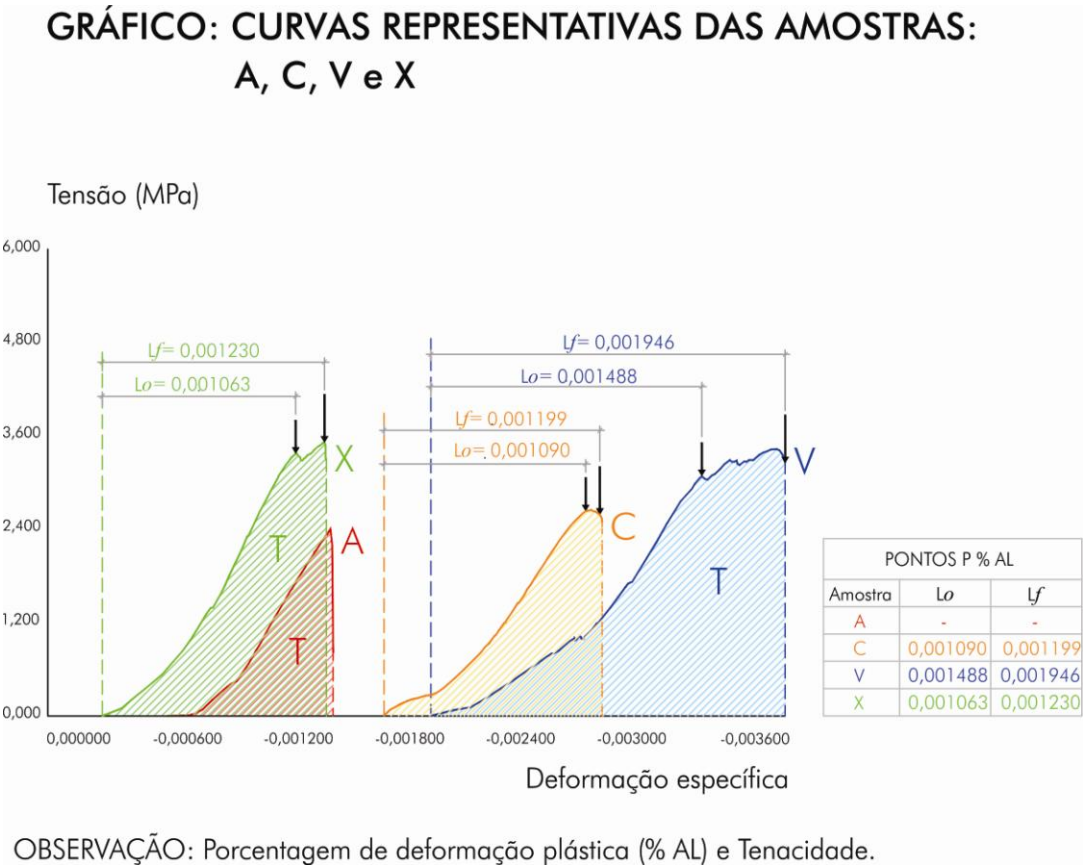


Figura 6.18 – Curvas representativas das amostras: A, C, V e X

Tabela 6.9 (a) – Porcentagem de deformação plástica das curvas representativas das amostras da Figura 6.18

AMOSTRA	l_0	l_f	% AL	RESULTADO (%)
A	-	-		-
C	0,001090	0,001199	$[(l_f - l_0) / l_0] \times 100$	10,0
V	0,001488	0,001946	$[(l_f - l_0) / l_0] \times 100$	30,78
X	0,001063	0,001230	$[(l_f - l_0) / l_0] \times 100$	15,71

A Tabela 6.9 (b) apresenta cálculos das médias de todas as curvas de todas as amostras sem reforço (A e C) e das amostras com reforço [V (reforço sobre C) e X (reforço sobre A)], donde é verificada a percentagem de deformação plástica, tenacidade e a classificação (frágil ou dúctil), bem como o tempo do ensaio.

Tabela 6.9 (b) – Análise da deformabilidade (média com todos os prismas por amostra) *

Amostras	Bateria	(%) AL	Tipo de ruptura	Tenacidade (kg.cm)	Tempo de ensaio (s)
 “C”	1 (revestido com traço fraco - sem reforço)	3,9	Frágil	226,7	8
V	2 (reforçado sobre “C”)	13,9	Dúctil	716,9	69
 “A”	1 (sem revestimento – sem reforço)	1,9	Frágil	101,7	4
X	3 (reforçado sobre “A”)	12,1	Dúctil	434,8	56

* - % AL da média aproximada dos prismas (alongamento percentual - percentagem da deformação plástica quando no momento da fratura, $\% AL = [(l_f - l_0) / l_0] \times 100$ – medida de ductilidade); Tipo de ruptura (materiais frágeis são considerados, de maneira aproximada, aqueles com deformação de fratura inferior a aproximadamente 5%); Tenacidade (média das áreas dos prismas sob a curva tensão/deformação ou tensão/deslocamento até o ponto de fratura). (Os relatórios dos ensaios estão em anexos destacados em vermelho); Tempo médio aproximado dos prismas até a ruptura

Comparando às amostras: “A” e “X” [(prismas sem revestimentos (sem reforço) e prismas com reforço sobre “A”], bem como “C” e “V” [(prismas revestidos (sem reforço) e prismas com reforço sobre C)], verifica-se acréscimo na ductilidade e tenacidade devido o reforço com argamassa armada. Portanto, a relação das amostras (X/A) na percentagem de deformação plástica foi de 6,37 e na tenacidade 4,28 ou 328% (em favor da amostra reforçada X). E a relação (V/C) na percentagem de deformação plástica foi de 3,56 e na tenacidade 3,16 ou 216% (em favor da amostra com reforço V).

Pode-se dizer que as amostras com reforço com argamassa armada e adição de 15% de metacaulim “V” (prismas reforçados sobre substrato revestido com traço fraco) e “X” (prismas reforçados sobre base sem revestimento) quando comparadas com as amostras sem reforço “C” (prismas com revestimento traço fraco) e “A” (prismas sem revestimentos), apresentam maior porcentagem de deformação plástica, maior tenacidade e maior tempo de ensaio, conduzindo quantitativamente, por conseguinte, à ductilidade, ratificando a forma de ruptura não explosiva identificada nos ensaios.

As Figuras 6.19 e 6.20 mostram as relações da força e energia e ductilidade verificadas com amostras sem e com reforço (mais significativa) respectivamente.

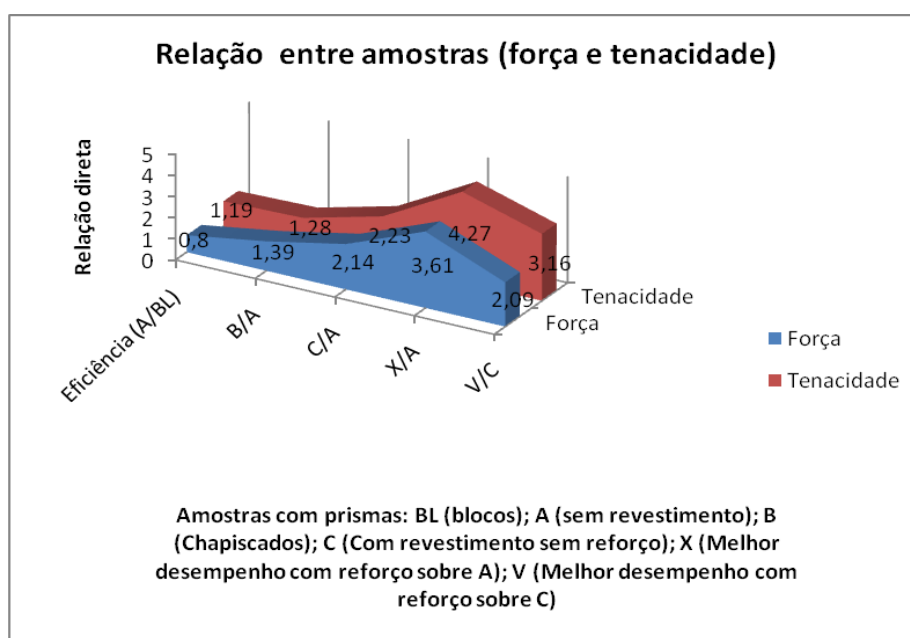


Figura 6.19 – Gráfico com relação direta nas médias na força e na tenacidade entre amostras principais

Não obstante, pode-se sublinhar que essa propriedade (tenacidade: energia necessária para romper um material) tem relação direta com o comportamento desejado das paredes das

edificações em alvenaria resistente. É preciso que esses elementos apresentem ruptura não frágil, para evitar colapsos bruscos.

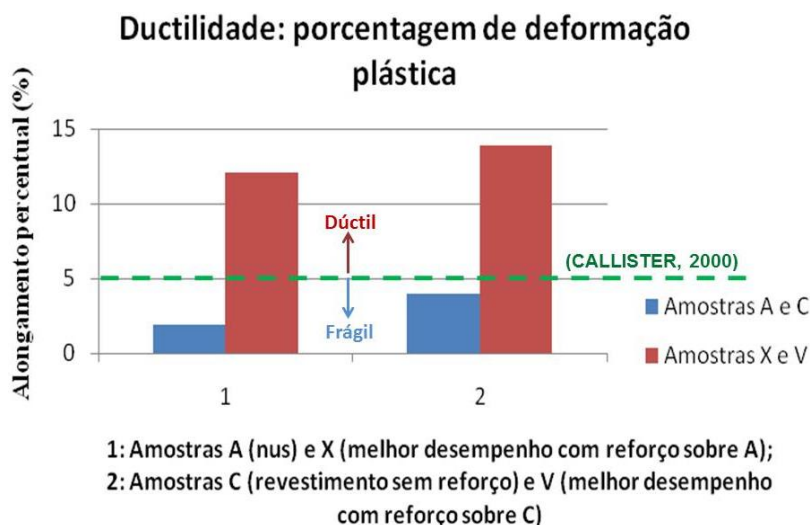


Figura 6.20 – Relação da porcentagem de deformação (alongamento percentual) entre médias das amostras sem e com reforço

Toda essa pesquisa visa apontar um modelo de reforço para as alvenarias resistentes existentes, não se estabelecendo de forma alguma condição para projetos de novas construções. Destaca-se que a norma britânica BS 5628 (1992) ressalta que o peso do revestimento deve ser considerado como carga permanente, porém deve-se desprezar sua contribuição estrutural.

6.3 – Durabilidade das argamassas do reforço

Para avaliar a durabilidade buscou-se estudar as argamassas utilizadas no reforço dos prismas, tendo em vista este compósito estar exposto ao ambiente e ser uma barreira física das armadura. Ensaíram-se corpos de prova com os traços (1:1:6:1,5 e 1:0,5:4,5:1,5), duas formas de adição (por substituição de parte do cimento e adição simples) e dois teores de metacaulim (8% e 15%).

Sabe-se que, devido aos ensaios prévios para se determinar o teor ideal de metacaulim para essa pesquisa, adotou-se 15% de metacaulim no reforço da argamassa armada, entretanto, para abalizar e comparar, estabeleceu-se amostras com 8% (patamar intermediário) para contribuir com as análises.

Foi pesquisada resistência à compressão e módulo de elasticidade dinâmico (propriedades mecânicas que indicam teor da porosidade), absorção, e carbonatação e cloretos (método acelerado de envelhecimento para avaliação de desempenho) em corpos de prova de argamassa.

Moldaram-se corpos de prova cilíndrico de 5 cm x 10 cm, sendo adensados em 4 camadas de 30 golpes (NBR 13749). Esses CP's foram desmoldados após 24 horas e curados por 28 dias submerso, ficando em seguida em ambiente do laboratório até os ensaios.

6.3.1 – Resistência à compressão

A Tabela 6.10 mostra a média e desvio padrão das resistências à compressão dos corpos de prova das argamassas.

Tabela 6.10 – Resultados de resistência à compressão das argamassas de reforço

Resistência à compressão (média / SD) – MPa			
Traço – 1:1:6:1,5		Traço – 1:0,5:4,5:1:5	
0% metacaulim	7,53 / 0,24	0% metacaulim	12,80 / 0,43
8% substituição de parte do cimento	7,31 / 0,31	8% substituição de parte do cimento	13,1 / 0,42
15% substituição de parte do cimento	8,70 / 0,26	15% substituição de parte do cimento	13,87 / 0,45
8% adição	8,97 / 0,29	8% adição	16,6 / 0,50
15% adição	10,43 / 0,34	15% adição	17,57 / 0,44

A Figura 6.21 apresenta os resultados médios da resistência à compressão e as linhas das tendências ascendente dos dois traços.

Verifica-se que, a amostra com traço forte e adição de 15% de metacaulim apresentou maior resultado mecânico. Entretanto, o resultado com desempenho mais tímido foi a amostra com substituição de 8% de parte do cimento por metacaulim no traço médio.

Observa-se que a inclinação da linha de tendência é mais acentuada para o traço forte, indicando possivelmente que as reações pozolânicas são mais suscetíveis e proporcionais com teor de cimento, devido reações da portlandita com a metacaulim, produzindo C-S-H (composto responsável pela resistência da matriz cimentícia) e, ou, efeito relevante do cimento.

Outro aspecto importante é a supremacia da amostra com adição frente amostra com substituição de parte do cimento, isso para os dois traços estudados.

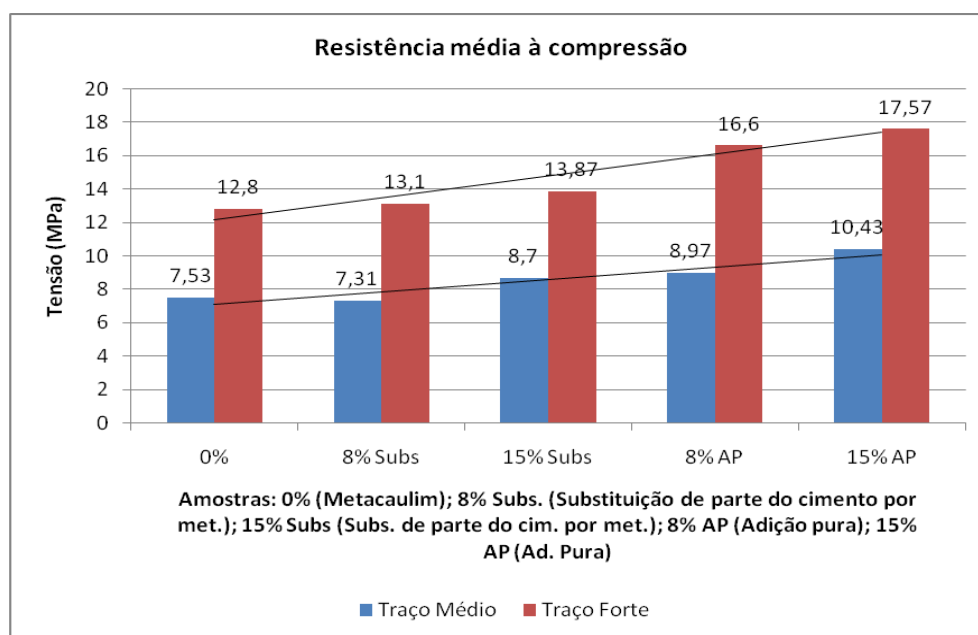


Figura 6.21 - Resultados médios da resistência à compressão das argamasas e as tendência linear crescente dos dois traços

Resultado similar Galvão (2004) apresentou, visto que em relação a resistência à compressão o teor adequado de adição de sílica ativa está na faixa entre 8% e 10% em

substituição parcial ao cimento. Entretanto, no caso do metacaulim, o teor adequado foi 15%, tendo maior desempenho que a sílica.

6.3.2 – Módulo de elasticidade dinâmico

Com este ensaio verifica-se a homogeneidade do concreto ou argamassa, consistindo em medir a velocidade de propagação linear da onda. Para obtenção da velocidade da onda ultrassônica nos corpos de prova das argamassas estudadas, os transdutores, emissor e receptor do equipamento foram posicionados nas extremidades dos corpos de prova. Evidencia-se maior compacidade potencial da pasta contendo adições devido efeito filler e ação pozzolânica (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

A Tabela 6.11 mostra a média e desvio padrão do módulo de elasticidade das argamassas usadas nos reforços dos prismas. A Figura 6.22 mostra o módulo de elasticidade dinâmico médio com as linhas de tendência linear dos dois traços.

Tabela 6.11 - Módulo de elasticidade das argamassas usadas nos prismas reforçados

Módulo de elasticidade (média / SD) – GPa			
Traço – 1:1:6:1,5		Traço – 1:0,5:4,5:1:5	
0% metacaulim	10,22 / 0,44	0% metacaulim	13,03 / 0,48
8% substituição de parte do cimento	10,27 / 0,30	8% substituição de parte do cimento	12,75 / 0,49
15% substituição de parte do cimento	9,91 / 0,39	15% substituição de parte do cimento	11,99 / 0,47
8% adição	11,89 / 0,41	8% adição	14,52 / 0,58
15% adição	12,58 / 0,39	15% adição	15,09 / 0,43

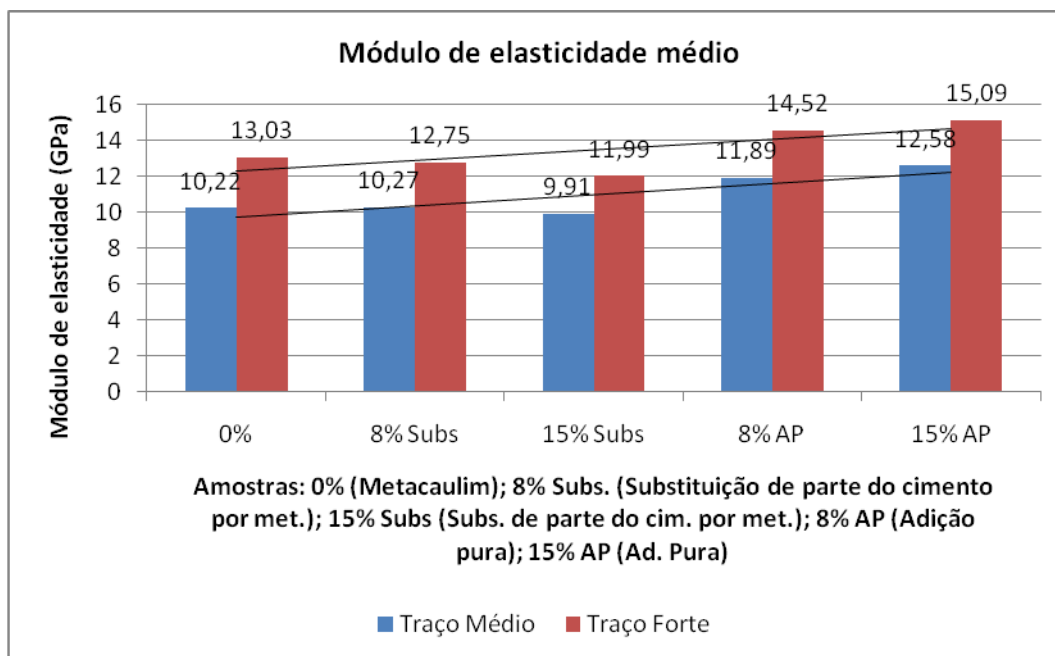


Figura 6.22 – Módulo de elasticidade dinâmico das amostras com reforço e suas linhas de tendência linear crescente

As amostras com adição tiveram resultados superiores em relação as amostras sem adição e com adição por substituição por parte do cimento. Então, a amostra com traço forte e 15% de adição apresentou maior resultado entre as argamassas estudadas. Assim, pode-se concluir acerca da relevância do refinamento dos poros, em vista do maior empacotamento da mistura propiciado pela metacaulim.

6.3.3 - Velocidade de propagação da onda Ultrassônica

Pode-se avaliar diante dos critérios estabelecidos por WhiteHurst (1996) e Rodrigues (2003) a classificação das argamassas e concretos através da velocidade de propagação linear da onda de ultrassom. Quanto mais alta for a velocidade da propagação da onda ultrassônica mais compacto é o material, menos vazios e fissuras existem, visto que a velocidade é mais alta num sólido que um líquido e este tem a velocidade maior que nos gases. O ar é um péssimo condutor de ondas mecânicas (349 m/s). No concreto bem

empacotado a velocidade é superior a 2.500 m/s, contudo, em concreto armado devido o aço é da ordem de 6.000 m/s (HELENE; REPETTE, 1989).

As Tabelas 6.12 e 6.13 mostram referências adotadas e resultados com a classificação dos corpos de prova das argamassas usadas nas amostras com reforço respectivamente.

Tabela 6.12 - Classificação da velocidade da onda de ultra som em concreto de acordo com WhiteHurst (1996) e Rodrigues (2003)

Velocidade de propagação linear (m/s)	Classificação
> 4500	Excelente
3500 a 4500	Ótimo
3000 a 3500	Bom
2000 a 3000	Regular
< 2000	Ruim

Tabela 6.13 – Classificação das argamassas reforçadas diante da velocidade da onda ultrassônica

Velocidade de propagação linear em m/s (média / SD / Classificação)			
Traço – 1:1:6:1,5		Traço – 1:0,5:4,5:1:5	
0% metacaulim	2545 / 42 / Regular	0% metacaulim	2840 / 47 / Regular
8% substituição de parte do cimento	2551 / 43 / Regular	8% substituição de parte do cimento	2817 / 47 / Regular
15% substituição de parte do cimento	2481 / 42 / Regular	15% substituição de parte do cimento	2747 / 46 / Regular
8% adição	2711 / 45 / Regular	8% adição	2941 / 50 / Regular
15% adição	2841 / 46 / Regular	15% adição	3086 / 50 / Bom

Na Figura 6.23 (b) identifica-se o crescimento em função do enriquecimento do traço e na direção da adição de 15%. A Figura 6.24 mostra o ensaio de ultrassom em um corpo de prova de chapisco.

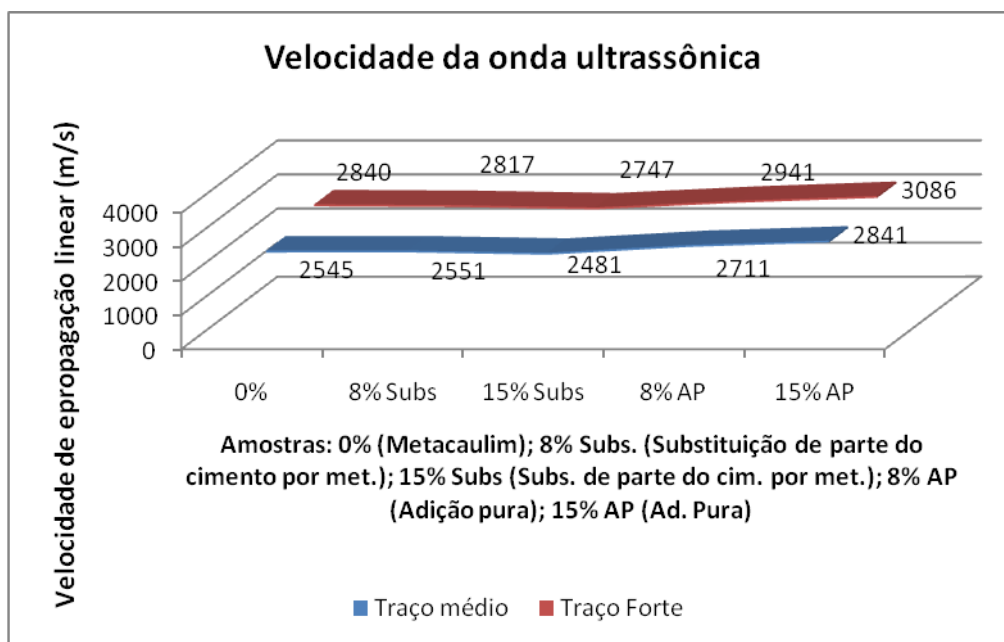


Figura 6.23 – Velocidade da onda ultrassônica

Verifica-se que a argamassa com traço “forte” e adição com 15% de metacaulim pode ser classificada como “bom” segundo WhiteHurst (1996) e Rodrigues (2003), sendo portanto, a amostra com melhor resultado.



Figura 6.24 – Ensaio de ultrassom em corpo de prova de argamassa

6.3.4 – Absorção de água por imersão

A Tabela 6.14 apresenta absorção dos corpos prova com as médias e desvio padrão.

Tabela 6.14 – Absorção de água por imersão das amostras utilizadas para reforço

Absorção (%) – média / SD			
Traço – 1:1:6:1,5		Traço – 1:0,5:4,5:1:5	
0% metacaulim	10,46 / 0,18	0% metacaulim	9,86 / 0,13
8% substituição de parte do cimento	11,36 / 0,23	8% substituição de parte do cimento	10,86 / 0,16
15% substituição de parte do cimento	12,42 / 0,19	15% substituição de parte do cimento	11,07 / 0,14
8% adição	10,01 / 0,14	8% adição	9,67 / 0,13
15% adição	10,06 / 0,13	15% adição	9,58 / 0,13

Os resultados de absorção por imersão mostraram que não existe um efeito considerável das amostras com adições frente à amostra sem adição, todavia, amostras com adição de metacaulim mostram melhor desempenho numérico frente às amostras com metacaulim por substituição de parte do cimento, caracterizando, por conseguinte, que para essas proporcionalidades e com esses materiais o cimento governa.

6.3.5 – Ensaio acelerado para avaliação de desempenho quanto à carbonatação

As Tabelas 6.15 (a) e (b) mostram os resultados dos ensaios de carbonatação das argamassas.

Tabela 6.15 (a) – Carbonatação em corpos de prova de argamassa com traço médio nas três condições de maturação (média)

Amostras - traço (1:1:6:1,5)	Secção transversal a seco:	Condição (a): Exposição natural (10 meses)	Condição (b): Condição (a) acrescida 24h em Câmara	Condição (c): Condição (b) acrescida de 72h em Câmara
		Espessura carbonatada (mm) / SD		
0% Metacaulim	15 mm, 30 mm, 45 mm – do topo	5,48	7,00	14,00 / 1,08
8% Substituição de parte do cimento	15 mm, 30 mm, 45 mm – do topo	6,41	7,12	14,30 / 1,10
15% Subst. de parte do cim.	15 mm, 30 mm, 45 mm – do topo	8,45	9,53	14,20 / 1,10
8% Adição	15 mm, 30 mm, 45 mm – do topo	1,83	4,04	10,53 / 0,80
15% Adição	15 mm, 30 mm, 45 mm – do topo	1,6	3,89	9,82 / 0,75

Verifica-se que as amostras com adição de metacaulim tiveram melhores resultados nas três condições de maturação, e 15% de adição (sem retirar parte do cimento) maior desempenho.

A Figura 6.25 mostra o gráfico contendo as três curvas representativas das três condições de carbonatação [(a), (b) e (c)] das argamassas utilizadas para reforço dos prismas com traço médio e as devidas linhas de tendência exponencial.

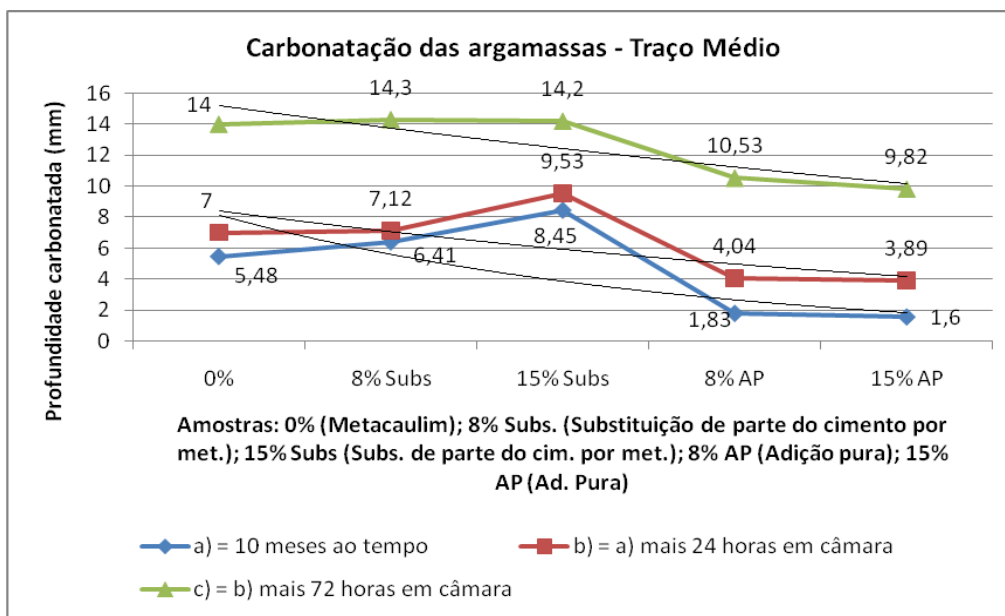


Figura 6.25 – Curvas das três condições de maturação para carbonatação das argamassas traço médio para reforço dos prismas e as linhas de tendência exponencial

Tabelas 6.15 (b) – Médias de carbonatação das argamassas com traço forte nas três condições de maturação

Amostras - traço (1:0,5:4,5:1,5)	Secção transversal a seco:	Condição (a): Exposição natural (10 meses)	Condição (b): condição (a) acrescida de 24h em Câmara	Condição (c): condição (b) acrescida de 72h em Câmara
		Espessura carbonatada (mm) / SD		
0% Metacaulim	15 mm, 30 mm, 45 mm – do topo	2,7	4,08	9,49 / 0,74
8% Substituição de parte do cimento	15 mm, 30 mm, 45 mm – do topo	4,85	5,54	9,64 / 0,74
15% Subst. de parte do cim.	15 mm, 30 mm, 45 mm – do topo	7,56	8,17	13,40 / 1,04
8% Adição	15 mm, 30 mm, 45 mm – do topo	4,45	4,94	9,08 / 0,70
15% Adição	15 mm, 30 mm, 45 mm – do topo	1,26	3,04	7,55 / 0,50

Pode-se explicar que não houve o consumo de hidróxido de cálcio pelo metacaulim em patamares significativos que provocasse baixa do pH, de tal maneira que propiciasse condições desfavoráveis para se combater a carbonatação.

A Figura 6.26 apresenta os resultados de carbonatação, bem como ilustram as linhas de tendência exponencial, para as amostras com traço forte maturadas nas três condições.

Verifica-se que no traço forte, a amostra com adição de metacaulim apresentou de modo geral melhores resultados nas três condições de maturação.

Contudo, amostras com substituição de parte do cimento e adição de 8%, tiveram resultados de espessura da frente de carbonatação similares à amostra sem adição, mostrando que não necessariamente as adições minerais reduzem a carbonatação.

Entretanto, a argamassa com 15% de substituição, apresentaram elevação da carbonatação em todas as condições, tendo a amostra com 15% de adição desempenho oposto, haja vista menor índice de profundidade de carbonatação.

Portanto, não se pode desconsiderar a elevada importância do cimento, donde substituir parte do cimento poderá incrementar propriedades mecânicas, mas não necessariamente as relacionadas à durabilidade, mesmo sabendo que existe uma relação íntima entre elas.

A Figura 6.27 apresenta leitura na condição de maturação (b) no traço forte.

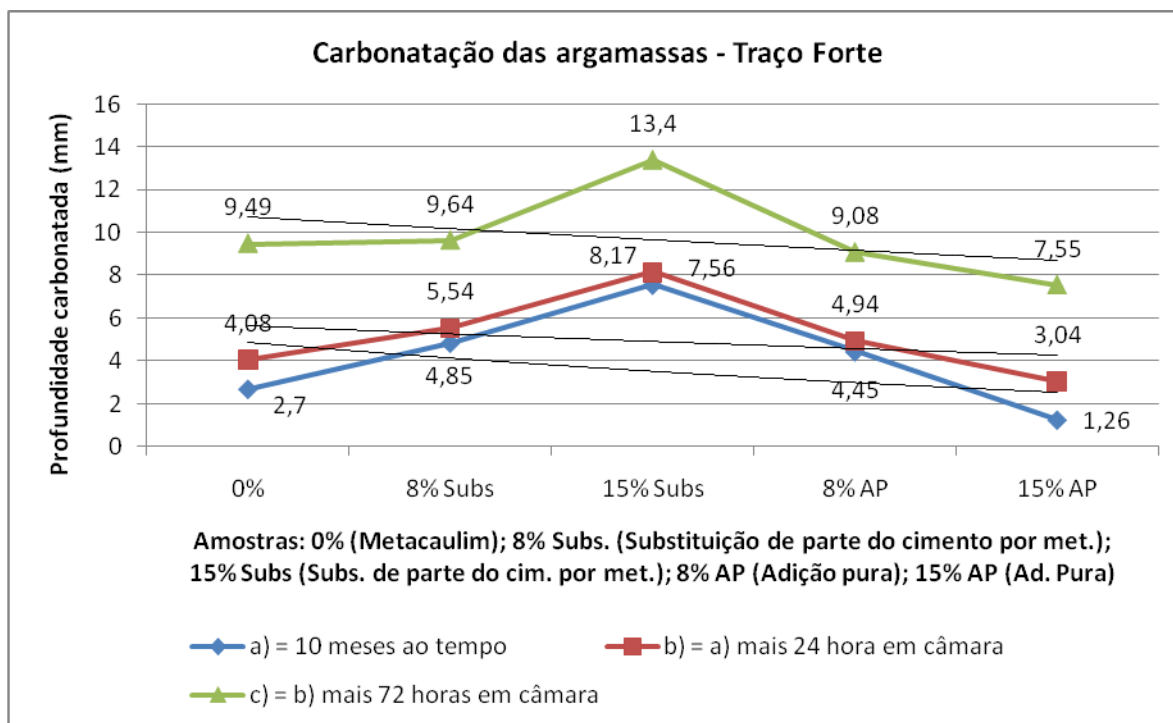


Figura 6.26 – Curvas das três condições de maturação para carbonatação das argamassas para reforço traço forte dos prismas e as linhas de tendência exponencial



Figura 6.27 – Leitura do corpo de prova do traço forte com 8% de substituição de parte do cimento [condição (b)]

Verificou-se que amostras com adição de metacaulim em ambos os traços apresentaram desempenho superiores. Ocorre que, tudo deriva da natureza química e mineralógica da adição, da atividade pozolânica e finura, ou seja, do potencial de alterar fisicamente a pasta

de cimento. Reitera-se que os teores propostos, a condição de consumo da “reserva” alcalina pela sílica da pozolana, não sobressaiu aos benefícios das adições à matriz cimentícia.

No mais, verificou-se que todas amostras na condição de maturação (c) ficaram classificadas frente a carbonatação como “média”, tendo em vista Medeiros (2002) classificar como sugestões limites, para argamassa para reforço de concreto, quanto à profundidade de carbonatação para condições 5% de CO₂, 25 °C e 60% de umidade (aos 91 dias) → baixa < 5 mm; média 5 até 15 mm; alta > 15 mm.

Entretanto, verificando a condição de maturação (b), conclui-se que no traço médio as amostras com adição de metacaulim apresentam-se com “baixa” profundidade de carbonatação, bem como no traço forte as amostras com adição e sem adição. Portanto, as amostras com substituição de parte do cimento, não tiveram significativo desempenho no que concerne a carbonatação.

6.3.6 – Ensaio acelerado para avaliação de desempenho com cloretos

Os cloretos apresentam-se de três formas em concretos e argamassas: - cloretos quimicamente ligados ao aluminato tricálcico (sal de Friedel); - adsorvido na superfície dos poros; - cloretos livres. Ocorre que esse último são, de fato, deletérios, haja vista que despassivam as armaduras (CASCUDO, 1997).

Adições minerais exercem papel fundamental na proteção contra ação de cloretos no interior dos poros de concretos, por refinarem os poros, mitigando a difusão (NEVILLE, 1997 e FERREIRA, 2003). Helene; Meredeiros (2004) também identificaram elevada eficiência do metacaulim contra a penetração de íons cloretos, quando comparados com amostras sem adição.

Determinou-se o teor de cloretos solúveis, em laboratório específico com a metodologia, por titulação potenciométrica usando eletrodo seletivo para cloretos, de acordo com o método ASTM C 1152 – Standard Method for Acid-Soluble Chloride in Mortar and Concrete.

A Tabela 6.16 apresenta os resultados do ensaio de cloretos solúveis (ASTM C 1152) e a Figura 6.28 mostra o gráfico com os teores de cloretos e as linhas de tendência exponencial.

Tabela 6.16 – Resultados do teor de cloretos Cl⁻ / SD (% médios) aos 300 dias

Traço – 1:1:6:1,5		Traço – 1:0,5:4,5:1:5	
0% metacaulim	0,5178 / 0,039	0% metacaulim	0,3950 / 0,0311
8% substituição de parte do cimento	0,4763 / 0,047	8% substituição de parte do cimento	0,5202 / 0,0466
15% substituição de parte do cimento	0,6064 / 0,0366	15% substituição de parte do cimento	0,5956 / 0,0410
8% adição	0,2971 / 0,0121	8% adição	0,2616 / 0,0116
15% adição	0,2520 / 0,0225	15% adição	0,2171 / 0,0201

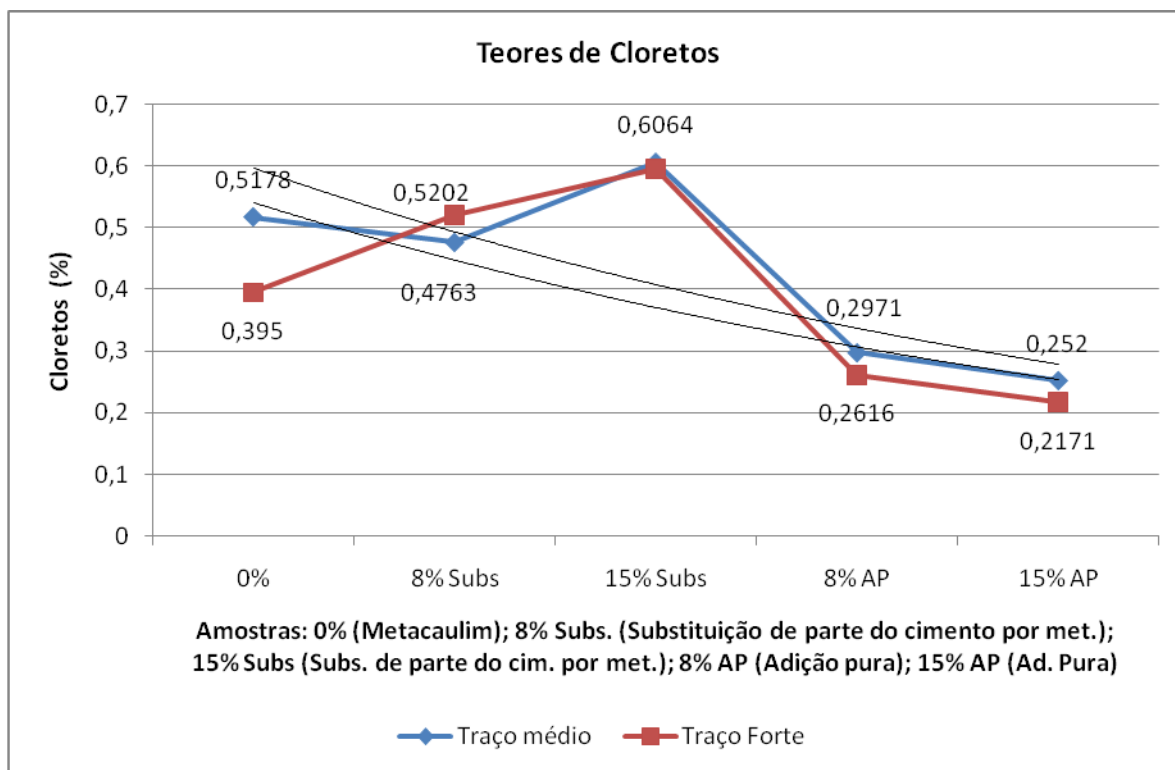


Figura 6.28 – Gráficos com os teores de cloretos nos dois traços estudados e as linhas de tendência exponencial

Verifica-se que amostras com 15% de metacaulim por adição no traço forte tiveram desempenho mais elevado. Entretanto, as amostras com substituição de parte do cimento, apresentaram piores resultados (maiores concentração de cloretos livres).

Por fim, em todos os casos mais clássicos que foram analisados concernentes à durabilidade (carbonatação, cloretos e velocidade de propagação da onda ultrassônica), verificou-se que argamassa com traço forte e 15% de adição, apresenta melhor condição para mitigar agentes deletérios. Essa conclusão está alinhada com os resultados mecânicos, haja vista que mesma faixa de resultados foi identificado nos ensaios de resistências à compressão e módulo de elasticidade.

Não obstante, pode-se dizer que os resultados são alinhados com os autores que verificaram benefícios promovidos por adições minerais, haja vista aumento das resistências e redução

da porosidade, se elevando a condição de reduzir ataques químicos (águas sulfatadas, águas acidas, águas puras, águas com contaminação orgânica e, ou, inorgânica em geral), bem como apresenta bom desempenho frente à ação de cloretos e ataques de dióxido de carbono (MEHTA; MONTEIRO, 1994), (OTSUKI, NAGATAKI; HISADA, 1995), (TORII; SASATANI; KAWAMURA, 1995), (ROSSES; SACIOTO; BILHALVA, 1996), (NEVILLE, 1997), (BRETANHA; DAL MOLIN, 1999), (WINK; ISAIA; GASTALDINI, 2000), (CERVO; GASTALDINI; ISAIA, 2001), (ROY; ARJUNAN; SILSBEE, 2001), (SABIR; WILD; BAI, 2001), (SILVA, 2004), (GALVÃO, 2004), (MOTA et al., 2010), (MOTA; CARASEK; COSTA e SILVA, 2011), (MOTA; OLIVEIRA; DOURADO, 2011), (DOURADO; MOTA; BARBOSA, 2011), (MOTA; BARBOSA; COSTA e SILVA, 2012), (SILVA; MOTA; GALVÃO, 2013), dentre outros.

6.4 – Considerações acerca da influência do reforço com argamassa armada na capacidade de suporte da super-estrutura, levando-se em conta o coeficiente redutor devido o efeito de flambagem

Verificando a compressão axial, ductilidade e durabilidade, o traço forte com adição apresentou melhores resultados nas amostras das duas baterias reforçadas (bateria 2 e bateria 3). Portanto, será avaliada e comparada a capacidade de suporte das amostras sem reforço (“A” e “C”) em relação às amostras reforçadas com argamassas armadas e adição de 15% de metacaulim [X (reforço sobre A) e V (reforço sobre C)], levando em conta a redução do fator associado à flambagem.

Sabe-se que, o método que considera espalhamento de cargas favorece o dimensionamento dos blocos, pois esse procedimento considera a interação entre as paredes, admitindo que as cargas possam ser uniformizadas, conforme prescrito em normas e literatura internacional. Esse método conduz a menor tensão no bloco, quando comparado com o método de dimensionamento por paredes isoladas (RAMALHO; CORRÊA, 2003).

Entretanto, as principais cargas atuantes nas paredes dos edifícios em estudo são geradas pelas ações das lajes e pelo próprio peso das paredes, sendo o procedimento de paredes isoladas um modelo de dimensionamento que considera cada parede independente, desprezando a interação com as demais. Este método, além de simples, é rápido e seguro, e tem como verificação da carga admissível em paredes isoladas (NBR 15.961-1)

Em que pese à análise da resistência de alvenarias, conforme norma, seja para aplicação em alvenaria estrutural, será verificada de forma análoga nessa alvenaria resistente. Portanto, inicialmente se calculará a resistência das amostras sem reforço, que representam características normalmente encontradas nos prédios “caixão”, e em seguida será calculada a resistência das amostras com reforço levando em consideração algumas variáveis encontradas nessa pesquisa.

Observa-se que, nos edifícios tipo “caixão” de até quatro pavimentos encontrados na Região Metropolitana do Recife, os valores das cargas atuantes prováveis nas paredes mais solicitadas chegam até 0,7 MPa.

Comparando-se essa carga com a capacidade resistente da parede e considerando a ação benéfica do reforço da argamassa armada e adição no traço forte, pode-se calcular da seguinte forma (NBR 15812:2010):

$$f_{par.} = 0,7 \times f_{pk} \{1 - [h_e / (40 \times t_e)]^3\} \times 1/2$$

Sendo:

f_{par} – resistência da parede;

f_{pk} – resistência média do prisma;

h_e – altura efetiva da parede;

t_e – espessura efetiva da parede.

Constante: $1/2$ (coeficiente de segurança associado ao material)

Para os dados:

- Pé direito considerado, $h = 2,80$ m;
- resistência média dos prismas encontrados nos ensaios nas amostras: “A” (1,90 MPa), “X” (3,90 MPa), “C” (2,70 MPa) e “V” (3,92 MPa);
- $t = 9,0$ cm para prisma sem revestimento (amostra “A”) → espessura do bloco;
- $t = 14,0$ cm para prisma revestido com traço “fraco” (amostra “C”) → (9,0 cm do bloco, mais 0,5 cm do chapisco nas duas faces, mais 2,0 de revestimento por face);
- $t = 16,0$ cm para reforço sobre substrato sem revestimento (amostra X) → (9,0 cm do bloco, mais 0,5 cm do chapisco para reforço com 5% metacaulim por face, mais 3,0 cm da argamassa armada e adição de 15% metacaulim no traço “forte” para reforço por face);
- $t = 20,0$ cm para reforço sobre substrato revestido com traço fraco (amostra V) → [9,0 cm do bloco, mais (revestimento antigo – 0,5 cm chapisco por face, mais 2,0 cm de argamassa de revestimento por face), mais 3,0 cm argamassa armada e adição de 15% metacaulim no traço “forte” para reforço por face];
- constante de majoração devido incremento resultado dos experimentos dessa pesquisa, (médias na força) quando se considera: (i) a amostra “A” (prismas nus sem reforço) em relação à amostra “X” (prismas reforçado sobre A) = 3,61; (ii) a amostra “C” (prismas sem

reforço revestidos com traço “fraco”) em relação à amostra “V” (prismas reforçados sobre C) = 2,09.

Então, tem-se a tensão admissível nas paredes diante das duas situações, a saber:

▪ **Para cálculo considerando as amostras e incrementos: “A” e “X”:**

$$f_{\text{par “A”}} = 0,7 \times (1,9) \times [1 - (280/40 \times 9)^3] \times 1/2 = 0,35 \text{ MPa.}$$

$$f_{\text{par “X”}} = 0,7 \times (3,9) \times [1 - (280/40 \times 16)^3] \times (3,61 - \text{incremento}) \times 1/2 = 4,52 \text{ MPa.}$$

(Acréscimo de 12,9 vezes, quando se compara a amostra “X” em relação à “A”).

▪ **Para cálculo considerando as amostras e incrementos: “C” e “V”:**

$$f_{\text{par “C”}} = 0,7 \times (2,7) \times [1 - (280/40 \times 14)^3] \times 1/2 = 0,83 \text{ MPa.}$$

$$f_{\text{par “V”}} = 0,7 \times (3,92) \times [1 - (280/40 \times 20)^3] \times (2,09 - \text{incremento}) \times 1/2 = 2,75 \text{ MPa.}$$

(Acréscimo de 3,31 quando se compara a amostra “V” em relação à “C”).

Portanto, comparando uma provável carga máxima atuante com a capacidade resistente da parede sem reforço e considerando a ação benéfica do reforço independente da condição (reforço sobre base sem revestimento ou revestida), identifica-se, matematicamente o atendimento ao suporte da parede com revestimento e das paredes reforçadas, uma vez superarem a carga de referência 0,7 MPa.

CAPÍTULO 7

7.0 CONCLUSÕES E SUGESTÕES

7.1 – Conclusões

Os resultados obtidos nos ensaios conduziram para algumas conclusões, a saber:

- Pode-se dizer que os revestimentos argamassados com traços e espessuras significativas, de modo geral, contribuem com o suporte e rigidez das alvenarias resistentes, entretanto, não se pode garantir eficácia quanto à ductilidade e durabilidade. Portanto, as argamassas podem impetrar benefícios às paredes em serviço, desde que exista aderência adequada entre as argamassas com os blocos. Assim, a influência da argamassa pode servir como avaliação da estabilidade de uma edificação de alvenaria resistente existente, porém jamais para usufruir deste proveito em nível de projeto. Neste caso, deve-se atender a critérios rígidos estabelecidos por normas técnicas pertinentes;
- os ensaios foram realizados em equipamento e velocidade de deformação normalizada, de tal forma que foi permitido gerar gráficos diversos das três amostras de prismas sem reforço e das dez com reforço, tais como: força/deslocamento, tensão/deslocamento, força/tempo e tensão/deformação específica, sendo possível verificar e comparar a condição de suporte e ductilidade de amostras sem e com reforço;
- não se pode deixar de destacar que a resistência à compressão axial é influenciada pela excentricidade. A verticalidade da carga no eixo da peça ensaiada é difícil atestar, de modo que a excentricidade, resultado de qualquer ponto da operação, conduz o ensaio para flexo-compressão. Em vista disso, criou-se um gabarito com o cunho de mitigar esse efeito;

- evidenciam-se complexos mecanismos que envolvem a resistência à compressão de uma de alvenaria, contudo, através de fotos e filmes reproduzidos em câmara lenta, foi possível identificar que a ruptura nos prismas sem reforço (sem revestimento e revestido com traço “fraco”) ocorreu predominantemente por tração dos septos e em forma explosiva. Essa constatação adveio do estado triaxial de tensões imposta ao prisma quando comprimido, levou a argamassa mais deformável, tender a ser expulsa, promovendo tensões laterais tangenciais ao plano da junta, que por sua vez são restringidos pelos septos dos blocos, aos quais tendo sua resistência à tração superada, inicia o desequilíbrio do estado de confinamento, provocando a ruína;
- os prismas reforçados praticamente não apresentaram dano algum até a prensa concluir (travar) o ensaio de compressão. Observou-se ao longo do carregamento: - sons indicando acomodações e poucos estalos, de maneira que em poucos casos se constatou alguns septos rompidos por tração; - poucas microfissuras transversais (horizontais) na argamassa de reforço na região dos conectores; - pequenas avarias no revestimento (quebras de pedaços do revestimento) em três prismas, e algumas fissuras na interface da argamassa de revestimento sem reforço com a argamassa reforçada;
- diante do estado praticamente íntegro dos prismas reforçados após o ensaio concluído, se buscou atribuir deformação adicional para verificar a condição de desmoronamento. Então, impôs-se deformação adicional com acionamento manual, em diversos prismas com reforço, entre 10 cm e 15 cm aproximadamente (15% a 25% da altura do prisma). Contudo, em nenhum prisma houve desmoronamento ou desintegração, ocorrendo uma espécie de entulhamento ou empacotamento dos escombros, condição atribuída às armaduras (telas nas faces ligadas pelos conectores). Ao interromper essa deformação adicional, observava-se todo núcleo completamente falido/esmagado;
- o modelo de reforço com argamassa armada e adição, deixa as paredes mais resistentes pela menor esbeltez e maior área da base. Observa-se com essas circunstâncias que o confinamento da deformação lateral excessiva, aguçada pela ruptura dos septos dos blocos,

não proporcionou ruptura bruscas em nenhum prisma, devido às capas das argamassas (“pilaretes”) do reforço;

- nos ensaios com as amostras somente para caracterização (bateria 1 - sem reforço) verificou-se incremento na resistência dos prismas simplesmente chapiscados (amostra “B”) e prismas revestidos com o traço “fraco” (amostra “C”) em relação aos prismas sem revestimentos (amostra “A”) em 39% e 113% respectivamente;

- as amostras da “bateria 2” (prismas reforçados sobre substrato revestido com traço “fraco”) tiveram como maior elevação na resistência em relação à amostra “C” a amostra V (traço forte com adição) - 109%. Verificou-se que nos dois traços, as amostras com metacaulim por substituição de parte do cimento (II – traço “médio” e IV – traço “forte”) apresentaram capacidade de suporte inferior as amostras com adição, e a amostra II não superou sequer a amostra I (sem adição – traço “médio”);

- na “bateria 3” (prismas reforçado com argamassa armada e adição de metacaulim sobre base sem revestimento), verificou-se maior resistência à compressão em relação à amostra “A” a amostra “X” (traço forte com adição) – 261%. As duas amostras por substituição de parte de cimento (VII – traço “médio”; IX – traço “forte”) tiveram resultados inferiores às amostras com adição e sem adição no traço “médio” (VI), caracterizando a relevância do cimento;

- diante da análise de variância, se verificou as amostras com maior e menor desempenho. Na “bateria 2” as amostras com maior desempenho foram “IV” e “V” (traço “forte”) e menor desempenho as demais (I, II e III); Na “bateria 3” as amostras com maior desempenho “X” e com menor desempenho as demais (VI, VII, VIII e IX);

- avaliando a ductilidade, as amostras com prismas reforçados com maior desempenho [V (reforço sobre base revestida – C) e X (reforço sobre base sem revestimento - A) – ambas com traço “forte”], apresentaram qualitativamente ductilidade, tendo em vista a total

ausência da ruptura brusca até a fratura, ficando os corpos de prova praticamente íntegros, no entanto, as amostras sem reforço apresentaram ruptura altamente brusca. Contudo, também se avaliou quantitativamente a ductilidade destas amostras reforçadas (V e X) e sem reforço (“A” e “C”). Portanto, analisando a porcentagem da deformação plástica e a tenacidade no momento da fratura, identificou-se ductilidade somente nas amostras reforçadas com argamassa armada e adição. Esta constatação deve-se mais especificamente, a performance dos conectores em resistir à tensão de tração gerada horizontalmente;

- avaliando a durabilidade, foram estudadas amostras das argamassas utilizadas nos prismas reforçados, uma vez que esse material contribui substancialmente como barreira física na proteção das armaduras. Por consequência, verificou-se que a amostra com traço “forte” e 15% de adição de metacaulim, sobressaiu diante das demais amostras nos ensaios, a saber: (a) maior resistência á compressão e módulo de elasticidade, indicando menor porosidade; (b) maior velocidade da onda ultrassônica, sendo classificada como “bom” segundo literatura, denotando satisfatória compacidade da amostra; (c) menor absorção de água, em que pese não mostrar diferença significativa entre as amostras de referência e com adição, apresentando resultados mais desfavoráveis às amostras com adição por substituição de parte do cimento; (d) menor espessura carbonatada, classificada como “média” (considerando o nível de profundidade de carbonatação) de acordo com a literatura, configurando interessante condição de proteção em centros urbanos; (e) menor teor de cloretos solúveis, significando natureza importante para regiões marinhas;

- ressalta-se ainda concernente a durabilidade que, a substituição de parte do cimento por metacaulim se posicionou sempre aquém das amostras com adição, e, em alguns casos com desempenho abaixo das amostras sem adição, caracterizando a importância do cimento;

- os resultados da resistência à compressão dos prismas diante de requisitos normativos pertinentes, mostraram o atendimento no suporte das cargas atuantes, levando em consideração o fator redutor devido efeito de flambagem, por parte das amostras reforçadas com argamassa armada e adição de 15% de metacaulim. Então, seria prudente avaliar a

especificação para os edifícios tipo “caixão”, reforço em todas as paredes da super-estrutura;

- reitera-se que as paredes de alvenaria resistente (sem reforço) não deixam de atender tão somente as cargas atuantes, mas também não impõe a condição dúctil necessária, bem como precisam de ações que eleve a durabilidade (adição de pozolana). Nesse contexto, o modelo de reforço proposto, sob as mesmas hipóteses, contribui para ductilidade e eleva a durabilidade, tornando-se, uma importante opção de reforço para as alvenarias resistente existente, porém sendo inconcebível para novas construções. Em projetos, só é admissível critérios rigorosos e normativos;

- mesmo sabendo que essas construções em alvenaria resistente uma vez reforçada devam atender a todas as exigências concernentes a critérios de elevado desempenho, habitabilidade e durabilidade, os órgãos públicos pertinentes devem responsabilizar no rigor da lei seus usuários por eventuais prevaricações dos requisitos a serem estabelecidos para o bom uso e manutenção das edificações com essa característica. Por conseguinte, faz-se necessária implantação de um plano holístico de gestão para manutenção preventiva e corretiva, partindo desde a elaboração de amplo manual de uso e manutenção até regimentos próprios e específicos, para que se possa garantir que absurdos não continuem acontecer, tais como: retirada de paredes, alteração da planta original com acréscimos, readequação de áreas dos imóveis, ausência de vergas e contra vergas, vigas tipo cinturão em todos os pavimentos, vigas radier, etc.

7.2 – Sugestões de pesquisas futuras

Entende-se que outros trabalhos podem contribuir com aspectos que agreguem informações de reforço para alvenaria resistente, tais como:

- Utilizar argamassa projetada, a fim de atribuir celeridade e maior homogeneidade na energia de aplicação;
- verificar o desempenho de argamassas industrializadas, na medida em que se atendam aos critérios estabelecidos e propriedades adequadas às solicitações mecânicas e as relacionadas à durabilidade;
- averiguar essas paredes sem e com reforço mediante ação de incêndio, em vista que as edificações tipo “caixão” sendo reforçadas, em regra, não possuem critérios mínimos de segurança, ou seja, não possuem qualquer tipo de dispositivos de combate a incêndio;
- investigar a relação entre o dimensionamento de paredes de alvenaria resistente pelo método das paredes isoladas e considerando espalhamento de cargas, objetivando acessar possíveis atenuações das cargas atuantes em determinadas paredes;
- utilização de outras pozolanas, com o cunho de investigar a eficácia no que tange aspectos relacionados à durabilidade.
- verificar a utilização de chapisco ou outra fonte de aderência entre o revestimento existente e a nova argamassa de revestimento de reforço.

REFERÊNCIAS

ALCOCER, S.M. et al. **Retrofitting of confined masonry walls with welded wire mesh.** In World Conference on Earthquake Engineering. Acapulco, México, 1996.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM C 62 - **Standard Specification for Building Brick (Solid Masonry Units Made From Clay or Shale)**, 2013.

_____, ASTM C 67 – **Standard Method of Sampling and Testing Brick and Structural Claytile**, 1983.

_____, ASTM C 270 – **Standard Specification for Mortar for Unit Masonry**, 1982.

_____, ASTM C 494 - **Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete**, 2013.

_____, ASTM C 618 - **Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete**, 2012.

_____, ASTM C 642 - **Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete**. 2006.

_____, ASTM C 1152 - **Standard Test Method for Acid-Soluble Chloride in Mortar and Concrete**, 2012.

_____, ASTM C 1260 - **Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar-Bar Method)**, 2014.

ANDRADE, S. M. **Influência das características do revestimento na resistência à compressão de paredinhas de alvenaria de blocos cerâmicos de vedação.** Dissertação (Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, 2007.

ANGELIM, R. R. **Influência da adição de finos calcários, silicosos e argilosos no comportamento das argamassas de revestimento.** Dissertação de mestrado. Goiana, 2000.

ARAÚJO NETO, G. N de. **Influência da argamassa de revestimento na resistência à compressão em prismas de alvenaria resistente de blocos de concreto.** Dissertação (Mestrado), Universidade Católica de Pernambuco, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738 – **Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova.** Rio de Janeiro, 2015.

_____, NBR 5739 – **Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos.** Rio de Janeiro, 2007.

_____, NBR 6118 – **Projetos de estruturas de concreto – Procedimento.** Rio de Janeiro, 2014.

_____. NBR 6467 – **Agregados – Determinação do inchamento de agregado miúdo.** Rio de Janeiro, 2009.

_____. NBR ISO 6892-1 – **Materiais metálicos — Ensaio de Tração Parte 1: Método de ensaio à temperatura ambiente.** Rio de Janeiro, 2015.

_____. 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, 1997.

_____. NBR 7219 - **Determinação do teor de materiais pulverulentos nos agregados.** Rio de Janeiro, 1987.

_____. NBR 7222 – **Concreto e Argamassa - Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos.** Rio de Janeiro, 2011.

_____. ABNT NBR NM 45 - **Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios.** Rio de Janeiro, 2006.

_____. NBR 8802 – **Concreto endurecido – Determinação da velocidade de onda ultrassônica.** Rio de Janeiro, 2013.

_____. NBR 9778 - **Argamassas e concretos endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica.** Rio de Janeiro, 2009.

_____, NBR 12142 – **Concreto – Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de probas prismáticos.** Rio de Janeiro, 2010.

_____, NBR 12653 – **Materiais Pozolânicos – Requisitos.** Rio de Janeiro, 2015.

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

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

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

_____. NBR 13528 - **Argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração**. Rio de Janeiro, 2010.

_____, NBR 13749 - **Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Especificação**. Rio de Janeiro, 2013.

_____, NBR 13818 – **Placas cerâmicas para revestimento – Especificações e métodos de ensaios**. Rio de Janeiro, 1997.

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

_____, NBR 15270-1 – **Componentes cerâmicos – Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação – Terminologia e requisitos**. Rio de Janeiro, 2005.

_____, NBR 15270-2 – **Componentes cerâmicos – Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural – Terminologia e requisitos**. Rio de Janeiro, 2005.

_____, NBR 15270-3 – **Componentes cerâmicos – Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e vedação – métodos de ensaio**. Rio de Janeiro, 2005.

_____, NBR 15630 – **Argamassa para assentamento e restimento de paredes e tetos – Determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultrassônica** . Rio de Janeiro, 2009.

_____, NBR 15894-3 – **Metacaulim para uso com cimento portland em concreto, argamassa e pasta – Determinação da finura por meio da peneira 45 µm**. Rio de Janeiro, 2010.

_____, NBR 15961-1 – **Alvenaria estrutural – Bloco de concreto. Projeto**. Rio de Janeiro, 2011.

_____, NBR 15961-2 – **Alvenaria estrutural – Bloco de concreto. Execução e controle de obras.** Rio de Janeiro, 2011.

_____, NBR 15812:2010 – **Alvenaria estrutural – Blocos cerâmicos Parte 1: Projetos.** Rio de Janeiro, 2010.

_____, NBR ISO/IEC 17020 – **Avaliação de conformidade — Requisitos para o funcionamento de diferentes tipos de organismos que executam inspeção.** Rio de Janeiro, 2013.

_____. NBR NM 67 – **Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.** Rio de Janeiro, 1996.

_____, NBR NM 49. **Agregados finos – Determinação de impurezas orgânicas.** Rio de Janeiro, 2001.

_____, NBR NM 248. **Agregados - Determinação da composição granulométrica,** Rio de Janeiro, 2003.

AZEVEDO, A.G.C. **Avaliação comparativa da influência do revestimento simples e armado no comportamento compressivo de prismas e paredinhas de blocos cerâmicos de vedação.** Dissertação de mestrado. UNICAP. Recife, 2010.

BARATA, M. S. **Concreto de alto desempenho no estado do Pará: estudo de viabilidade técnica e econômica de produção de concreto de alto desempenho com os materiais disponíveis em Belém através do emprego de adições de sílica ativa e metacaulim.** Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1998.

BARATA, M. S.; DAL MOLIN, D.C.C. **Avaliação preliminar do resíduo caulínico das indústrias de beneficiamento de caulim como matéria-prima na produção de uma metacaulinita altamente reativa.** Ambiente Construído, v. 2, n. 1, p. 69-78, 2002.

BARBOSA, F.R. Entrevista concedida a João Manoel de Freitas Mota. Recife - PE, Fevereiro de 2013.

BARBOSA, C. S.; HANAI, J. B.; BARBO, R. R. C. **Influência do processo de cura nas propriedades mecânicas da argamassa de assentamento para alvenaria estrutural.** In: VI Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas. Florianópolis, 2005.

BARBOSA, F. R.; MOTA, J. M. F.; CARNEIRO, A. M. P.; **Influência do teor de adição de metacaulim nas propriedades no estado endurecido: Capilaridade e resistência mecânica de argamassas inorgânicas para recuperação de monumentos históricos.** In: XI – ENTAC – Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Florianópolis - SC, 2006.

BERNARDIN, Adriano Michael. **Evolução microestrutural de porcelanas brancas de queima rápida.** Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2006.

BORONIO, G. **The role of Brick pebbles and Austin conglomerates based on hydrated lime and crushed bricks.** Const. build mater, 1997.

BOYNTON, R. S.; GUTSCHICK, K. A. **Aderência de argamassa a elementos de alvenaria – fatores que influenciam a resistência, extensão e durabilidade da aderência.** Notas técnicas nº 3 sobre argamassa de assentamento de componentes de alvenaria, da National lime Association, 1964.

BRETANHA, A; DAL MOLIN, D. **Concreto com cinza de casca de arroz frente ao ataque por sulfatos.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO. Salvador, 1999.

BRITISH STANDARD INSTITUTION. BS 5628: Part. 1: **structural use of unreinforced masonry.** BSI. London, 1992.

CHASE, G.W. **Investigations of the Interface between Brick and Mortar.** The Masonry Society Journal, Vol. 3, 1984.

CALDARONE, M. A. et al. **High-reactivity metakaolin: A New generation mineral admixture**. Concrete International, 1994.

CALLISTER, W. D. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**. 5ed. LTC, São Paulo, 2000.

CAMACHO, J. S. **Projeto de edifícios de alvenaria estrutural**, notas de aula. UNESP. Ilha Solteira – SP, 2001.

CANDIA, M. C.; FRANCO, L. S. **Contribuição ao estudo das técnicas de preparo da base no desempenho dos revestimentos de argamassas**. Boletim Técnico, USP, São Paulo, 1998.

CARASEK, H. **Aderência de argamassa à base de cimento portland a substratos porosos – avaliação dos fatores intervenientes e contribuição ao estudo do mecanismo da ligação**. Tese de Doutorado, USP. São Paulo, 1996.

_____. **Fatores que exercem influência na resistência de aderência de argamassas**. In: **II Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas**. Salvador, 1997.

CARASEK, H.; CASCUDO, O.; JUCÁ T. **Estudo de casos de descolamento de revestimento de argamassa aplicada sobre estrutura de concreto**. In: SBTa. Florianópolis, 2005.

CARASEK, H.; CASCUDO, O.; SCARTEZINI, L. M. **Importância dos materiais na aderência dos revestimentos de argamassas**. In: **IV Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas**. Brasília, 2001.

CARNEIRO, A. M. P. **Contribuição ao estudo da influência do agregado nas propriedades de argamassas compostas a partir de curvas granulométricas**. Tese de doutorado, EPUSP. São Paulo, 1999.

CARMO, J. B. M. do. **Análise comparativa do desempenho de concretos compostos com sílica ativa e metacaulim face à resistência mecânica e à viabilidade econômica.** Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2006.

CARVALHO JR., A. N.; BRANDÃO, P. R. G.; FREITAS, J. M. C. **Relação entre a resistência de aderência de revestimento de argamassa e o perfil de penetração de pasta de aglomerante nos poros dos blocos cerâmicos.** In: VI Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas. Florianópolis, 2005.

CASALI, J. M. et. al. **Avaliação da influência do processo de mistura na resistência à compressão de argamassa para assentamento de alvenaria estrutural.** In: IV Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. Brasília, 2001.

CASCUDO, O. **O Controle da Corrosão de Armaduras em Concreto: Inspeção e Técnicas Eletroquímicas.** 1. ed. PINI. São Paulo, 1997

CAVALHEIRO, O. P. **Comportamento de pequenas paredes de blocos cerâmicos de vedações comuns submetidos à compressão axial: Influência do revestimento e correlações com as resistências de prismas e de unidades.** UFSM, Santa Maria, 1991.

_____. **Resistência e deformidade de pequenas paredes em alvenaria cerâmica tradicional.** 5th International seminar on structural masonry for developing countries. Florianópolis – Brasil, 1994.

CHEEMA, T.S.; KLINGNER, R.E. Compressive strength of concrete masonry prisms. ACI Journal, 1986.

CERVO, T.C.; GASTALDINI, A.L. G & ISAIA, G.C. **Ação de pozolanas na durabilidade do concreto frente a cloretos.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO. Foz do Iguaçu, 2001.

CHRISTÓFOLLI, Jorge Luiz. **Estudo de argilas calcinadas para produção de cimento Portland pozolânico na região de Curitiba, Paraná – Brasil**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2010.

CINCOTTO, M. A. SILVA, M. A. C.; CARASEK, H. **Argamassas de revestimento: características, propriedades e métodos de ensaio**. (Boletim 68). São Paulo, 1995.

CORDEIRO, G.C. **Concreto de alto desempenho com metacaulinita**. 2001. 123 p. Dissertação (Mestrado em ciências de Engenharia) – Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2001.

COSTA e SILVA, A. J. **Descolamento dos revestimentos cerâmicos de fachada na cidade do Recife**. Dissertação de mestrado, USP, São Paulo, 2001.

COSTA e SILVA. A.J.; MOTA, J.M.F.; BARBOSA, F.R. **Avaliação da influência da argamassa de revestimento na capacidade mecânica de prismas de blocos cerâmicos estruturais**. SBTA. Fortaleza, 2013.

COSTA e SILVA, A.J.; MOTA, J.M.F.; BARBOSA, F.R.; VIEIRA, J.O. **Avaliação comparativa da perda de água da argamassa em diferentes bases**. ENTAC. Canelas-RS, 2010.

COURARD, L.; DARIMONT, A.; SCHOUTERDEN, M.; FERAUCHE, F.; WILLEM, X; DEGEIMBRE, R. **Durability of mortars modified with metakaolin**. Cement and Concrete Research, 2003.

C.S.T.C. **Fissuration des maçonneries**. Centre Scientifique et Technique de la Construction. Bruxelas, 1967.

CUNHA, F. A.; CINCONTTO, M.A. **Efeito de adições ativas na mitigação das reações álcali-sílica e álcali-silicato**. 18p. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. (BT/PCC/498). São Paulo, 2008.

CUNHA, E. H.; GUIMARÃES, G. N. & CARASEK, H. **Influência do tipo de argamassa na resistência a compressão da alvenaria estrutural**. In: IV Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. Brasília, 2001

CURCIO, F.; De ANGELIS, B. A.; PAGLIOLICO, S. **Metakaolin as pozzolanic microfiller for high-performance mortars**. Cement and concrete research, 1998.

DAL MOLIN, D. C. C. **Contribuição ao estudo das propriedades mecânicas dos concretos de alta resistência com e sem adição de microssílica**. Tese de doutorado – USP. São Paulo, 1995.

DAVIDOVITS, F. **Les morters de pouzzolanes artificielles chez vitrure évolution et historique architecturale**. Université Paris, 1993.

DETRICHÉ, C.H.; GALLIAS, J.L.; GRANDET, J.; MASO, J.C. **Influence des paramètres de mise en oeuvre et de composition sur le comportement des mortiers d'enduit**. Matériaux et constructions, 1985.

DOURADO, K.; MOTA, J.M.F.; BARBOSA, F.R. **Influência da pozolana em concretos moldados em caruaru – Pernambuco – brasil**. xi congresso latinoamericano de patologia de la construcción y xiii congreso de control de calidad en la construcción. CONPAT. Guatemala, 2011.

DUPIN, I.; DÉTRICHÉ, C.H.; MASO, J.C. **Accrochage direct d'un enduit sur un isolant par une liaison de type mécanique dans le cadre d'un procédé d'isolation par l'exterieur**. Matériaux et constructions, 1988.

EHSANI, M.R.; SAADATMANESH, H. **Seismic retrofitting of URM walls with fiber composites**. The masonry society journal. 1996.

FERREIRA, R.B. **Influência das adições minerais nas características do concreto de cobrimento e seu efeito na corrosão de armadura induzida por cloretos**. Dissertação

(Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2003.

FIGUEIREDO, A. D. **Concreto com fibra de aço. Boletim técnico da PCC/USP.** ISSN 0103-9830 BT/PCC/260. São Paulo, 2000.

FIGUEIREDO, A.D.; HELENE, P.R.L. **O ensaio de punção de placas para o controle da tenacidade no concreto com fibras de aço.** In. IV Congresso Ibero americano de Patologia das Construções e VI Congresso de Controle da Qualidade - CONPAT 97. Porto Alegre, Brasil. 21 a 24 de Outubro de 1997.

FIGUEIREDO, C. R. **Manual de Argamassas e Revestimentos.** São Paulo: Editora Pini, 1994.

FREIRE, K. R. R. **Avaliação do desempenho de inibidores de corrosão em armaduras de concreto.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2005.

GALLEGOS, H. A. **Adhesiõn entre mortero y las unidades de albañileria.** In: I Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. Goiana, 1995.

GALVÃO, S. P. **Avaliação do desempenho de argamassa de reparo estrutural à base de cimento Portland modificadas por polímero e contendo adições.** Dissertação de mestrado. UFG. Goiânia, 2004.

GARDOLINSKI, J. E.; MARTINS FILHO, H. P. M.; WYPYCH, F. **Comportamento térmico da caulinita hidratada.** Quim. Nova, v. 26 (1), p. 30-35, 2003.

GRIM, R.E., **Applied Clay mineralogy.** New tork: McGRAW-HILL BOOK COMPANY. INC., 1962.

GOMES, I. R. **Simulação numérica do ensaio de compressão de prisma de alvenaria pelo método dos elementos finitos com comportamento de interface.** Tese de Doutorado 160P. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2001.

GOMES, A. M.; AGUIAR, J. E.; NETO, H. A.; COSTA, J. O. **Permeabilidade do concreto: um estudo para a avaliação “in situ” usando instrumentos portáteis e técnicas tradicionais.** 3rd Pan-American Conference for Nondestructive Testing. Rio de Janeiro, 2003.

GOODWIN, J. F.; WEST, H. W. **A review of literature on brick/mortar bond.** The British Ceramic Research Association, July, 1980.

GROOT, C.J.W.P.; LARBI, J. **The influence of water flow (reversal) on bond strength development in young masonry.** Heron, 1999.

GRUBER, K.A.; RAMLOCHAN, T.; BODDY, A.; HOOTON, R.D & THOMAS, M.D.A.

Increasing concrete durability with high-reactivity metakaolin. , 2001.

HAN, K.M.; KISHITANI, K.A. **A study on the bond strength of brick mortars.** Journal of the faculty of engineering, the University of Tokyo, 1984.

HELENE, P.R. L. **Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado.** Tese (Livre Docência) - Escola Politécnica da USP, São Paulo, 1993.

HELENE, P. R. L. **Manual Prático para Reparo e Reforço de Estruturas de Concreto.** Editora PINI. São Paulo, 1995.

HELENE, P. R. L.; MEDEIROS, M. H. F. **Estudo da Influência do metacaulim HP como adição de alta eficiência em concretos de cimento Portland.** Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2004.

IRIMIES, M; CRAINIC, L. **Behavior of repair/strengthened unreinforced masonry shear walls.** North American Masonry Conference, 6, Drexel University, 1993.

JABAROV, M. et al. **Strengthening of damaged masonry by reinforced mortar layers.** World Conference on Earthquake Engineering, 7, vol., 1985.

JAPAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS. **Method of tests for compressive strength and compressive toughness of steel fiber reinforced concrete.** JSCE-SF5. Concrete Library of JSCE. Part III-2 Method of tests for steel fiber reinforced concrete. nº 3 June 1984b. P.63-6.

JORNAL DIÁRIO DE PERNAMBUCO. **Reportagem: Riscos de prédios caixão na RMR são debatidos em Fórum Técnico.** Recife, 22/11/2012.

KAHN, L.F. **Shotcrete retrofit for unreinforced brick masonry.** World Conference on Earthquake Engineering, 8, San Francisco, 1984.

KAMPF, L. **Factors affecting bond off mortar to Brick.** Symposium on Masonry Testing. American Society for testing and materials, 1963.

LACERDA, C. S.; HELENE, P. R. L. **A durabilidade de concretos de alto desempenho com metacaulim frente à penetração de íons cloreto.** In: SEMENGO Seminário e Workshop em Engenharia Oceânica, 2004.

LACERDA, C. S.; HELENE, P. R. L. **Estudo da influência da substituição de cimento Portland por metacaulim em concretos.** Boletim Técnico da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

LAMANA, A. et al. **Adherencia entre mortero y bloques de hormigon:** Influência de diferentes variáveis, 1970.

LA ROVERE, H. L.; RODRÍGUEZ, R. M. **Análise do comportamento mecânico de prisma de alvenaria de blocos de concreto pelo MEF.** In: Jornada sul-americana de Engenharia Estrutural, XXVIII. São Paulo, 1997.

LAWRENCE, S. J.; CAO, H. T. **An experimental study of the interface brick and mortar.** In: North American Masonry Conference. Los Angeles, 1987.

LEVY, S. M. **Contribuição ao estudo da durabilidade de concretos produzidos com resíduos de concreto e alvenaria.** 199 p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2001.

LIDUÁRIO, Alfredo Santos. **Contribuição ao estudo das propriedades térmicas do concreto convencional na presença das adições minerais.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2006.

LUZ, A. B.; CAMPOS, A. R. de.; CARVALHO, E. A.; BERTOLINO, L. C. **Caulim. Rochas e minerais Industriais.** CETEM. Rio de Janeiro, 2005.

MASSAZZA, F. **Pozzolanic Cements.** *Cement e Concrete Composites*, v.15, p.185-214, 1993.

MINISTÉRIO PÚBLICO FEDERAL. **Nota à imprensa: MPF e MPPE esclarecem informações sobre prédios-caixão.** Recife, 08/03/10.

MITCHELL, J. K. **Fundamentals of soil behavior.** Berkeley: University of California. Inc: John Wiley; Sons, 1976.

MEDEIROS, M.H.F. **Estruturas de concreto com corrosão de armaduras por carbonatação:** Comparação de argamassas de reparo quanto à proteção do aço. Dissertação (mestrado em Engenharia Civil) – Escola politécnica da USP. São Paulo, 2002.

MEDINA, Engler Apaza. **Pozolanicidade do metacaulim em sistemas binário com cimento Portland e hidróxido de cálcio.** Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2011.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais.** São Paulo, 2008.

MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais.** Pini. São Paulo, 1994.

METACAULIM do Brasil Indústria e Comércio Ltda. **Estudo da influência do metaculimHP como adição de alta eficiência em concretos de cimento portland.** USP, São Paulo, 2003.

MOHAMAD. G. **Comportamento mecânico na ruptura de prismas de alvenaria de blocos de concreto.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998.

MONTANHEIRO, T. J.; YAMAMOTO, J. K.; SANT' AGOSTINO, L. M.; KIHARA, Y.; SAITO, M. M. **Terras diatomáceas: uma pozolana natural na Bacia do Paraná, estado de São Paulo.** Revista do Instituto Geológico. São Paulo, 2002.

MOTA, J. M. F. **Influência da Argamassa de Revestimento na Resistência à Compressão Axial em Prismas de Alvenaria Resistente de Blocos Cerâmicos.** Dissertação de Mestrado. UFPE – Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2006. PE – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2006.

MOTA J.M.F.; ARAÚJO G.; OLIVEIRA, R. **Influência da argamassa de revestimento na resistência à compressão axial em prismas de alvenaria resistente de blocos cerâmicos.** Anais das XXXII Jornadas Sulamericanas de Engenharia Estrutural. Campinas-SP, 2006.

MOTA, J.M.F.; BARBOSA, F.; COSTA e SILVA, A.J.; **Corrosão de Armadura em Estruturas de Concreto Armado devido ao Ataque de Íons Cloreto.** IBRACON. Maceió, 2012.

MOTA, J.M.F.; BARBOSA, F.R.; COSTA e SILVA, A.J.; SILVA, G.A.; SOUZA, P.A.S.; OLIVEIRA, R.A. **Estudo comparativo entre o desempenho de argamassas inorgânicas contendo metacaulim – opções de substituição de parte do cimento e simples adição à mistura.** SBTA. Porto Alegre, 2015.

MOTA, J. M. F.; CARASEK, H.; COSTA E SILVA, A. J.; BARBOSA, F. R.; FEITOSA, A.; SANTOS, W. In: **Argamassas inorgânicas com adição de metacaulim.** XI SBTA – Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassa. Belo Horizonte – MG – 2011.

MOTA, J.M.F.; COSTA e SILVA, A.J.; CARASEK, H.; BARBOSA, F.R. **Análise em obra da resistência de aderência de revestimentos de argamassa com o preparo do substrato com solução de cal e chapisco.** X Congreso Latinoamericano de Patología y XII Congreso de Calidad en la Construcción. CONPAT. Valparaíso-Chile, 2009.

MOTA, J.M.F.; COSTA e SILVA, A.J.; BARBOSA, F.R.; ANDRADE, T.W.C.O., DOURADO, K.C.A. **Avaliação da contaminação por íons cloreto em amostras de concreto submetidas a condições agressivas.** Cinpar. Córdoba, 2010.

MOTA, J.M.F.; COSTA e SILVA, A.J.; BARBOSA, F.R.; SIVVA, A.C.; FEITOSA, A.G.F.; SANTOS, W.W.; SIMÃO, D.W.G. **Influência de metacaulim em argamassas.** ENTAC. Canelas-RS, 2010.

MOTA, J.M.F.; DOURADO, K.C.; BARBOSA, F.R.; COSTA e SILVA, A.J.; SILVA, E.J.; CARVALHO, J.R. **Concretos Adicionados com Metacaulim como agente de mitigação da RAA.** IBRACON. Florianópolis, 2011.

MOTA, J.M.F.; OLIVEIRA, R.A.; COSTA e SILVA, A.J.; BARBOSA, F.R.; CARVALHO, J.R. **Influência da espessura da argamassa de assentamento na resistência à compressão axial de prismas de blocos cerâmicos.** IBRACON. Maceió, 2012.

MOTA J.M.F.; OLIVEIRA, R. **Formas de ruptura em prismas de alvenaria Resistente de blocos cerâmicos.** II Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas. Rio de Janeiro-RJ, 2007.

MOTA, J.M.F.; OLIVEIRA, R.A. **USE OF POZZOLAN IN REINFORCEMENT MORTAR FOR NON-STRUCTURAL MASONRY.** 15th International Brick and Block Masonry Conference. Florianópolis, 2012.

MOTA, J.M.F.; OLIVEIRA, R.A. **Modelo de reforço com argamassa armada com adição de pozolana para alvenaria resistente.** IBRACON. Gramado, 2013.

MOTA, J.M.F.; OLIVEIRA, R.; COSTA e SILVA, A.J.; CARVALHO, J.R. **Argamassa armada com adição de metacaulim para reforço de alvenaria resistente**. SBTA. Fortaleza, 2013.

MOTA; OLIVEIRA; DOURADO, K. **Utilização de pozolana em argamassas de reforço para alvenarias resistentes**. In: 7º Congresso Internacional sobre Patologia e reabilitação de estruturas (CINPAR). Fortaleza-CE, 2011.

MOTA, J. M. F.; OLIVEIRA, R. A.; SILVA, A. C.; FEITOSA, A. G.; SANTOS, W. W.; SIMÃO, D. W. G. **Influência da adição de metacaulim nas propriedades de argamassas inorgânicas**. In: VI – CINPAR – Congresso Internacional sobre patologia e reabilitação de estruturas. Córdoba – Argentina, 2010.

MOTA, J.M.F.; PONTES, R.B.; CANDEIAS, J.A.; OLIVEIRA, M.F.; ALMEIDA H.T.; CARNEIRO, A.M.P. **Análise das patologias em estruturas de concreto na zona litorânea da cidade do Recife-PE. X Congreso Latinoamericano de Patología y XII Congreso de Calidad en la Construcción**. CONPAT. Valparaíso-Chile, 2009.

MONTE, M. B. de M.; PAIVA, P. R. P. de. TRIGUEIRO, F. E. **Técnicas alternativas para a modificação do caulim..** CETEM/MCT. Rio de Janeiro, 2003.

MOSEIS; ROJAS; JOSEPH COBRERA. **The effect of temperature on the hydration rate and stability of the hydration phases of metakaolion – lime – water systems**. School of Civil Engineering. University of Leeds, 2001.

MOROPOULOU, A.; BAKOLAS, A.; ANAGNOSTOPOULOU, S. **Composite materials in ancient structures**. School of Chemical engineering. Section of Materials Science and Engineering University of Athens, 2004.

NAKAKURA, E. H.; CINCOTTO, M. A. **Análise dos requisitos de classificação de argamassas de assentamento e revestimento**. Boletim técnico da USP, São Paulo, 2004.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 2. editora PINI. São Paulo, 1997.

NITA, Clovis. **Utilização de pozolanas em compósitos de cimento reforçados com fibras de celulose e pva.** Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.

NITA, C.; JOHN, V. M. **Materiais pozolânicos: o metacaulim e a sílica ativa.** Boletim Técnico da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

OLIVEIRA, C. A. S. **Avaliação microestrutural e comportamento físico e mecânico de concretos de alto desempenho produzidos com metacaulim.** Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2007.

OLIVEIRA, F. L. **Reabilitação de paredes de alvenaria pela aplicação de revestimentos resistentes de argamassa armada. Tese de Doutorado.** 203 P. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Carlos, São Paulo, 2001.

OLIVEIRA, F. L.; HANAI, J. B. **Análise do comportamento de paredes de alvenaria construídas com blocos cerâmicos de vedação.** VII International Seminar on Structural Masonry for Developing Countries. Belo Horizonte, 2002.

OLIVEIRA, R. A. **Relatório Final do desabamento do Edifício Aquarela.** Jaboatão dos Guararapes – PE. Recife – PE, 1997.

OLIVEIRA, R.A.; AZEVEDO, A. A. C.; AMORIM, W.R.; MOTA, J.M.F. **A influência da argamassa de revestimento com saibro na resistência à compressão em prismas de alvenaria resistente de blocos cerâmicos,** Revista Syposium. Recife, 2008.

OLIVEIRA, R. A.; AZEVEDO, A. A. C. **Influência da argamassa de revestimento com saibro na resistência a compressão axial de alvenaria resistente de blocos cerâmicos.** Trabalho de pesquisa, Universidade Católica de Pernambuco. Recife, 2006.

OLIVEIRA, R. A. et al. **Desenvolvimento de modelos para recuperação de edificações de alvenaria resistente.** Projeto financiado pelo FINEP – Financiadora de estudos e

projetos e ao CNPq – Conselho nacional de desenvolvimento científico e tecnológico. Recife, 2010.

OLIVEIRA, R. A.; PIRES SOBRINHO, C.W.A. **Acidentes com prédios construídos com alvenaria resistente na região metropolitana do Recife**. DAMSTRUC, João Pessoa – PB, 2006.

OLIVEIRA, R. A.; SILVA, F. A. N. ; SANTOS, L. V. ; AZEVÊDO, A. C. **Compressive Behavior of Ceramic Sealing Blocks and Concrete Prisms with and without the Addition of Resistant Mortar**. Symposium (Recife), 2008.

OLIVEIRA, R. A.; SILVA, F. A. N.; SOBRINHO C. W. P. **Edifícios Construídos com Alvenaria Resistente em Pernambuco - Situação Atual e Perspectivas Futuras**. In: O SINAENCO-PE e a Produção do Conhecimento - Coletânea de Artigos Técnicos. 1 ed. Recife: , 2008.

OTSUKI, N.; NAGATAKI, S.; HISADA. M. **Movimente of ions through mortar mixed with mineral admixtures**. In: PROCEEDINGS FIFTH INTERNATIONAL CONFERENCE. 1995, Milwaukee, Wisconsin, USA. Proceedings. Milwaukee, Wisconsin, USA : ACI, 1995.

PAES, I. L.; BAUER, E.; CARASEK, H. **Influência da Estrutura de poros de argamassas mistas e de blocos de concreto e cerâmico no desempenho dos revestimentos**. In: VI Simpósio Brasileiro de Tecnologia das argamassas. Florianópolis, 2005.

PALMER, L.A.; PARSONS, D.A. **A study of the properties of mortars and bricks and their relation to bond**. Bureau of standards journal of research, 1934.

PEREIRA et al. **Teor de cimento ou A/C: Quem exerce maior influência na resistência de aderência**. In: III Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas. Vitória - ES, 1999.

PETRUCCI, E. G. R. **Materiais de construção**. Porto Alegre: Globo, RJ, fundação acional de material escolar, 1976.

PIRES SOBRINHO et al. **Laudo Técnico: Causa do desabamento do Edifício Éricka, Jardim Fragoso, Olinda – PE**. Recife – PE, 2000.

PIRES SOBRINHO, C. W. A.; et al. **Metodologia para a caracterização de grau de risco ao desabamento de edificações em alvenaria resistente**. In: IX Congresso Latinoamericano de Patologia, Quito – Equador, 2007.

PIRES SOBRINHO, C. W.; OLIVEIRA, R. A.; SILVA, F. A. N.; ANDRADE, S. T. **Influência do revestimento, simples e armado, no comportamento de paredinhas em alvenaria de blocos cerâmicos de vedação**. In: 5o. CINPAR - Congresso Internacional sobre Patologia e Reabilitação de Estruturas. Curitiba, 2009.

QUARCIONI, V. A.; CINCOTTO, M. A. **Influência da cal em propriedades mecânicas de argamassa**. In: VI Simpósio Brasileiro de Tecnologia das argamassas. Florianópolis, 2005.

RAGO, F.; CINCOTTO, M. A. **Influência do tipo de cal hidratada nas propriedades de pasta cimento – cal**. In: II Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. Salvador, 1997.

RAMALHO, M. A.; CORRÊA, M. R. S. **Projeto de edifícios de alvenaria estrutural**. Editora Pini. São Paulo, 2003.

REGATTIERI, C.E.X.; HELENE, P. L. **Influência das adições do cimento na resistência à penetração de íons cloreto**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO. Salvador, 1999.

REINHORN, A.M.; PRAWEL, S.P. **Ferrocement for seismic retrofit of structures**. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON FERROCEMENT, 2., Roorkee, Índia, 1991.

RENSBURG, J. J. J. et al. **Factors influencing the bond strength between calcium silicate bricks and mortar**, 1978.

RIBAR, J. W.; DUBOVOY, U. S. **Investigation of masonry bond and surface profile of brick**. In Masonry: materials, design, construction and maintenance, American Society for testing materials, 1988.

REUNIÓN INTERNACIONALE DES LABORATOIRES D'ESSAIS ET THE RECHERCHES SUR LES MATERIAUX ET LES CONSTRUCCIONS – RILEM. **Measurement of hardened concrete carbonation depth: RILEM Recommendation CPC – 18**. Materials and Structures, 1988.

RODRIGUES, G.S.S. **Módulo de deformação estático do concreto pelo método ultrassônico**: estudo da correlação e fatores influentes. 2003. 187p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal. Goiânia, 2003.

ROCHA, G. G. N. **Caracterização microestrutural do metacaulim de alta reatividade**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2005.

ROMAN, H. R. **Alvenaria estrutural, diretrizes básicas para projeto**. UFSC. Florianópolis, (1999).

ROSSES, M.F.; SACIOTO, A .P.; BILHALVA, A.M.I. **Influência das Adições na Porosidade de Pastas de Cimento Portland**. In: CBC - CONGRESSO BRASILEIRO DE CIMENTO. São Paulo, 1996.

ROY, D.M.; ARJUNAN, P.; SILSBEE, M.R. **Effect of sílica fume, metakaolin and owcalcio fly ash on chemical resistance of concrete**¹¹¹. Cement and Concrete Research, 2001.

SAAD, M.; ANDRADE, W.P.; PAULON, V.A. **Properties of mass concrete containing na active pozzolan made for clay**. Concrte International, 1982.

SABBATINI, F.H. **O processo construtivo de edifícios de alvenaria estrutural sílcio calcário**. Dissertação de mestrado. São Paulo, 1984.

SABIR, B.B.; WILD, S.; BAI, J. **Metakaolin and calcined clays as pozzolans for concrete: a review**. Cement & Concrete Composites, v.23, p.441-454, 2001.

SANCHEZ, L. F. M. **Contribuição ao estudo dos métodos de ensaio na avaliação das reações álcali-agregado em concretos**. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo. São Paulo, 2008.

SCARTEZINI, L. M.; CARASEK, H. **Fatores que exercem influência na resistência de aderência à tração dos revestimentos de argamassas**. In: V Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas. São Paulo, 2003.

SHRIVE, N.G. **The failure mechanism of face-shell bedded (ungROUTED and unreinforced) masonry**. Masonry International, v.2, 1982.

SILVA, J.S.; MOTA, J.M.F.; GALVÃO, S.P.; **Ação da pozolana metacaulim em metriz cimentícia**. IBRACON. Gramado, 2013.

SILVA, F. A. N.; OLIVEIRA, R. A.; PIRES SOBRINHO, Carlos Welligton. **Influência do revestimento na resistência de paredes de alvenaria resistente de blocos cerâmicos**. In: XXXIII Jornadas Sulamericanas de Engenharia Estrutural, 2008, Santiago - Chile. Anais das XXXIII Jornadas Sulamericanas de Engenharia Estrutural. Santiago - Chile: ASAE, 2008.

SILVA, V. S. **Aderência de chapiscos em concretos estruturais – melhoria da microestrutura da zona de interface peça adição de sílica da casca do arroz**. Tese de Doutorado, USP – São Carlos. São Carlos, SP, 2004.

SILVA, P.S.; GLASSER, F.P.; **Hidratação of cements based on metakaolin chemistry**. Advanced in Cement Research, 1990.

SILVA, V. S. **Aderência de chapiscos em concretos estruturais – melhoria da microestrutura da zona de interface pela adição de sílica da casca do arroz.** Tese de doutorado – USP, São Paulo, 2004.

SILVA, V. S.; LIBORIO, J. B. L. **Avaliação do efeito da sílica extraída da casca do arroz na aderência de argamassas e chapiscos.** In: V Simpósio Brasileiro de Tecnologia de argamassas. São Paulo, 2003.

SINGH, K.K. et al. (1988). **Strengthening of brick masonry columns by ferrocement.** In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON FERROCEMENT APPLICATIONS AND PROGRESS, 3., Roorkee, Índia, 1988.

SOUZA, P.S.; DAL MOLIN, D.C. C. **Verificação da Influência do uso de metacaulim de alta reatividade, proveniente de rejeito industrial, na resistência à Compressão de concretos – relatório final.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 45. 2003, Vitória.

SOUZA, P. S. L.; DAL MOLIN, D. C. C. **Estudo da viabilidade do uso de argilas calcinadas, como metacaulim de alta reatividade (MCAR).** Revista Engenharia Civil, n.15, p.45-54, 2005.

SOUZA, P. S. L. **Verificação da influência do uso de metacaulim de alta reatividade nas propriedades mecânicas do concreto de alta resistência.** Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2003.

TAHA, M. M. R.; SHRIVE, N. G. **The use of pozollans to improve bond and bond strength.** 9th Canadian masonry symposium. Canadá, 2001.

THOMAZ, E. **Patologia - manual técnico de alvenaria.** São Paulo, 1990.

_____. **Tecnologia, Gerenciamento e Qualidade na Construção.** São Paulo: Editora Pini, 2001.

TORII, K.; SASATANI, T.; KAWAMURA, M. **Effects of fly ash, blast furnace slag, and silica fume on resistance of mortar to calcium chloride attack** . In: Proceedings fifth international conference, Milwaukee, Wisconsin. USA: ACI, 1995.

Van Vlack, L.H, **Princípios de Ciência e Tecnologia dos Materiais**. Editora Campus, 1970.

VU, D.D; STROEVEN, P.; BUI. **Strength and durability aspects of calcined kaolin-blended Portland cement mortar and concrete**. *Cement & Concrete Composites*, 2001.

WEST, H.W.H. **A note on the suction rate test for bricks**. Proceedings. British ceramic society, 1975.

WHITEHURST, E. A., **Evaluation of concrete properties from sonic tests**. Detroit: American Concrete Institute, 1966.

WILD, S.; KHATIB, J.M. **Portlandite consumption in metakaolin cement paste and mortars**. *Cement and Concrete Research*, 1997.

WILSON, M. A.; CARTER, M. A.; HOFF, W. D. **British standard and RILEM water absorption test: A critical evaluation**. *Matériaux et Constructions*, 1999.

WINCK, M. L.; ISAIA, G. C.; GASTALDINI, A. L. G. **Estudo comparativo entre adições calcárias e pozolânicas sobre a penetração de cloretos em concreto armado**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 42. Fortaleza, 2000.

WINSLOW, D.; LIU, D. **The pore structure of paste in concert**. *Cement and concrete research*, 1990.

YAZIGI, W. **A Técnica de edificar**, 6ª Ed., São Paulo: Editora Pini, 2004.

ANEXOS

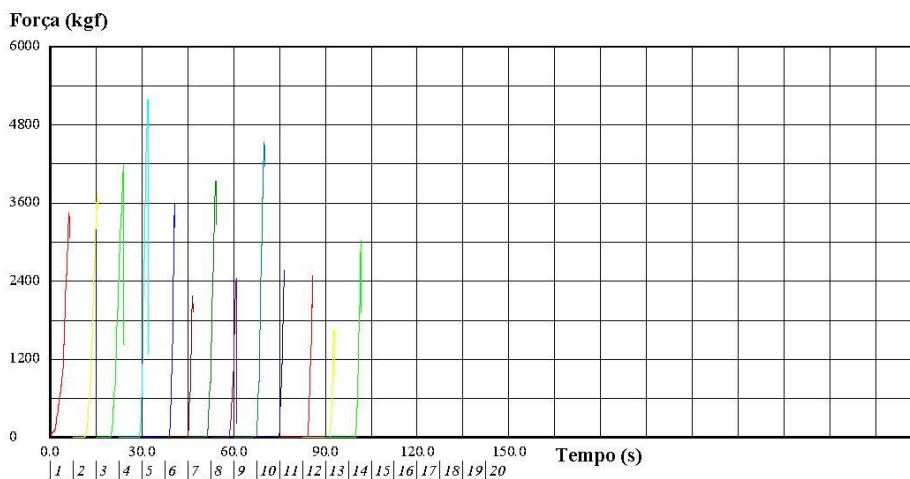
ANEXOS 1:**RELATÓRIOS DOS ENSAIOS DOS PRISMAS SEM REFORÇO**

TECOMAT

Relatório de Ensaio

[illegible]

Corpo de Prova	Área (mm ²)	Força @Força Max. (kgf)	Tensão @Força Max. (MPa)
CP 1	17100	3443	2.0
CP 2	17100	3752	2.2
CP 3	17100	4186	2.4
CP 4	17100	5200	3.0
CP 5	17100	3604	2.1
CP 6	17100	2179	1.2
CP 7	17100	3939	2.3
CP 8	17100	2455	1.4
CP 9	17100	4541	2.6
CP 10	17100	2562	1.5
CP 11	17100	2495	1.4
CP 12	17100	1653	0.9
CP 13	17100	3027	1.7
Número CPs	13	13	13
Média	17100	3310	1.899
Desv.Padrão	0.0000	1025	0.5880
Coef.Var.(%)	0.0000	30.97	30.97
Mínimo	17100	1653	0.9477
Máximo	17100	5200	2.982



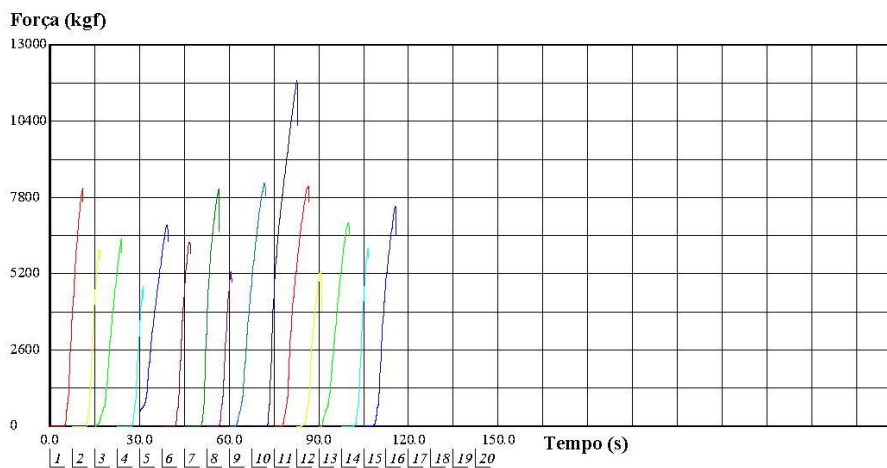
Prismas sem revestimentos (amostra A) - Força/Tempo

TECOMAT

Relatório de Ensaio

[illegible]

Corpo de Prova	Área (mm ²)	Força @Força Max. (kgf)	Tensão @Força Max. (MPa)
CP 1	25650	8128	3.1
CP 2	25650	6036	2.3
CP 3	25650	6393	2.4
CP 4	25650	4784	1.8
CP 5	25650	6858	2.6
CP 6	25650	6291	2.4
CP 7	25650	8110	3.1
CP 8	25650	5277	2.0
CP 9	25650	8311	3.2
CP 10	25650	11795	4.5
CP 11	25650	8191	3.1
CP 12	25650	5308	2.0
CP 13	25650	6937	2.7
CP 14	25650	6079	2.3
CP 15	25650	7517	2.9
Número CPs	15	15	15
Média	25650	7068	2.702
Desv.Padrão	0.0000	1737	0.6642
Coef.Var.(%)	0.0000	24.58	24.58
Mínimo	25650	4784	1.829
Máximo	25650	11800	4.510



Prismas com revestimento traço “fraco” (amostra C) - Força/Tempo

ANEXOS 2:**RELATÓRIOS DOS ENSAIOS DOS PRISMAS COM REFORÇO (BATERIA 2:
REFORÇO SOBRE BASE REVESTIDA)**

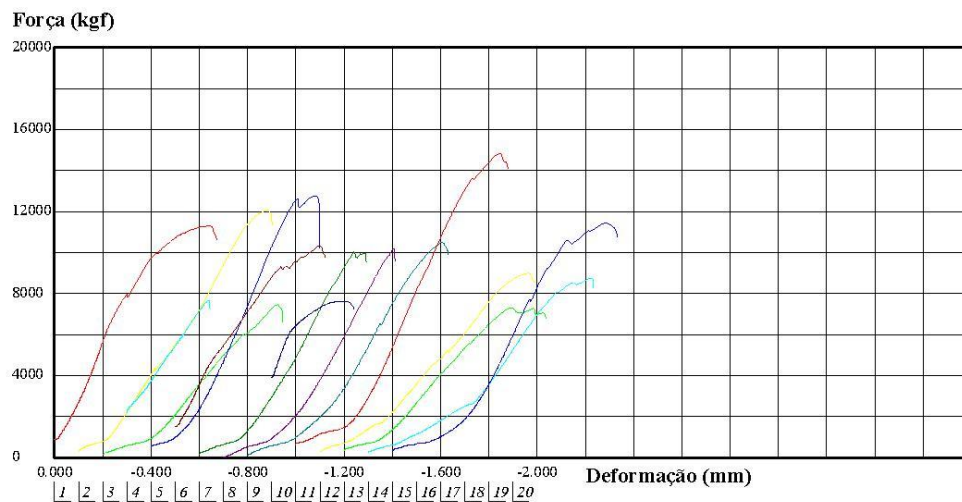
ANEXOS C:**RELATÓRIOS DOS ENSAIOS DOS PRISMAS COM REFORÇO (BATERIA 3:
REFORÇO SOBRE BASE SEM REVESTIMENTO)**

TECOMAT

Relatório de Ensaio

[illegible]

Corpo de Prova	Família (195x155)mm	Área (mm ²)	Força @Força Max. (kgf)	Tensão @Força Max. (MPa)
CP 1	Família VIII	30225	11320	3.7
CP 2	Família VIII	30225	12084	3.9
CP 3	Família VIII	30225	7494	2.4
CP 4	Família VIII	30225	7675	2.5
CP 5	Família VIII	30225	12794	4.2
CP 6	Família VIII	30225	10352	3.4
CP 7	Família VIII	30225	10043	3.3
CP 8	Família VIII	30225	10191	3.3
CP 9	Família VIII	30225	10493	3.4
CP 10	Família VIII	30225	7645	2.5
CP 11	Família VIII	30225	14850	4.8
CP 12	Família VIII	30225	9019	2.9
CP 13	Família VIII	30225	7318	2.4
CP 14	Família VIII	30225	8769	2.8
CP 15	Família VIII	30225	11453	3.7
Número CPs	0	15	15	15
Média	*	30230	10100	3.277
Desv.Padrão	*	0.0000	2183	0.7081
Coef.Var.(%)	*	0.0000	21.61	21.61
Mínimo	*	30230	7318	2.374
Máximo	*	30230	14850	4.818



Prismas com reforço (amostra VIII) - Força/deslocamento

ANEXOS D:

**RELATÓRIOS DOS ENSAIOS DOS PRISMAS DAS AMOSTRAS: BLOCOS, A, C,
V, X - COM APRESENTAÇÃO DE TENACIDADE
(Tensão/Deformação específica)**

