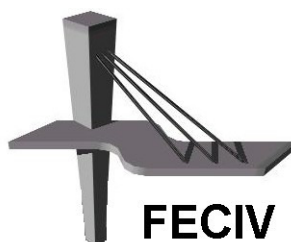


DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**ESTUDO DE MISTURAS SOLO CIMENTO
AGREGADO RECICLADO DE TELHAS
CERÂMICAS PARA FABRICAÇÃO DE BLOCOS
PARA ALVENARIA**

BLAINE ALVES DA SILVA

UBERLÂNDIA, 24 DE ABRIL DE 2015



FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL



Blaine Alves da Silva

**ESTUDO DE MISTURAS SOLO CIMENTO AGREGADO
RECICLADO DE TELHAS CERÂMICAS PARA
FABRICAÇÃO DE BLOCOS PARA ALVENARIA**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos para a obtenção do título de **Mestre em Engenharia Civil**.

Área da Concentração: Construção Civil

Orientador: Prof. Dr. João Fernando Dias

Uberlândia, 24 de abril de 2015.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

S586e Silva, Blaine Alves da, 1956-
2015 Estudo de misturas solo cimento agregado reciclado de telhas
cerâmicas para fabricação de blocos para alvenaria / Blaine Alves da
Silva. - 2015.
277 f. : il.

Orientador: João Fernando Dias.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia,
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.
Inclui bibliografia.

1. Engenharia civil - Teses. 2. Solo-cimento - Teses. 3. Telhas -
Teses. 4. Resíduos - Teses. I. Dias, João Fernando. II. Universidade
Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Civil. III. Título.

CDU: 624



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL



ATA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO ACADÊMICO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

ATA Nº: 139/2015

CANDIDATO: Blaine Alves da Silva

ORIENTADOR: Prof. Dr. João Fernando Dias

TÍTULO: "Estudo de misturas solo cimento agregado reciclado de telhas cerâmicas para fabricação de blocos para alvenaria"

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Estruturas e Construção Civil

LINHA DE PESQUISA: Construção Civil

DATA DA DEFESA: 24 de abril de 2015

LOCAL: Sala de Projeções da FECIV

HORÁRIO DE INÍCIO E TÉRMINO DA DEFESA: 8:00 h - 10:10 h

Após avaliação do documento escrito, da exposição oral e das respostas às arguições, os membros da Banca Examinadora decidem que o candidato foi:

☒ APROVADO

☐ REPROVADO

OBS:

Na forma regulamentar, foi lavrada a presente ata que está assinada pelos membros da Banca:

Professor Orientador: **Prof. Dr. João Fernando Dias – FECIV/UFU**

Membro externo: **Prof. Dr. Márcio Albuquerque Buson – FAU/UNB**

Membro interno: **Prof. Dr. Joaquim Mário Caleiro Acerbi – FECIV/UFU**

Uberlândia, 24 de ABRIL de 2015.

À Deus, pela oportunidade deste trabalho, ao meu pai (in memoriam), pelo exemplo, alegria, perseverança, garra pela vida e amor à família; à minha querida mãe pelo carinho, renúncia amor incondicional pelos filhos e exemplo de trabalho; à minha amada esposa e companheira pelo apoio e dedicação à causa do bem maior; às minhas amadas filhas, maiores incentivadoras desse mestrado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pela vida, aos meus queridos pais pela oportunidade desta reencarnação.

À minha querida esposa e filhas, que foram as maiores responsáveis e incentivadoras para que eu ingressasse nesse mestrado.

Aos meus amigos espirituais pelo apoio e fortalecimento moral nas horas difíceis e de desânimo.

A todos os professores que ministraram as disciplinas do mestrado; aprendi muito com vocês.

Ao meu amigo e orientador, Prof. Dr. João Fernando Dias, grande incentivador de nossa profissão e desta pesquisa, exemplo de vida acadêmica, que soube muito bem me orientar, incentivar, dar o apoio e transmitir o conhecimento necessário ao andamento e término deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Joaquim Mário Caleiro Acerbi que também me incentivou e contribuiu com seu conhecimento para realização deste estudo.

Ao Prof. Dr. Antônio Carlos dos Santos pela sua participação na minha qualificação e pela sua contribuição no aperfeiçoamento deste texto.

Aos técnicos dos laboratórios de materiais e estruturas, Wanderly e Cristiane, que me auxiliaram na execução dos ensaios, e em especial ao técnico do laboratório de geotecnia José Antônio Veloso, que mesmo depois de aposentado ainda me auxiliou nos trabalhos.

À Ação Moradia, na pessoa de Oswaldo Setti, que disponibilizou a fábrica de blocos vazados para realização de minha pesquisa; aos funcionários Elissangela e Sr. Oscar que também se dispuseram a me auxiliar e me acolheram muito gentilmente; e em especial às funcionárias Tatiana e Patrícia que trabalharam na confecção dos blocos.

Às secretarias, Sueli e Marianny, com sua dedicação, educação refinada e presteza que muito me auxiliaram.

À Universidade Federal de Uberlândia, que me graduou, e agora me proporcionou mais esta formação. Formou também minhas duas filhas, uma já possui o título de Mestre e a outra está cursando o mestrado profissional.

Aos ex-alunos da FECIV, hoje engenheiros, Raphael e Ismara que me auxiliaram no início dos trabalhos.

A todos aqueles que me apoiaram moralmente e torceram por esta realização.

Silva, B. A. Estudo de misturas solo cimento agregado reciclado de telhas cerâmicas para fabricação de blocos para alvenaria. 277 p. Dissertação de mestrado, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, 2015.

RESUMO

Esta pesquisa objetivou estudar a incorporação de resíduos de telhas cerâmicas britados na mistura solo cimento, para fabricação de blocos vazados, justificada pela quantidade desses resíduos gerados pelas indústrias de telhas cerâmicas, com potencial para reciclagem. Neste estudo procurou-se estabelecer uma energia de moldagem em laboratório compatível com a das prensas hidráulicas da fábrica. Utilizou-se o método de ensaio DNER-ME 258:1994 – Solos compactados em equipamento miniatura – Mini-MCV, observando-se que é possível moldar em laboratório corpos de prova com MEAS - massa específica aparente seca compatível com a dos blocos vazados produzidos na fábrica. Produziu-se 4 lotes de blocos vazados de solo cimento, cujos ensaios permitiram escolher a mistura mais adequada, o valor desejado da MEAS e o número de golpes compatível. Comparou-se as MEAS dos corpos de prova e dos blocos de solo cimento, houve compatibilidade de valores. Para o estudo das misturas com o ART - agregado reciclado de telha utilizou-se a metodologia de otimização dos volumes dos materiais, de forma a preencher os vazios do agregado com solo cimento compactado. A partir dos índices de vazios do agregado com cimento e do agregado puro iniciou-se o trabalho com duas misturas solo cimento agregado. Destas, por projeção resultaram outras misturas, que após ensaios permitiu selecionar a mais adequada. Com esta, fabricou-se blocos vazados cujos resultados dos ensaios atenderam a norma quanto à resistência, mas não quanto à absorção de água. Para reduzir a absorção, inseriu-se na mistura, aditivo impermeabilizante, estabilizante e extrato de Aloe vera, cujos ensaios dos corpos de prova acusaram valores dentro dos limites normativos para 2 casos. Produziu-se blocos vazados com a dosagem mais favorável, que ensaiados, atenderam aos requisitos de resistência, mas não de absorção. Os resultados obtidos indicam a viabilidade dos métodos e que o ART pode ser utilizado na fabricação de blocos vazados, mas depende da capacidade de prensagem da fábrica.

Palavras-chave: Bloco vazado de solo cimento com resíduos. Resíduos de telhas cerâmicas. Agregado reciclado de telha. Mistura solo cimento agregado.

Silva, B. A. Study of soil-cement recycled aggregate of ceramic tiles for the manufacture of masonry blocks. 277 p. Qualification MSc, Department of Civil Engineering, Federal University of Uberlândia, 2015.

ABSTRACT

This work aimed to study the incorporation of ceramic residues of tiles crushed in the soil-cement mixture in the manufacture of hollow blocks, justified by the amount of these wastes generated by the ceramic tile industry, with potential for recycling. This study aimed to determine a molding energy in laboratory compatible with that of the hydraulic presses of the factory. The DNER-ME 258:1994 test method – compacted soils miniature equipment – Mini-MCV were used, observing that it is possible to mold bodies of proof in laboratory with ASDM – apparent specific dry mass compatible with that of the hollow blocks produced in the factory. Four lots of soil-cement hollow blocks were produced, whose tests allowed to choose the most appropriate mixture, the desired value of ASDM and the number of compatible blows. The ASDM of soil-cement bodies and the blocks were compared, and there was compatibility of values. To study mixtures with the RTA – Recycled Tile Aggregate the optimization methodology of the volumes of materials was used in order to fill the gaps in the aggregate with compacted soil-cement. Starting from the gap indices of the aggregate containing cement and the pure aggregate the work began with two soil-cement aggregate mixtures. By projection, other mixtures resulted from these, which, after tests, allowed to select the most adequate. Using this one, hollow blocks were manufactured, whose test results met the standard with regard to strength, but not to water absorption. To reduce the absorption, a waterproofing additive, a stabilizer and an Aloe Vera extract were inserted in the mixture, whose bodies of proof tests registered values within the normative limits in 2 cases. Hollow blocks using the most favorable mix amount were produced, whose tests attended the strength requirements, but not the absorption ones. The results obtained indicate the feasibility of the methods, and that RTA can be used for manufacturing hollow blocks, although this depends on the pressing capability of the factory.

Keywords: soil-cement hollow block with residues. Ceramic residues of tiles. Tile recycled aggregate. Soil-cement aggregate mixture.

SÍMBOLOS, ABREVIATURAS E SIGLAS

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

<i>A</i>	Absorção de água do corpo de prova ou bloco
<i>Ac</i>	Altura do cilindro padrão do equipamento Mini MVC que é de 50 mm
<i>ART</i>	Agregado reciclado de telha
<i>BTC</i>	Bloco de terra compactada
<i>BTC</i>	Bloco de terra comum
<i>BTC-SCR</i>	Bloco de terra compactada – Solo cimento resíduos
<i>C</i>	Comprimento do bloco, maior dimensão da face de assentamento
<i>CP</i>	Corpo de prova
<i>d₃</i>	Massa específica do material
<i>E_v</i>	Índice de volume de vazios
<i>F</i>	Carga de ruptura do corpo de prova
<i>ft</i>	Resistência à compressão simples
<i>h</i>	Teor de umidade
<i>hm</i>	Teor de umidade médio
<i>H</i>	Altura do bloco, distância entre as faces de assentamento
<i>Hc</i>	Altura do corpo de prova
<i>IP</i>	Índice de Plasticidade
<i>Ka</i>	Constante de aferição do conjunto compactador-soquete do equipamento Mini MCV
<i>L</i>	Largura do bloco, menor dimensão da face de assentamento
<i>La</i>	Leitura inicial do extensômetro do equipamento Mini MVC para cálculo da Constante Ka
<i>LL</i>	Limite de Plasticidade
<i>LP</i>	Limite de plasticidade

<i>LR</i>	Limite de retração
<i>m/m</i>	Relação massa/massa de materiais
<i>M1</i>	Mistura 1 - Mistura em massa de ART + 32,27 % de solo compactado + 12,7 % de cimento em massa sobre a mistura
<i>M1_{sc}</i>	Mistura nominal 1: 8 (cimento, solo), umidade da mistura 8,45 %, 13,51 % de cimento em massa, mistura real em massa 1:7,403
<i>M2</i>	Mistura 2 - Mistura em massa de ART + 34,45 % de solo compactado + 12,7 % de cimento em massa sobre a mistura
<i>M2_{sc}</i>	Mistura nominal 1: 8 (cimento, solo), umidade da mistura 9,22%, 14,40 % de cimento em massa, mistura real em massa 1:6,943
<i>M3</i>	Mistura 3 - Mistura em massa de ART + 39,45 % de solo compactado + 12,7 % de cimento em massa sobre a mistura
<i>M3_{sc}</i>	Mistura nominal 1: 8 (cimento, solo), umidade da mistura 9,74 %, 11,91 % de cimento em massa, mistura real em massa 1:8,398
<i>M4</i>	Mistura 4 - Mistura em massa de ART + 41,10 % de solo compactado + 12,7 % de cimento em massa sobre a mistura
<i>M4m</i>	Linha da resistência média à compressão ou da absorção média dos corpos de prova moldados com a mistura M4
<i>M4AV5</i>	Mistura M4 + 5 % de extrato de Aloe vera – Mistura em massa de ART + 41,10 % de solo compactado + 12,7 % de cimento em massa sobre a mistura + 5% de extrato de Aloe vera
<i>M4AV5m</i>	Linha da resistência média à compressão ou da absorção média dos corpos de prova moldados com a mistura M4AV5
<i>M4E</i>	Mistura 4 + Ecolopavi - Mistura em massa de ART + 41,10 % de solo Compactado + 12,7 % de cimento em massa sobre a mistura + estabilizante Ecolopavi
<i>M4Em</i>	Linha da resistência média à compressão ou da absorção média dos corpos de prova moldados com a mistura M4Em
<i>M4S1</i>	Mistura 4 + 1% de Sika 1 – Mistura em massa de ART + 41,10 % de solo compactado + 12,7 % de cimento em massa sobre a mistura + 1% de aditivo Sika 1
<i>M4S1m</i>	Linha da resistência média à compressão ou da absorção média dos corpos de prova moldados com a mistura M4S1

<i>M4S4</i>	Mistura 4 + 4% de Sika 1 - Mistura em massa de ART + 41,10 % de solo compactado + 12,7 % de cimento em massa sobre a mistura + 4% de aditivo Sika 1
<i>M4S4m</i>	Linha da resistência média à compressão ou da absorção média dos corpos de prova moldados com a mistura M4S4
<i>M4S8</i>	Mistura 4 + 8% de Sika 1 - Mistura em massa de ART + 41,10 % de solo compactado + 12,7 % de cimento em massa sobre a mistura + 8% de aditivo Sika 1
<i>M4S8m</i>	Linha da resistência média à compressão ou da absorção média dos corpos de prova moldados com a mistura M4S8
<i>M4_{sc}</i>	Mistura nominal 1: 8 (cimento, solo), umidade da mistura 7,44 %, 12,70 % de cimento em massa, mistura real em massa 1:7,874
<i>M5</i>	Mistura 5 - Mistura em massa de 50 % de ART + 50,00 % de solo Compactado + 12,7 % de cimento em massa sobre a mistura
<i>M6</i>	Mistura 6 - Mistura em massa de ART + 41,10 % de solo compactado + 12,7 % de cimento em massa sobre o solo e 15,075 % de cimento em massa massa sobre o ART
<i>MEAS</i>	Massa específica aparente seca
<i>MEAU</i>	Massa específica aparente úmida
<i>mh</i>	Massa do material úmido
<i>m/m</i>	Massa/massa
<i>ms</i>	Massa do material seco
<i>M4_{sc}</i>	Mistura em massa de solo + 12,7 % de cimento em massa, umidade da mistura 8,75 %
<i>RCD</i>	Resíduo de construção e demolição
<i>Rmpc</i>	Recipiente metálico paralelepípedo para medida do cimento
<i>Rmps</i>	Recipiente metálico paralelepípedo para medida do solo
<i>S</i>	Área de aplicação da carga
<i>SCC</i>	Solo cimento compactado
<i>SCP</i>	Solo cimento plástico
<i>t</i>	Massa do recipiente vazio ou tara
<i>V</i>	Volume do recipiente
<i>ρ</i>	Massa específica dos grãos do solo

ρ_{as}	Massa unitária
ρ_s	Massa específica aparente seca
ρ_{sbh}	Massa específica aparente seca obtida através da balança hidrostática
ρ_a	Massa específica da água

SIGLAS

<i>ABCP</i>	Associação Brasileira de Cimento Portland
<i>ABNT</i>	Associação Brasileira de Normas Técnicas
<i>ACEMC</i>	Associação dos Ceramistas de Monte Carmelo
<i>CEPED/BA</i>	Centro de Pesquisas e Desenvolvimento da Bahia
<i>CINVA</i>	Centro Interamericano de Vivienda y Planeamiento
<i>CONAMA</i>	Conselho Nacional do Meio Ambiente
<i>DMAE</i>	Departamento de Água e Esgoto de Uberlândia
<i>DNER</i>	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
<i>FECIV</i>	Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia
<i>HRB</i>	Highway Research Board
<i>ICPA</i>	Instituto del Cemento Portland Argentino
<i>ONG</i>	Organização não Governamental
<i>PCA</i>	Portland Cement Association
<i>SINCOTAP</i>	Sindicato das Indústrias de Cerâmica e Olaria do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pag.
Figura 1.1 - Parte da fábrica da Ação Moradia, com prensas, palets e blocos vazados	36
Figura 1.2 – Obras em bloco de solo cimento fabricados pela ONG Ação Moradia	36
Figura 1.3a - Casa de funcionária da Ação Moradia em construção com blocos de solo cimento produzidos na Ação Moradia	36
Figura 1.3b - Vista mais detalhada da alvenaria	36
Figura 2.1 - Muralha da China	42
Figura 2.2 – Convento São Francisco - Argentina	43
Figura 2.3 - Ensaio de compactação Proctor normal	49
Figura 2.4a – Equipamento miniatura Mini-MCV	52
Figura 2.4b - Ensaio de compactação em equipamento miniatura Mini-MCV	52
Figura 2.5 - Diagrama representativo da relação entre o limite de retração (LR) e as variações de volume, da terra e da água evaporada, durante o processo de secagem	53
Figura 2.6 – Comparativo de custos dos serviços de estrutura, vedação e revestimentos	66
Figura 2.7 - Comparativo de produtividade (horas gastas na execução do serviço)	
Fonte: Adaptado de Penteado e Marinho (2011)	67
Figura 2.8 - Alvenaria de blocos aparentes de solo cimento, furos utilizados para passagem de tubulações e passagem de ferragem da estrutura	69
Figura 2.9 – Descarte de resíduos cerâmicos	79
Figura 2.10 - Local de deposição clandestina de cacos de telhas na periferia da cidade de Monte Carmelo/MG (mar./2000)	82
Figura 2.11 - Deposição clandestina de cacos de telhas na periferia da cidade de Monte Carmelo em 2011	82
Figura 2.12 – Amostra de Ecolopavi	89
Figura 2.13 – Planta Aloe vera/babosa	91

Figura 2.14a – Talos de Aloe vera para retirada da seiva	92
Figura 2.14b – Seiva pura de Aloe vera retirada dos talos	92
Figura 3.1– Depósito de solo e área de peneiramento coberto com tenda	94
Figura 3.2 - Baía contendo o ART	97
Figura 3.3 - Recipientes metálicos paralelepípedicos para medida dos materiais	98
Figura 3.4 - Absorção de água dos blocos de terra comprimida com diferentes concentrações de Aloe vera (Acíbar de sábila)	100
Figura 3.5 - Corpos de prova da argamassa desenvolvida para capeamento, capeados com enxofre para ensaio de compressão	101
Figura 3.6 - Matrizes utilizadas no ensaio de compressão	102
Figura 3.7 - Limite de liquidez do solo	104
Figura 3.8 - Curva granulométrica, Composição granulométrica, limites do solo	105
Figura 3.9 - Curva de compactação do solo	106
Figura 3.10 - Limite de liquidez do ART que passa na peneira com abertura de malha 2,00 mm	109
Figura 3.11 - Curva granulométrica, Composição granulométrica, limites do ART	109
Figura 3.12 – Dimensões da caixa e colocação do material	112
Figura 3.13a - Retração linear do solo – lado esquerdo	113
Figura 3.13b - Retração linear do solo – total	113
Figura 3.13c - Retração linear do solo – lado direito	113
Figura 3.14a - Retração linear da mistura ART + solo – lado esquerdo	113
Figura 3.14b - Retração linear da mistura ART + solo – total	113
Figura 3.14c - Retração linear da mistura ART + solo – lado ireito	113
Figura 3.15 - Curva de compactação do solo cimento	117
Figura 4.1 - Mini-MCV × MEAS - amostra 1 – mistura M1 _{sc}	128
Figura 4.2 - Mini-MCV× MEAS - amostra 2 – Mistura M1 _{sc}	129
Figura 4.3 - Mini-MCV × MEAS - amostra 1 – Mistura M2 _{sc}	130
Figura 4.4 - Mini-MCV × MEAS - amostra 2 – Mistura M2 _{sc}	131
Figura 4.5 - Mini-MCV × MEAS - amostra 1 – Mistura M3 _{sc}	132
Figura 4.6 - Mini-MCV × MEAS - amostra 2 – mistura M3 _{sc}	133
Figura 4.7 - Mini-MCV × MEAS amostra 1 – Mistura M4 _{sc}	134
Figura 4.8 - Mini-MCV × MEAS amostra 2 – mistura M4 _{sc}	135

Figura 4.9 - Linha de tendência MEAS × Umidade misturas M1 _{sc} ; M2 _{sc} ; M3 _{sc} e M4 _{sc} da fábrica	137
Figura 4.10 - Curva de compactação MEAS × umidade - ensaio Mini-MCV com 6 golpes - mistura solo cimento	138
Figura 4.11 - Curva de compactação MEAS × umidade - ensaio Mini-MCV com 7 golpes - mistura solo cimento	139
Figura 4.12 - Corpos de prova de solo cimento a serem capeados e submetidos ao ensaio de resistência à compressão	143
Figura 4.13 - Prensa ensaiando o corpo de prova de solo cimento	143
Figura 4.14 - Curva granulométrica da mistura solo + ART usando as proporções da mistura M1	147
Figura 4.15 - Curva granulométrica da mistura solo + ART usando as proporções da mistura M2	147
Figura 4.16a - Curva de compactação MEAS × umidade - ensaio Mini-MCV com 6 golpes - mistura M1	149
Figura 4.16b - Curva de compactação MEAS × umidade - ensaio Mini-MCV com 6 golpes - mistura M2	149
Figura 4.17a - Curva de compactação MEAS × umidade - ensaio Mini-MCV com 7 golpes - mistura M1	150
Figura 4.17b - Curva de compactação MEAS × umidade - ensaio Mini-MCV com 7 golpes - mistura M2	150
Figura 4.18 - Curva granulométrica da mistura solo + ART usando as proporções da mistura M3	151
Figura 4.19 - Curva granulométrica da mistura solo + ART usando as proporções da mistura M4	152
Figura 4.20a - Curva de compactação MEAS × umidade - ensaio Mini-MCV com 6 golpes - mistura M3	153
Figura 4.20b - Curva de compactação MEAS × umidade - ensaio Mini-MCV com 7 golpes - mistura M3	153
Figura 4.21a – Curva de compactação MEAS × umidade – ensaio Mini-MCV com 6 golpes – mistura M4	154
Figura 4.21b – Curva de compactação MEAS × umidade – ensaio Mini-MCV com 7 golpes – mistura M4	154

Figura 4.22 – Corpos de prova de 1 a 48, moldados em equipamento Mini-MCV, mistura M4 umidade ótima	157
Figura 4.23 – Parte dos blocos vazados fabricados do 1º lote	166
Figura 4.24 – Ensaio de compressão aos 28 dias de um bloco vazado do 1º lote	170
Figura 4.25 – Textura granulada dos blocos vazados secos do 1º lote	171
Figura 4.26 – Detalhe da textura granulada de um bloco vazado molhado do 1º lote	171
Figura 4.27 – 2º Lote de blocos fabricados	172
Figura 4.28 – Tensão máxima \times teor de umidade das misturas M1, M2, M3 e M4	176
Figura 4.29 – Curva granulométrica da mistura solo + ART usando as proporções da mistura M5	177
Figura 4.30 – Corpos de prova moldados com a mistura M2	179
Figura 4.31 – Corpos de prova moldados com a mistura M4	179
Figura 4.32 – Corpos de prova moldados com a mistura M5	179
Figura 4.33 – Corpos de prova recém moldados com a mistura M6	180
Figura 4.34 – Blocos vazados M4 + 4% Sika 1 após moldagem	185
Figura 4.35 – Resistências à compressão simples dos corpos de prova das misturas M4 _{sc} , M4, M4S1, M4S4, M4S8, M4E, M4AV5, R_{\min} , R_{med} admitidas pela ABNT NBR 10834:2012, gerado a partir das Tabelas do Apêndice D	190
Figura 4.36 – Absorções de água dos corpos de prova das misturas M4 _{sc} , M4, M4S1, M4S4, M4S8, M4E, M4AV5, A_{med} e A_{\min} admitidas pela norma ABN NBR 10834:2012, gerado a partir das Tabelas do Apêndice C	191

ÍNDICE DE TABELAS

	Pag.
Tabela 1.1 – Consumo de agregados no Brasil em 2010	26
Tabela 1.2 – Possibilidade de produção de casas	35
Tabela 2.1 – Classificação dos solos segundo a granulometria – ABNT NBR 6502:1995	45
Tabela 2.2 – Semelhanças e diferenças entre os ensaios MCV (PARSONS e BOLDEN, 1979) e Mini-MCV (SÓRIA e FABBRI, 1980)	50
Tabela 2.3 – Faixas granulométricas ideais para solo-cimento	58
Tabela 2.4 – Teor de cimento sugerido para a compactação	61
Tabela 2.5 – Estudo comparativo entre BTC de solo cimento × tijolo convencional	64
Tabela 2.6 – Quantidade de resíduos gerados (cacos) por mês	79
Tabela 3.1 – Características do solo para fabricação de tijolo e bloco vazado de solo cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica segundo o item 4.1.1 da ABNT NBR 10833:2012	94
Tabela 3.2 – Teores dos componentes do cimento Portland pozolânico	95
Tabela 3.3 – Características técnicas do cimento CP IV-40 RS Liz	95
Tabela 3.4 – Cálculo da massa específica dos grãos do cimento LIZ CP IV 40 RS	95
Tabela 3.5 – Massa unitária do cimento	96
Tabela 3.6 – Resistência à compressão aos 28 dias dos corpos de prova moldados com a argamassa de capeamento	101
Tabela 3.7 – Cálculo do limite de liquidez do solo	103
Tabela 3.8 – Cálculo do limite de plasticidade do solo	103
Tabela 3.9 – Cálculo da umidade do solo que passa na peneira com abertura de malha 2,00 mm	105

Tabela 3.10 - Cálculo da massa específica dos grãos do solo que passam na peneira com abertura de malha 2,00 mm	106
Tabela 3.11 - Caracterização do solo	107
Tabela 3.12 - Cálculo do limite de liquidez do ART que passa na peneira com abertura de malha 2,00 mm	108
Tabela 3.13 - Cálculo do limite de plasticidade do ART que passa na peneira com abertura de malha 2,00 mm	108
Tabela 3.14 - Cálculo da umidade do ART que passa na peneira com abertura de malha 2,00 mm	110
Tabela 3.15 - Cálculo da massa específica dos grãos do ART que passam na peneira com abertura de malha 2,00 mm	110
Tabela 3.16 - Caracterização do ART	111
Tabela 3.17 - Teor de cimento sugerido para a compactação	111
Tabela 3.18 - Retração linear do solo	113
Tabela 3.19 - Retração linear da mistura ART + solo	113
Tabela 3.20 - Massa unitária do solo	114
Tabela 3.21 - Massa unitária e índice de vazios do ART – amostra 1	115
Tabela 3.22 - Massa unitária e índice de vazios do ART – amostra 2	115
Tabela 3.23 - Massa unitária do cimento	116
Tabela 3.24 - Massa unitária do solo cimento	116
Tabela 3.25 - Massa unitária e índice de vazios do ART + cimento	116
Tabela 4.1 - Resumo das características dos materiais componentes e da mistura M1 _{sc}	122
Tabela 4.2 - Resumo das características dos materiais componentes e da mistura M2 _{sc}	123
Tabela 4.3 - Resumo das características dos materiais componentes e da mistura M3 _{sc}	123
Tabela 4.4 - Resumo das características dos materiais componentes e da mistura M4 _{sc}	124
Tabela 4.5 - Resumo das características dos materiais e dos blocos vazados das misturas M1 _{sc} , M2 _{sc} , M3 _{sc} e M4 _{sc}	126
Tabela 4.6 - Ensaio Mini-MCV – amostra 1 – mistura M1 _{sc}	128
Tabela 4.7 - Ensaio Mini-MCV – amostra 2 – mistura M1 _{sc}	129
Tabela 4.8 - Ensaio Mini-MCV – amostra 1 - mistura M2 _{sc}	130
Tabela 4.9 - Ensaio Mini-MCV – amostra 2 – mistura M2 _{sc}	131

Tabela 4.10 - Ensaio Mini-MCV – amostra 1 – mistura M3 _{sc}	132
Tabela 4.11 - Ensaio Mini-MCV – amostra 2 – Mistura M3 _{sc}	133
Tabela 4.12 - Ensaio Mini-MCV – amostra 1 – mistura M4 _{sc}	134
Tabela 4.13 - Ensaio Mini-MCV – amostra 2 – mistura M4 _{sc}	135
Tabela 4.14 - Compactação dos corpos de prova de solo cimento, balança hidrostática, absorção de água, corpos de prova 1 a 6, 7 golpes	141
Tabela 4.15 - Compactação dos corpos de prova de solo cimento, balança hidrostática, absorção de água, corpos de prova 7 a 12, 6 golpes	142
Tabela 4.16 - Resistência à compressão dos corpos de prova de 1 a 6 de solo cimento aos 28 dias – 7 golpes	144
Tabela 4.17 - Resistência à compressão dos corpos de prova de 7 a 12 de solo cimento aos 28 dias – 6 golpes	144
Tabela 4.18 – Composição granulométrica e limites – solo, ART, M1 e M2	148
Tabela 4.19 – Composição granulométrica e limites – solo, ART, M3 e M4	152
Tabela 4.20 - Resistência à compressão simples aos 28 dias dos corpos de prova resultantes do ensaio de umidade ótima da mistura M1	155
Tabela 4.21 - Resistência à compressão simples aos 28 dias dos corpos de prova resultantes do ensaio de umidade ótima da mistura M2	155
Tabela 4.22 - Resistência à compressão simples aos 28 dias dos corpos de prova resultantes do ensaio de umidade ótima da mistura M3	155
Tabela 4.23 - Resistência à compressão simples aos 28 dias dos corpos de prova resultantes do ensaio de umidade ótima da mistura M4	156
Tabela 4.24 - Mini-MCV; balança hidrostática, absorção, dos corpos de prova de solo + ART + cimento de 1 a 24 moldados com a mistura M4, 6 golpes, água 21,63 %	158
Tabela 4.25 - Mini-MCV; balança hidrostática, absorção, dos corpos de prova de solo + ART + cimento de 24 a 48 moldados com a mistura M4, 7 golpes, água 21,63 %	161
Tabela 4.26 - Resistência à compressão aos 7 dias dos corpos de prova mistura M4, 6 golpes umidade ótima 21,63 %	164
Tabela 4.27 - Resistência à compressão aos 7 dias dos corpos de prova mistura M4, 7 golpes umidade ótima 21,63 %	164

Tabela 4.28 - Resistência à compressão aos 28 dias dos corpos de prova mistura M4, 6 golpes umidade ótima 21,63 %	164
Tabela 4.29 - Resistência à compressão aos 28 dias dos corpos de prova mistura M4, 7 golpes umidade ótima 21,63 %	165
Tabela 4.30 - Resistência à compressão do 1º lote de blocos vazados da mistura M4, aos 7 dias	168
Tabela 4.31 - Ensaio de balança hidrostática – MEAS e de absorção de água do 1º lote de blocos vazados da mistura M4	169
Tabela 4.32 – Resistência à compressão aos 28 dias do 1º lote de blocos vazados da mistura M4	170
Tabela 4.33 - Ensaio de balança hidrostática – MEAS e de absorção de água do 2º lote de blocos vazados da mistura M4	173
Tabela 4.34 - Resistência à compressão do 2º lote de blocos vazados da mistura M4, aos 7 dias	173
Tabela 4.35 - Resistência à compressão do 2º lote de blocos vazados da mistura M4, aos 28 dias	174
Tabela 4.36 – Composição granulométrica e limites – solo, ART, M5 e M6	177
Tabela 4.37 - Resumo das propriedades dos corpos de prova moldados com as misturas M2; M4; M5 e M6	181
Tabela 4.38 - Resumo das propriedades dos corpos de prova moldados com as misturas estudadas M4 e M4 com aditivo Sika 1 ou Ecolopavi	182
Tabela 4.39 - Resistência à compressão aos 7 dias dos blocos vazados da mistura M4S4	185
Tabela 4.40 - Resistência à compressão aos 28 dias dos blocos vazados da mistura M4S4	185
Tabela 4.41 - Ensaio de balança hidrostática – MEAS e de absorção de água de 8 blocos vazados da mistura M4S4	186
Tabela 4.42 - Resumo das propriedades dos blocos vazados fabricados com as misturas M4 _{sc} , M4 (1º e 2º lotes) e M4 com 4 % de aditivo Sika 1	186
Tabela 4.43 - Resumo das propriedades dos corpos de prova moldados com as misturas M4 _{sc} , M4, M4 com aditivo Sika 1, M4 com Ecolopavi e M4 com Aloe vera com 7 golpes	188

Tabela 4.44 - Mini-MCV, balança hidrostática, absorção de água, dos corpos de prova de solo + ART + cimento moldados com a mistura M4 com adição de 4% de Sika 1 – 4 golpes, água 19,00 %	193
Tabela 4.45 - Ensaio de compressão aos 7 dias de 8 corpos de prova da mistura M4 com adição de 4% de Sika 1, 4 golpes, água 19 %	196
Tabela 4.46 - Resistência à compressão aos 28 dias de 8 corpos de prova da mistura M4 com adição de 4% de Sika 1, 4 golpes, água 19 %	196

SUMÁRIO

1. Introdução.....	25
1.1 Importância do tema.....	25
1.2 Justificativa.....	34
1.3 Objetivos.....	37
1.3.1 Objetivo geral.....	37
1.3.2 Objetivos específicos.....	37
1.4 Apresentação.....	38
 2. Revisão bibliográfica.....	 39
2.1 Solo.....	39
2.1.1 Origens e propriedades dos solos.....	39
2.1.2 O solo como material de construção.....	41
2.1.3 Classificação dos solos.....	44
2.1.4 Estabilização do solo com o cimento.....	45
2.1.5 Compactação do solo.....	47
2.1.5.1 O ensaio Mini-MCV.....	49
2.1.6 Retração do solo.....	52
2.2 Cimento Portland.....	54
2.3 Solo cimento.....	55
2.3.1 Definição.....	55
2.3.2 Histórico.....	56
2.3.3 Critérios para escolha do solo.....	57
2.3.4 Qualidade do solo cimento.....	59
2.3.5 Dosagem do solo cimento.....	60

2.3.6 Retração do solo cimento.....	61
2.3.7 Custo do solo cimento.....	62
2.3.8 Blocos de solo cimento.....	68
2.3.9 Fabricação dos blocos vazados de solo cimento.....	69
2.3.10 Solo cimento com resíduos.....	71
2.4 Resíduos provenientes da fabricação de telhas cerâmicas vermelhas.....	76
2.4.1 Definições e classificação.....	76
2.4.2 Geração de resíduos.....	77
2.4.3 Composição dos resíduos.....	79
2.4.4 Resíduos de telhas e o impacto ambiental.....	80
2.4.5 Potencial para reciclagem e beneficiamento dos resíduos de telhas cerâmicas.....	82
2.4.6 Absorção de água de telhas de cerâmica vermelha e do ART.....	84
2.5 Aditivos e estabilizantes.....	85
2.5.1 Sika 1.....	88
2.5.2 Estabilizante químico de solos - Ecolopavi.....	89
2.6 Aloe vera/babosa.....	90
3. Materiais e métodos.....	93
3.1 Materiais.....	93
3.1.1 Solo.....	93
3.1.2 Cimento.....	94
3.1.3 Água.....	96
3.1.4 Agregado reciclado de telha - ART.....	96
3.1.5 Recipiente metálico paralelepípedo para medida dos materiais.....	97
3.1.6 Aditivos e estabilizantes.....	98
3.1.6.1 Sika1.....	98
3.1.6.2 Estabilizante químico de solos - Ecolopavi.....	99
3.1.7 Aloe vera/babosa.....	100
3.1.8 Outros materiais.....	101
3.2 Métodos.....	102
3.2.1 Caracterização do solo.....	102
3.2.2 Caracterização do ART.....	107

3.2.3 Retração linear do solo e da mistura ART com o solo.....	112
3.2.4 Determinação das massa unitárias dos materiais, da mistura solo cimento e dos índices de vazios do ART e do ART cimento.....	114
3.2.5 Compactação da mistura solo cimento.....	117
3.2.6 Método de compactação em equipamento miniatura Mini-MCV.....	117
4. Procedimento experimental.....	119
4.1 Definição da mistura solo cimento mais adequada ao estudo.....	120
4.1.1 Preparação das misturas de solo cimento.....	120
4.1.1.1 Mistura M1 _{sc}	122
4.1.1.2 Mistura M2 _{sc}	122
4.1.1.3 Mistura M3 _{sc}	123
4.1.1.4 Mistura M4 _{sc}	124
4.1.2 Blocos vazados de solo cimento – Fabricação e ensaios.....	124
4.2 Compatibilização da energia de compactação fábrica × laboratório.....	127
4.3 Definição da umidade ótima da mistura solo cimento.....	136
4.3.1 Umidade ótima na fábrica.....	136
4.3.2 Umidade ótima em laboratório.....	137
4.4 Corpos de prova de solo cimento.....	140
4.5 Dosagens iniciais das misturas solo + cimento + ART.....	145
4.6 Corpos de prova da mistura M4 na umidade ótima.....	156
4.7 Blocos vazados da mistura M4.....	166
4.8 Novas dosagens das misturas de solo + cimento + ART.....	175
4.9 Corpos de prova das misturas M2, M4, M5 e M6	178
4.10 Corpos de prova da mistura M4 com adição de Sika 1 ou Ecolopavi.....	181
4.11 Blocos vazados da mistura M4 com adição de 4 % de Sika 1.....	184
4.12 Corpos de prova da mistura M4 com adição de 8 % de Sika 1 ou 5 % de extra- to de Aloe vera.....	187
4.13 Corpos de prova da mistura M4 com adição de 4 % de Sika 1, 4 golpes.....	192
4.14 Observações sobre a execução dos ensaios.....	196
4.14.1 Ensaios de resistência à compressão.....	196
4.14.2 Ensaio Mini-MCV.....	197
4.14.3 Ensaio de durabilidade.....	197

4.15 Observações gerais.....	198
5. Conclusões.....	200
5.1 Conclusões finais.....	200
5.2 Sugestões para trabalhos futuros.....	204
Referências bibliográficas.....	206
Apêndice A.....	220
Resultados das medições das misturas e dos ensaios dos blocos vazados de solo	
Cimento.....	220
Apêndice B.....	237
Resultado das medições das dimensões dos blocos vazados das misturas solo	
cimento agregado.....	237
Apêndice C.....	245
Resultados dos ensaios de Mini-MCV, balança hidrostática e absorção de água dos..	
corpos de prova das misturas solo cimento agregado.....	245
Apêndice D.....	273
Resultados dos ensaios de compressão simples dos corpos de prova das misturas	
solo cimento agregado.....	273

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 IMPORTÂNCIA DO TEMA

A conjuntura atual reflete um aumento na conscientização do ser humano e das autoridades quanto à questão da preservação ambiental e dos recursos naturais. Dentro desse panorama está inserida a construção civil que se apresenta como um dos maiores consumidores de recursos naturais do planeta, segundo Sjöström (1996), e consome no mundo, algo entre 14 % e 50 % desses recursos. Em 2000 foi estimado por John (2000) um consumo anual no Brasil de 210 milhões de toneladas de agregados somente na produção de concretos e argamassas.

Segundo ANEPAC - Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção Civil (2015), conforme reportagem da revista Areia e brita publicada pela ANEPAC – Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção Civil, edição 54 de julho/agosto/setembro/2011, página 27, em sua coluna estatística, o consumo total de agregados no Brasil em 2010, foi de aproximadamente 632 milhões de toneladas, sendo a região Sudeste a maior consumidora, conforme mostra a Tabela 1.1 que informa o consumo por regiões.

Tabela 1.1 - Consumo de agregados no Brasil em 2010

Estados	Consumo de agregados (t)	Representatividade
Norte	43.175.411	7%
Nordeste	128.122.364	20%
Centro Oeste	55.832.105	9%
Sudeste	303.345.237	48%
Sul	101.265.270	16%
BRASIL	631.740.387	

Fonte: ANEPAC (2015).

Este consumo mostra que a atividade econômica de exploração de agregados configura como um dos grandes setores da economia nacional, faturando em torno de R\$ 22.590.071.817,00, correspondente a 0,615 % do PIB brasileiro (excetuando revenda), conforme ANEPAC (2015). Entretanto, em consequência utiliza de recursos naturais não renováveis o que gera um impacto bastante negativo ao meio ambiente. Como este número já cresceu de 2010 até 2014, devido grande número de obras já executadas por programas do Governo Federal como o PAC, minha casa minha vida, obras para a Copa 2014, obras para as olimpíadas de 2016 e ainda há uma tendência de crescimento, fatalmente os produtores e exploradores de agregados deverão enfrentar barreiras para conseguir licença ambiental para exploração, o que torna obrigatório o encontro de soluções técnicas e ambientalmente sustentáveis e viáveis para a manutenção do equilíbrio ambiental.

A cadeia produtiva da construção, o chamado construbusiness, é um dos mais importantes setores da atividade econômica no Brasil, expressando uma das mais completas cadeias da produção, englobando cinco subsetores, dentre eles o de material de construção, segundo Araújo (1999 apud DIAS, 2004, p.8). Representa então um setor produtivo de proporções elevadas, chegando a contribuir com cerca de 25 % do PIB (produto interno bruto) brasileiro, sendo considerado de grande impacto ao meio ambiente. (JOHN, 2000).

A necessidade de preservação ambiental e a tendência de escassez dos recursos naturais fazem com que a construção civil passe a adquirir novos conceitos, buscando soluções técnicas que visem à sustentabilidade de suas atividades. Nesse sentido, o aproveitamento dos resíduos de construção e demolição (RCD), bem como os resíduos das atividades produtivas dos materiais de construção destaca-se como possíveis alternativas, na medida em que busca valorizar os materiais descartados das obras de engenharia e das indústrias

considerando-os após pesquisa, materiais reutilizáveis. Ressalta-se que o aproveitamento desses resíduos na própria construção, em determinadas situações, pode até mesmo trazer vantagens técnicas e redução de custos, como é o caso do uso dos resíduos de concreto, de argamassas, na confecção de tijolos prensados de solo-cimento.

Segundo John (1999), o desenvolvimento sustentável está criando raízes na sociedade e certamente atingirá as atividades do macro-complexo da construção civil, da extração de matéria prima, produção de materiais de construção, chegando ao canteiro e às etapas de operação, manutenção e demolição.

Sustentabilidade, nos dias de hoje já é palavra de ordem e é alvo a ser alcançado por muitos empreendimentos da construção civil através da aquisição do selo de sustentabilidade, sendo necessário que o projeto obedeça a vários critérios, desde a escolha do terreno até a entrega do imóvel e também que os edifícios apresentem alguns pré-requisitos que dizem respeito à economia de recursos naturais como energia elétrica, água e gás; materiais utilizados na construção e qualidade interna dos empreendimentos, e ainda recebem pontuações adicionais conforme apresentarem novidades. O selo só é emitido depois de seis meses após a entrega da obra.

Além dos aspectos que dizem respeito à economia de recursos naturais a sustentabilidade passa também pela questão da utilização de materiais reciclados, com a visão também de que reciclar é aproveitar detritos e rejeitos e retorná-los na cadeia produtiva. Pois independente do tipo de resíduo, sua utilização apresenta várias vantagens em relação aos recursos naturais, tais como a redução do volume de extração de matéria prima, redução do consumo de energia, menores emissões de poluentes e consequentemente a melhoria do meio ambiente, preservando os recursos naturais, reduzindo a destruição da fauna e flora e contribuindo para a melhoria da saúde e segurança da população.

Agopyan e John (2001) afirmaram que a reciclagem dos resíduos de construção vem desde a antiguidade e que também foi empregada na reconstrução da Europa, após a segunda guerra mundial. Atualmente é praticada amplamente na Europa, especialmente na Holanda.

A reciclagem gera benefícios ambientais, econômicos e sociais. As experiências indicam que além dos benefícios ambientais, por diminuir a disposição em locais inadequados e minimizar a necessidade de extração de matéria-prima em jazidas, a reciclagem também é economicamente viável. Esta vantagem econômica dos custos do processo de reciclagem em relação aos custos dos materiais convencionais pode variar de acordo com a tecnologia empregada. De qualquer forma, na grande maioria dos casos, a reciclagem possibilita a utilização de resíduos em atividades de construção, trazendo benefícios sociais como a diminuição do déficit habitacional e a criação de novos empregos. (PEREIRA, 2008, p. 8).

Segundo John (2001), a reciclagem de resíduos, por outro lado, é uma oportunidade de transformação de uma fonte importante de despesa numa fonte de faturamento ou pelo menos, de redução das despesas de deposição. Uma grande indústria siderúrgica, por exemplo, produz mais de um milhão de toneladas de escória de alto forno por ano. A reciclagem desse material na indústria cimenteira, entre outras, mesmo se comercializado a baixo preço, é um excelente negócio, pois elimina as despesas com o gerenciamento e deposição do resíduo.

No Brasil este processo cresce no momento em que a legislação ambiental fica cada vez mais rigorosa e estimula a conscientização dos consumidores. Nas universidades já existem grupos atuando ativamente nesta linha de pesquisa e diversos municípios já operam centrais de reciclagem, produzindo agregados para uso em sub-base de pavimentos. O processo de reciclagem envolve atividades que compreendem a coleta, a classificação e o processamento dos resíduos, de modo que a matéria-prima resultante tenha granulometria adequada ao uso a que se destina. (JARDIM, 1995; LEVY, 1997, apud FERRAZ; SEGANTINI, 2003).

A Resolução nº 307, de 02/01/2003 do CONAMA, Conselho Nacional do Meio Ambiente, estipula prazos para que órgãos públicos e privados providenciem destino aos resíduos para que não poluam nem degradem o meio ambiente. Com isto diversas ações do poder público buscam regulamentar a política de resíduos sólidos, através da legislação, como: o Decreto 45.181 de 25/09/2009 do Estado de Minas Gerais, que regulamenta a política estadual de resíduos sólidos, sobre a qual dispõe a Lei 18.031, de 12/01/2009, delineando detalhadamente as ações a serem efetivadas, inclusive a valorização dos resíduos sólidos e

a instituição da logística reversa, incentivo a reutilização e reciclagem, estabelecendo um prazo máximo de cinco anos para elaboração de planos de gestão integrada de resíduos sólidos dos municípios, com possibilidade de incentivos fiscais, financeiros e creditícios, e, além disso, estabelecendo penalidades e multas pela destinação ilegal desses resíduos. A Instrução Normativa 01 de 19 de janeiro de 2010, do Ministério do Planejamento e Gestão que dispõe sobre os critérios de sustentabilidade ambiental na aquisição de bens, contratação de serviços ou obras pela Administração Pública Federal direta, autárquica e fundacional, dentre os quais cita-se a utilização de materiais que sejam reciclados, reutilizados e biodegradáveis, e que reduzam a necessidade de manutenção.

Outra questão a ser analisada é a valorização do lado social da Engenharia, que deve buscar soluções viáveis e de baixo custo para as construções destinadas à população de baixa renda. Sob esse aspecto os produtos que utilizam materiais reciclados, por necessitarem de baixo consumo de energia e utilizarem rejeitos e resíduos para serem produzidos, teoricamente seriam os mais baratos e ideais para esse tipo de habitação.

A questão da habitação popular exige soluções compatíveis com a situação sócioeconômica da maioria da população. Essas podem ser efetivadas pelo emprego de tecnologias alternativas, aproveitando os recursos locais, que utilizem matérias-primas naturais, renováveis ou não, e também resíduos sólidos industriais e urbanos, abundantes na região. (CALMON et al., 1998).

Programas para a produção de habitações destinadas às populações de menor poder aquisitivo são realizados na maioria dos países em desenvolvimento, notadamente nos do continente africano e da América Latina. Esses programas geralmente adotam alternativas tecnológicas de menor custo, bem como regimes de autoconstrução ou de ajuda mútua, e são efetivados por iniciativas governamentais associadas ou não à participação de entidades comunitárias. (NEVES et al., 2001).

No Brasil, a enorme demanda por moradias exige a construção de aproximadamente seis milhões de unidades, sendo a maioria destinada a famílias com renda mensal inferior a cinco salários mínimos, segundo (WATANABE, 2000 apud CARNEIRO et al., 2001). No entanto, após 14 anos, o atendimento às necessidades mínimas de habitação, mesmo para

as camadas de baixa renda, apesar da queda, ainda não foi equacionado, como podemos verificar através de estudos sobre o déficit habitacional no Brasil (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, DF - IPEA, 2013), divulgados em 25/11/2013 às 08:10 horas que mostram os resultados de uma pesquisa divulgada pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA, 2013) que apontam para uma redução do déficit habitacional no país. Elaborado com base na Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD-2012), o estudo mostra que o déficit de 10 % do total dos domicílios brasileiros registrados em 2007 caiu para 8,53 % em 2012, o que representa 5,24 milhões de residências.

E, além disso,

[...] Na análise da distribuição do déficit habitacional por renda, os dados mostram que a redução foi menor no estrato mais baixo. No ano passado, 73,6 % do déficit era composto por domicílios com famílias com renda de até três salários mínimos, ante 70,7 % em 2007. Houve aumento, portanto, de três pontos percentuais nessa fatia, mas, ainda assim, registrou-se queda do déficit em números absolutos: de 3.954.386 domicílios em 2007 para 3.859.970 em 2012 entre as famílias com renda de até três salários mínimos. As demais faixas passaram a responder menos pelo déficit habitacional.

Na década de 1970, particularmente na sua segunda metade, começaram a ser realizadas, no Brasil, diversas pesquisas e experiências na tentativa de viabilizar a implantação de alternativas tecnológicas de menor custo para produção de moradias populares, analisando o ponto de vista técnico e econômico. Dentre essas tecnologias, a produção de habitações populares de tijolos de solo estabilizados com cimento foi uma das alternativas mais freqüentemente adotadas, devido à facilidade de fabricação desse componente e da execução da alvenaria, notadamente por seu baixo custo e processo tecnológico simplificado. Deve-se ressaltar que o custo de fundações, paredes e piso da habitação popular chega a alcançar 50 % do custo da edificação. (NEVES et al., 2001).

O emprego do solo cimento no Brasil data de 1940, segundo a ABCP (1985), quando se fizeram as primeiras experiências em pátios no Aeroporto Santos Dumont e em uns poucos trechos rodoviários. A princípio, sua aplicação limitava-se à pavimentação. A partir de

1945 teve seu uso estendido à construção de casas como sucedâneo do tijolo nas alvenarias.

Segundo a ABCP (1998), a utilização do solo-cimento na construção de habitações permite redução de custos que pode atingir até 40 %. Contribuem para isto o baixo custo do solo, que é o material usado em maior quantidade, e também a redução dos custos com transporte e energia. Existe ainda a possibilidade de se reduzir custos com a mão-de-obra, pois o processo não requer, em grande número, profissionais especializados na construção. As vantagens da utilização dos tijolos de solo-cimento vão desde a fabricação até a sua utilização na obra. Os equipamentos utilizados são simples e de baixo custo. Não há necessidade de pessoal especializado para operar as máquinas de fabricação, que podem ser instaladas no próprio canteiro, eliminando assim boa parte dos custos com transporte.

Outras possibilidades, inclusive com vários estudos e pesquisas constantes da literatura é a de incorporar outros materiais na fabricação do tijolo de solo cimento, de modo a aproveitar os recursos abundantes de cada região em particular e desde que estes materiais sejam classificados como materiais inertes segundo a ABNT NBR 10004:2004 por não apresentarem risco de contaminação para a saúde pública e para o meio ambiente. Como podemos citar alguns trabalhos como: Blocos de terra compactada de solo-cimento com resíduo de argamassa de assentamento e revestimento: caracterização para uso em edificações de Fabíolla Xavier Rocha Ferreira Lima (2013); Adição de resíduo de argamassas mistas na produção de tijolos modulares de solo cimento de Mayza Loureiro Araújo Rodrigues (2008); Incorporação de resíduos de caulim em solo-cimento para construções civis de Sidcley Ferreira Castro (2008); Análise da adição de resíduos de concreto em tijolos prensados de solo cimento de Márcia Ikarugi Bomfim de Souza (2006); Tijolos de solo cimento reforçado com serragem de madeira de Sandra Regina da Silva (2005); Estudo da aplicação de resíduo de argamassa de cimento nas propriedades de tijolos de solo cimento de André Luis Nonato Ferraz, Antonio Anderson da Silva Segantini (2003); Fabricação de tijolos modulares de solo cimento por prensagem manual com e sem adição de sílica ativa de Fernando Mazzeo Grande (2003).

Segundo Ferraz (2004), o uso do solo-cimento com aproveitamento dos resíduos de construção pode ser uma destas alternativas, pois o solo é uma matéria-prima abundante, e

pode contribuir no sentido de reduzir custos e induzir os projetistas ao hábito de construir harmonizando projeto arquitetônico, materiais locais e sistema construtivo.

Dentro deste contexto o presente estudo propõe pesquisar a viabilidade técnica da produção de blocos vazados de solo cimento com o emprego de resíduos de telhas cerâmicas vermelhas britadas, denominados de ART – Agregado Reciclado de telha.

Esta alternativa está sendo proposta, tendo em vista que nas regiões produtoras de telhas cerâmicas encontram-se grandes quantidades desses resíduos, provenientes da fabricação, como no caso das cidades de Monte Carmelo e Ituiutaba, de nossa região, conforme demonstrado por Dias (2004).

Além disso, as reformas e ou substituições de telhados de telhas cerâmicas podem gerar também uma quantidade de resíduos razoável que pode ser também objeto de pesquisa específica.

Sob esse aspecto, a Prefeitura Municipal de Uberlândia vem implantando em diversos bairros da cidade os chamados Ecopontos, que são locais destinados ao recolhimento e armazenagem de diversos tipos de resíduos, inclusive telhas cerâmicas, que ao serem britados podem se tornar agregados utilizáveis.

Os procedimentos tradicionais para a fabricação de blocos prensados de solo cimento, que se baseiam na utilização somente da mistura de solo e cimento exigem solos com características específicas, nem sempre disponíveis no local e muitas vezes dependente de transporte, cujo custo pode muitas vezes inviabilizar a produção. Além disso, se o solo não é adequado, depende também de misturas com outros materiais ou da introdução de aditivos que também pesam no custo de produção.

De forma geral os solos são muito variáveis, cujas características repercutem diretamente no processo de fabricação, e consequentemente, no resultado final que é o bloco modular.

A utilização de misturas solo agregado poderá contribuir para a obtenção de misturas estabilizadas volumetricamente, com menor variação das propriedades, maior

homogeneidade e com menor consumo de solo e ainda com grandes benefícios para o meio ambiente ao se utilizar os resíduos, desde que se garanta o desempenho do bloco para atender as normas técnicas pertinentes da ABNT.

Misturas solo agregado, dosadas volumétricas foram estudadas por Dias e Agopyan (2004) demonstrando ser adequadas quando se utilizam materiais com densidades muito diferentes, como é o caso dos solos (massa específica da ordem de $2,97 \text{ g/cm}^3$) e resíduos de telhas cerâmicas britados (massa específica aparente da ordem de $1,81 \text{ g/cm}^3$); neste caso a estabilização massiva não seria a mais adequada.

Desta forma partindo-se de uma mistura solo agregado reciclado de telha obtida através de um procedimento experimental e não empírico, se evitaria um grande número de misturas muitas vezes inadequadas e sujeitas a retrabalhos.

Por outro lado a simplicidade deste procedimento de dosagem volumétrica, baseado nos conceitos de índice de vazios do agregado e da massa específica compactada seca do solo, facilitaria sua aplicação nas fábricas.

Tendo em vista que o conhecimento da energia de compactação se faz necessário para que sejam executados com maior facilidade e em laboratório os estudos necessários para a pesquisa da fabricação dos blocos de solo cimento e que as informações fornecidas pelos fabricantes das prensas utilizadas, como no caso da prensa hidráulica existente na ONG em estudo, cujo fabricante informa que a mesma produz uma prensagem hidráulica de seis toneladas, não são suficientes para a análise da energia de compactação, partiu-se para este estudo.

Dentro deste contexto o presente trabalho visa estudar a fabricação de blocos de solo-cimento e o aproveitamento dos agregados reciclados de telhas cerâmicas (ART) da região de Monte Carmelo em Minas Gerais, na composição do solo cimento para fabricação de blocos prensados, avaliando-se comparativamente blocos de solo-cimento e blocos de solo ART cimento, por substituição parcial do solo pelo agregado proposto, pretende-se analisar a energia de compactação empregada na fábrica em confronto com as energias normalmente empregadas na compactação de solos no laboratório. O objetivo é conhecer o

nível de energia que se consegue na fábrica de blocos de solo cimento através da utilização de prensas hidráulicas e adotar uma energia equivalente em laboratório, para facilitar o estudo de misturas de solo cimento com ou sem adição de resíduos, para a fabricação de blocos, sem a necessidade constante de utilizar os equipamentos da fábrica que seriam utilizados apenas em uma análise final das pesquisas.

1.2 JUSTIFICATIVA

Com base nos estudos e diagnóstico de Dias (2004), que comprovaram a existência de grande volume de resíduos gerados na fabricação de telhas cerâmicas nas cidades de Ituiutaba e de Monte Carmelo, possível de ser aproveitado para construção de casas, conforme Tabela 1.2, em torno de 3 % do total produzido, e como ficou comprovada a viabilidade da utilização dos agregados reciclados de telha cerâmica (ART) resultantes da britagem dos resíduos para emprego em camadas de pavimento de baixo custo, através de ensaios laboratoriais, foi possível vislumbrar novas possibilidades de pesquisas visando à utilização desses agregados, como componentes da mistura solo cimento na produção de blocos vazados; em argamassas; em concretos, etc. Além do mais os trabalhos de Dias (2004) resultaram no desenvolvimento de uma técnica mais adequada para se efetivar a mistura de materiais do tipo solo-agregado, sendo que para isto utilizou-se uma metodologia de otimização dos volumes dos materiais para a mistura, visando obter melhor ocupação do volume compactado, com conseqüente melhor distribuição das tensões nos grãos do agregado para prevenir a quebra, em substituição às metodologias conhecidas baseadas nos conceitos massivos, que se mostraram inadequadas para o caso, levantando-se a hipótese de que esta condição seria alcançada quando a quantidade de solo, em volume, fosse igual à porosidade (vazios entre os grãos) do agregado. Desta forma criou-se a possibilidade de efetivar a pesquisa partindo-se do conceito criado, sem ter a necessidade de estabelecer misturas aleatórias e empíricas, muitas vezes sem possibilidade de êxito.

Tabela 1.2 – Possibilidade de produção de casas

Região	Volume ART (1) (m³/mês)	Casas de 44 m² (2) (unid/mês)
Ituiutaba	385	19
M. Carmelo	2.165	108

(1) Volume de agregado reciclado = massa de resíduos, massa unitária do agregado igual a 1,06 t/m³.

(2) A PMU (2004) quantifica em 20 m³ de agregados (areia fina + média e brita 1), para construir as brocas (11), canaletas de fundações, contrapiso (5 cm) e vedações revestidas e de uma casa de 44,52m².

Fonte: Dias (2004).

Tendo em vista também a atuação da ONG Ação Moradia – Entidade Filantrópica, que possui uma fábrica de blocos vazados de solo cimento, mostrada na Figura 1.1, e vem produzindo blocos modulares para habitações populares, conforme Figuras 1.2, 1.3a e 1.3b, com participação efetiva na construção do Residencial Monte Alegre em Uberlândia e também da comunidade para que produza seu próprio bloco na fábrica e construa sua própria casa, além do que têm contado com a parceria e apoio da FECIV na realização dos ensaios de laboratório, e que está com dificuldades de conseguir solo adequado em quantidade suficiente para atender a demanda, o que leva a enfrentar problemas de variabilidade do solo a cada mudança de origem, incentivou-nos a estudar a possibilidade da utilização da adição do agregado reciclado de telha cerâmica vermelha, que é de origem certa e que apresenta uma menor variabilidade nas suas características. Além disso, houve uma manifestação expressa através de ofício da Ação Moradia solicitando mais uma vez a cooperação técnica da FECIV e também concordância com a possibilidade da realização desse estudo.

Figura 1.1 – Parte da fábrica da Ação Moradia, com prensas, palets e blocos vazados.



Fonte: Autor.

Figura 1.2 - Obras em bloco de solo cimento fabricados pela ONG Ação Moradia



Fonte. www.acaomoradia.org.br.

Figura 1.3a - Casa de funcionária da Ação Moradia em construção com blocos vazados de solo cimento produzidos na Ação Moradia



Fonte: Dias (2013).

Figura 1.3b - Vista mais detalhada da alvenaria



Fonte: Dias (2013).

Considerando-se então o avanço alcançado por Dias (2004), o envolvimento social de caráter filantrópico, os benefícios econômicos e ambientais e os recursos disponíveis devido ao grande volume de material disponível para ser utilizado na reciclagem e reaproveitamento como agregados na produção de blocos modulares de solo cimento, este estudo além de dar prosseguimento aos trabalhos iniciados por Dias (2004) de aproveitamento destes resíduos, deverá contribuir no sentido de proporcionar mais uma alternativa apropriada para destino dos agregados reciclados de telhas cerâmicas vermelhas, além da sua utilização em camadas de pavimento de baixo custo estudada por Dias (2004), para produção de concreto em determinada faixa de resistência estudo feito por Fonseca (2006) e também em concreto auto-adensável estudado por Silva (2012), desta forma preservando o meio ambiente e atenuando os problemas enfrentados atualmente pelas prefeituras, onde se localizam as indústrias cerâmicas, com esgotamento dos locais para bota fora, na possível deposição dos resíduos em locais inadequados. Além disso, poderá contribuir no que diz respeito a mais uma alternativa tecnológica para a construção de habitações, em especial as populares justificada pelo déficit habitacional.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo geral

O objetivo deste estudo foi o de avaliar o aproveitamento dos agregados reciclados de telhas cerâmicas (ART), na composição do solo cimento para fabricação de blocos vazados prensados para alvenaria, avaliando-se comparativamente blocos vazados de solo cimento e blocos vazados de solo ART cimento, por substituição parcial do solo pelo agregado proposto em diversas dosagens.

1.3.2 Objetivos específicos

Para atingir o objetivo geral, utilizou-se os seguintes objetivos específicos:

- Testar o conceito para misturas solo agregado, dosadas volumetricamente desenvolvido por Dias e Agopyan (2004), partindo-se desta forma de uma mistura solo

agregado reciclado de telha, obtida através de um procedimento experimental baseado nos conceitos de índice de vazios do agregado e da massa específica compactada seca do solo e não através de procedimentos empíricos.

- Estabelecer uma energia de moldagem no laboratório, buscando-se a compatibilidade com a energia empregada nas prensas hidráulicas da fábrica, visando não interferir na rotina da indústria, e por outro lado, se ter maior controle das variáveis envolvidas. Para atingir esta finalidade será utilizado para a comparação o procedimento de moldagem do Mini-MCV, que poderá tornar este procedimento de laboratório um facilitador para obtenção de misturas granulares de solo cimento resíduos, para utilização na fabricação de componentes prensados para alvenaria.
- Avaliar a possibilidade técnica destas aplicações e as influências da utilização do agregado reciclado de telha cerâmica vermelha na qualidade final dos blocos vazados resultantes, bem como em outros parâmetros requeridos pela normas da ABNT.
- Avaliar a introdução de aditivo, de estabilizante e extrato de Aloe vera na mistura solo cimento agregado e suas influências no desempenho final dos corpos de prova e dos blocos vazados resultantes.

1.4 APRESENTAÇÃO

Este estudo é constituído de cinco capítulos, organizados da seguinte maneira:

- Capítulo 1: Faz uma introdução sobre o tema, descreve a justificativa que levou ao estudo, explica os objetivos gerais e específicos e apresenta os capítulos.
- Capítulo 2: Esboça a revisão bibliográfica acerca dos temas abordados.
- Capítulo 3: Trata dos materiais utilizados no estudo e dos métodos de ensaios empregados no estudo.
- Capítulo 4: Descreve o procedimento experimental na sequência que foi executado, bem como traça conclusões parciais a cada etapa, necessárias ao prosseguimento dos procedimentos.
- Capítulo 5: Relata as conclusões acerca do estudo realizado e traça sugestões para futuros estudos e pesquisas.
- Apêndices: Contêm os levantamentos, cálculos e planilhas, tabelas, etc. utilizadas para compor os resumos dos resultados.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 SOLO

2.1.1 Origens e propriedades dos solos

Segundo relata Oliveira (2013), desde a formação da terra, a crosta, sobretudo na sua superfície externa exposta à atmosfera, apresenta-se sobre a influência de diversos fatores destrutivos internos e externos, chamados de intemperismo, devidos as grandes variações de temperatura, ventos, água e outros fatores, podendo ser do tipo físico, químico e biológico, tal que os dois primeiros tipos de intemperismo tendem a ser os mais marcantes, visto que o intemperismo biológico geralmente ocorre de forma localizada. Estes fenômenos naturais produzem ao longo do tempo a decomposição das rochas, diminuindo-as de tamanho e resistência, levando-as a se transformarem nos solos.

De acordo com a ABNT NBR 6502:1995 solo pode ser definido como material proveniente da decomposição das rochas pela ação de agentes físicos ou químicos, podendo ou não conter matéria orgânica.

Ou ainda em Água On Line o conjunto de camadas horizontais perceptíveis na superfície da Terra, compostas por matérias orgânicas e minerais, sendo os seus principais componentes a argila, o calcário, a areia e o húmus.

Numa conceituação mais simplista, o solo seria todo material que pudesse ser escavado, sem emprego de técnicas especiais, como, por exemplo, explosivos (BUENO; VILAR, 1979, p. 4).

Segundo Grande (2003), o solo é insolúvel em água, pois quando imerso neste líquido forma uma suspensão. A sua parte sólida, que não se dissolve, é constituída de minerais e materiais orgânicos constituindo partículas de diferentes diâmetros. Os constituintes minerais que constituem a parte sólida do solo são subdivididos em dois grupos: os inertes (também conhecidos como fração grossa) e os argilo-minerais que conferem plasticidade e coesão ao solo e são quimicamente ativos. As frações grossas do solo compreendem tanto os pedregulhos como as areias e são formados por rochas fragmentadas (arredondados ou angulares). De acordo com a ABNT NBR 6502:1995, os pedregulhos têm seus diâmetros superiores a 2,0mm e as areias têm os diâmetros de seus grãos entre 0,06 e 2,0 mm. Os solos finos podem ser divididos em dois grandes grupos: siltes (com pouca ou nenhuma plasticidade, com grãos de tamanhos entre 0,06 e 0,002mm) e argilas (agregados de partículas microscópicas, com grãos menores que 0,002mm).

Conforme Rodrigues (2008), o solo pode ser subdividido em frações de acordo com o tamanho e a forma das partículas de seus constituintes. Granulometria do solo é a distribuição e a configuração dos diversos tamanhos dessas partículas constituintes dos solos. É ela que determina o comportamento mecânico dos solos. Para classificá-lo por análise granulométrica usa-se a peneira com abertura de malha 0,074mm como sendo o limite entre areia e siltes, mas qualquer sistema de classificação não depende só da granulometria, porque as propriedades físicas das frações finas são devidas a diversos outros fatores. Ao compactar o solo, as suas partículas são obrigadas a se agruparem mais estreitamente, reduzindo assim os espaços vazios. Essa compactação é feita normalmente por meios mecânicos, ou seja, aplicando uma energia de compactação. A densidade de um solo compactado é função do teor de umidade do mesmo. Na verdade, esse teor de umidade promove a lubrificação das partículas facilitando o preenchimento de todos vazios possíveis quando se imprime a energia de compactação. Além das diferentes granulometrias, os solos podem apresentar diferentes tonalidades que resultam da presença de minerais que dão a cor vermelha (hematita), amarela (goetita), branca (caolinita) e preta (magnetita e hidróxidos de magnésio).

A palavra solo deriva do latim *solum* e significa superfície do chão. Existem várias definições para solo. A definição mais abrangente e que atende a todas as aplicações diz que solo é a formação natural constituinte da parte superficial da crosta terrestre, de estrutura solta e removível e de espessura variável, resultante da transformação de uma rocha-mãe pela influência de diversos processos físicos, químicos e biológicos. RODRIGUES (2008).

No âmbito da Engenharia, solo é o termo aplicado a todo material da crosta terrestre proveniente da decomposição de rochas, constituído por elementos minerais e/ou orgânicos, que dependem da composição química e mineralógica da rocha de origem, das características do relevo, dos diferentes climas e do tempo de exposição às intempéries. A classificação dos solos, através de suas propriedades físicas, químicas e mineralógicas é tratada de acordo com os fundamentos da Ciência dos Materiais, tanto no campo da Geologia, da Mecânica dos Solos e Fundações, da Agronomia, como da Construção de Estradas e Pavimentação. (NEVES et al. 2005, p. 4).

2.1.2 O solo como material de construção

A *terra crua* teve e ainda tem seu uso bastante difundido pelo globo terrestre, tendo sido detectadas inúmeras formas de utilização deste material. Hoje, pelo menos 1/3 da população do globo terrestre habita construções feitas usando a *terra crua* como material principal. Há, inclusive, quem estime em 50% o percentual da população mundial que se vale de uma construção usando terra para se proteger das intempéries. China, Índia, Iêmen, Iraque, Espanha, França, Inglaterra, Portugal, Dinamarca, Noruega, Suécia, Finlândia, Burkina Faso, Costa do Marfim, Marrocos, Peru, Bolívia, Brasil e Estados Unidos são apenas alguns exemplos de países onde a *terra crua*, sob uma ou mais formas diferentes, é utilizada na construção. (NEVES, et al., 2005)

Para constataremos a utilização do solo, popularmente chamado de terra, como material de construção basta pesquisar em construções históricas de algumas civilizações e verificaremos que muitas delas resistem até hoje e que segundo Taveira (1987, p.11), quem não acreditar na eficiência e durabilidade da terra, basta dar uma olhada em construções

históricas que resistem aos séculos e séculos, mostrando firmeza e encantando o mundo. Os antigos souberam usar muito bem esta matéria prima. Exemplo disto é a Grande Muralha da China, Figura 2.1, feita em terra no ano de 3.000 a. C., além de arcos e domos, construídos em blocos de adobes, na Mesopotâmia, Assíria, Egito e Babilônia. Além destes Taveira (1987, p.11) cita um edifício construído com terra há 3.000 anos no Paquistão; testemunhos da solidez da terra são também a cidade bíblica de Jericó, erguida há 10.000 anos e a mítica Torre de Babel, cujo sétimo nível correspondia a 90 metros de altura e no século XIII, os índios pueblos, no Novo México, construíram a cidade de Taos; em 1609, foi erguido o Palácio dos Governadores, em Santa Fé, também no Novo México; na cidade argentina Santa Fé surgiu o convento de São Francisco em 1695, Figura 2.2; na Califórnia, Estados Unidos, cidades inteiras foram erguidas com terra; no Irã, Iraque e Iemen, edifícios construídos há quatro ou cinco séculos, alguns com mais de dez andares, mantêm-se ainda hoje em boas condições; as casas de Lyon idealizadas no século passado durante a revolução francesa, pelo arquiteto francês François Cointeaux e a cidade de Shibani, no Iêmen do Sul construída neste século, com 500 edifícios até 30 metros de altura, são outras claras demonstrações do que a terra pode fazer para o bem da humanidade.

Figura 2.1 - Muralha da China



Fonte: Wikipédia (2014).

Figura 2.2 – Convento de São Francisco – Argentina



Fonte: <https://www.flickr.com/photos/andresbueno/3117828971/> acesso em 18/12/2014.

A técnica construtiva usando o adobe foi trazida para a América Latina pelos espanhóis.

Segundo relata Neves et al (2005, p. 36), no Brasil, a terra teve seu emprego generalizado até o século XVIII, com maior ênfase em locais onde não havia muita pedra. Só para caracterizar o uso deste material, vale a pena lembrar que as muralhas da cidade de Salvador eram em taipa, assim como a casa forte construída por Caramuru em 1540 (primeira arquitetura mais duradoura levada a efeito no Brasil). A Sé de palha também teria sido edificada em taipa, assim como o hospital que anteriormente existia no local do Hospital Santa Isabel. As grandes matrizes do interior de Minas Gerais, assim como as pequenas capelas daquele Estado também, geralmente foram erguidas com esta técnica construtiva. Nos arredores de Cuiabá, bem como em São Paulo e Goiás, ainda nos sobram vestígios de arquitetura de terra. Foi, inclusive, nestes dois últimos estados onde houve a maior difusão da taipa de pilão. A casa banderista é um exemplo de construção em taipa de pilão bastante conhecido entre nós, e que pode ser ainda visto em São Paulo, com certa facilidade. Temos notícia de um exemplar no Ceará, porém este é de acesso mais difícil.

E ainda conforme Taveira (1987, p.12), no Brasil, o processo construtivo através do uso da terra, trazido por intermédio dos exploradores portugueses, teve presença marcante durante o período colonial. São Paulo adotou intensamente este sistema nas construções feitas no Planalto de Piratininga e nos caminhos dos bandeirantes até Minas Gerais, Mato Grosso e Goiás. Além disso, cidades históricas como Ouro Preto, Diamantina, Parati, Salvador são uma mostra das possibilidades do uso do solo encontrado ali na forma de taipa-de-pilão,

adobe e pau-a-pique. Conforme Ferraz e Segantini (2003), o solo sempre fez parte da herança construtiva brasileira.

A construção com terra se confunde com o próprio Homem, marcando presença em todas as épocas e em todos os continentes. O solo foi a primeira e mais antiga argamassa empregada pelo homem. Vestígios de habitações humanas encontradas no período mesolítico (há 14 mil anos atrás) confirmam a utilização do solo na estrutura das paredes. Os romanos aperfeiçoaram a técnica acrescentando a cal. Há cerca de 8 mil anos, na Mesopotâmia, eram confeccionados tijolos a base de solos (cinza vulcânica decomposta) e cal. Algumas obras desta época podem ser visitadas até hoje. (RODRIGUES, 2008).

Muito antes do que se possa imaginar, o solo já era utilizado em construções. Cytryn (1957), afirmou que a construção com terra foi a primeira solução encontrada pelo homem primitivo para construir abrigos eficientes contra as hostilidades do meio ambiente, sobretudo em locais para difícil manuseio de rochas e madeiras.

2.1.3 Classificação dos solos

Existem diversas formas de classificar os solos, como pela sua origem, pela sua evolução, pela presença ou não de matéria orgânica, pela estrutura, pelo preenchimento dos vazios. Assim, torna-se importante estabelecer critérios múltiplos para uma adequada classificação dos solos, levando-se em conta o diâmetro da partícula e propriedades físicas, com base no propósito da sua utilização. (LIMA, 2013, p. 24)

De acordo com Vargas (1981, apud SEGANTINI, 2000, p. 8 e 9.) a classificação dos solos tem grande importância para a engenharia, sendo que os problemas da Mecânica dos Solos devem partir da identificação do material com que se vai trabalhar. Uma vez feita a identificação, o solo deve ser classificado de acordo com categorias preestabelecidas. Após isso, com a definição do problema, inicia-se o dimensionamento. O autor afirma que a classificação dos solos, para fins de engenharia civil, deve ser feita considerando-se tanto a granulometria como a plasticidade do solo. São apresentadas as duas classificações mais utilizadas na Engenharia Civil: a classificação *HRB da AASHO*; e a classificação *de*

Casagrande que, atualmente, evoluiu para *Classificação Unificada* do *Bureau of Reclamation* americano.

Segundo a ABNT NBR 6502:1995, de acordo com a granulometria os solos podem ser classificados pela Tabela 2.1.

Tabela 2.1 - Classificação dos solos segundo a granulometria – ABNT NBR 6502:1995

Classificação	Tamanho do grãos
Matacão	De 200 mm a 1m
Pedra de mão	De 60 mm a 200 mm
Pedregulho	De 2,0 mm a 60 mm
Pedregulho grosso	De 20,0 mm a 60,0 mm
Pedregulho médio	De 6,0 mm a 20,0 mm
Pedregulho fino	De 2,0 mm a 6,0 mm
Areia	De 0,06 mm a 2,0 mm
Areia grossa	De 0,6 mm a 2,0 mm
Areia média	De 0,2 mm a 0,60 mm
Areia fina	De 0,06 mm a 0,2 mm
Silte	De 0,002 mm a 0,06 mm
Argila	Menores que 0,002 mm

Fonte: Autor.

2.1.4 Estabilização do solo com o cimento

Milani e Freire (2006) relatam que com a utilização racional dos recursos naturais, o resgate do uso do solo como material de construção tem se intensificado ultimamente, tendo seu comportamento físico-mecânico melhorado por meio da estabilização com aglomerantes minerais. Na estabilização do solo com o cimento, ocorrem reações de hidratação dos silicatos e aluminatos presentes no cimento, formando um gel que preenche parte dos vazios da massa e une os grãos adjacentes do solo, conferindo-lhe resistência inicial; paralelamente, ocorrem reações iônicas que provocam a troca de cátions das estruturas argilominerais do solo com os íons de cálcio provenientes da hidratação do cimento adicionado. Além dessas modificações iniciais, (ABIKO, 1980 apud MILANI; FREIRE, 2006) afirmou que, ao longo do tempo, formam-se compostos cimentantes que

contribuem para o melhoramento de propriedades do material (resistência mecânica, durabilidade, estabilidade volumétrica).

A estabilização com cimento, assim como a estabilização com cal, com resinas e com colas, é obtida através do preenchimento dos vazios por um ligante insolúvel, capaz de envolver as partículas em uma matriz inerte. Ocorre uma formação de cadeia, unindo intimamente as partículas do solo. Os principais fatores que influem nas características do solo-cimento são o teor de cimento, a natureza do solo e a compactação da mistura. (SANTIAGO, 2001, p. 63).

De acordo com Freire (1976), a utilização do cimento como agente estabilizador de solos teve início nos Estados Unidos, em 1916, quando foi empregado para solucionar problemas causados pelo tráfego de veículos com rodas não pneumáticas. Desde então, o solo-cimento passou a ter boa aceitação e a ser utilizado em construções habitacionais, pavimentação de estradas e vias urbanas, aeroportos, acostamentos, revestimento de barragens de terra, canais de irrigação, além de muitas outras aplicações.

Segundo Santiago (2001, p.63), o mecanismo da estabilização usando o cimento funciona de três maneiras diversas, pois o cimento reage com:

- A água, formando uma massa de cimento puro hidratado;
- A fração arenosa do solo, à semelhança do que ocorre com as argamassas de cimento e areia;
- A argila, o que ocorre em três fases distintas: hidratação, progressão da hidratação e interpenetração do gel de cimento no aglomerado argiloso.

Temos desta forma, três estruturas diversas misturadas: uma pasta de cimento, uma argamassa de cimento e areia e um argilomineral estabilizado.

Para se conseguir resultados mais eficientes, recomenda-se compactar a mistura de solo com cimento com o material no estado úmido.

De acordo com Santiago (2001, p. 64), os solos que propiciam melhores resultados à estabilização com cimento, no que diz respeito à resistência mecânica, são os arenosos e aqueles que possuem pedregulhos, apesar de quase todos os tipos de solos se prestarem a este tipo de estabilização.

2.1.5 Compactação do solo

O processo de compactação promove a diminuição dos vazios do solo por expulsão do ar contido nesses vazios e segundo Blücher (1951, apud SOUZA, 2006, p. 24), a compactação do solo é o processo pelo qual suas partículas são forçadas a se agruparem mais estreitamente, através da redução dos vazios. Este processo é feito geralmente por meios mecânicos e ainda conforme Souza (2006, p. 24), a nova configuração do solo após a compactação afeta significativamente suas características mecânicas e, conseqüentemente, sua porosidade e permeabilidade também são modificadas.

Conforme Souza Junior (2005, p.6), a compactação pode ser entendida como um processo em que visa melhorar as propriedades de um dado material, através da compressão do mesmo por meio de uma determinada energia mecânica. Dentre os principais benefícios, em termos de propriedades geotécnicas, adquiridos através do processo de compactação, podem ser citados o aumento da densidade, da resistência ao cisalhamento e da capacidade de suporte retratada através do CBR. A compactação também reduz o índice de vazios, a permeabilidade, a contração e a compressibilidade.

Segundo a ABNT NBR 6502:1995 compactação é definida como o processo artificial de aumento da massa específica de um solo, por redução do seu volume de vazios, através da aplicação de energia mecânica.

A resistência do solo está diretamente relacionada com seu grau de compacidade quando é adensado por um determinado esforço. Para cada tipo de solo e para cada esforço de compactação existe uma determinada umidade, denominada umidade ótima de compactação, na qual ocorrem as condições em que se pode obter o melhor adensamento, ou seja, a maior massa específica seca. Nesta condição, o solo também apresenta menor porosidade, caracterizando assim um material mais durável e mais resistente mecanicamente. (NEVES et al. 2005, p. 9).

E ainda segundo Souza Júnior (2005, p. 2), o efeito da energia de compactação na estrutura e nas propriedades geotécnicas dos solos compactados é essencial para o entendimento do

comportamento dos materiais durante a vida útil dos pavimentos e tem sido intensamente estudado por diversos autores.

A compactação de solos poderá ser realizada por vários métodos, e em cada caso serão obtidos, provavelmente, resultados diferentes para um mesmo tipo de material. Por outro lado, um mesmo método de compactação, quando aplicado em solos com características geotécnicas distintas, também poderá apresentar resultados bastante diferentes. Portanto, os resultados de um processo de compactação dependem de diversos fatores como a natureza do solo, o método de compactação a ser utilizado, a energia e o teor de umidade. (ESSIGMANN JR *et al.*, 1978 apud SOUZA JÚNIOR, 2005).

Os principais tipos de compactação dos solos podem ser: por vibração, por impacto, por amassamento, por pressão, e em laboratório, conforme Souza Júnior (2005, p.13), os métodos de compactação mais utilizados são: compactação dinâmica ou por impacto; compactação estática ou por pressão; compactação por pisoteamento ou por amassamento, e compactação por vibração.

O ensaio de compactação dinâmica ou por impacto consiste na aplicação de um determinado peso (soquete), que cai livremente de uma certa altura sobre uma camada de solo, compactada em um cilindro padrão. A energia de compactação que se deseja aplicar depende da padronização de cada um desses parâmetros. Ao variar qualquer um deles como peso, altura, número de golpes ou espessura da camada, varia-se também a energia, alterando-se, assim, o resultado de todo o processo de compactação. (SENÇO, 1997).

Souza (2006, p. 24) relata que em 1933, *R. Proctor* publicou uma série de artigos sobre métodos de controle de compactação. Seus estudos enunciaram um dos mais importantes princípios da Mecânica dos Solos, ou seja, que a densidade de um solo compactado é função do teor de umidade no momento de sua compactação. Proctor percebeu que, para uma energia de compactação constante, ao se adicionar água ao solo, sua densidade aparente aumentava até certo ponto, o qual ficou conhecido como umidade ótima. Ao acrescentar teores de umidade acima do ótimo, a densidade tornava-se a reduzir, pois o excesso de água absorve parte da energia de compactação e a redistribui ao sistema, afastando as partículas sólidas. (GRANDE, 2003).

A Figura 2.3 mostra a execução do ensaio de compactação Proctor normal.

Figura 2.3 - Ensaio de compactação Proctor normal



Fonte: Autor.

Felt (1955, 1957) apud ABCP (1980, p.10), mostrou que a umidade da mistura, por ocasião da compactação, não só influi na densidade atingida com determinado equipamento, como, por si só, afeta as características do material. Nota-se que para os solos arenosos, as maiores resistências são atingidas com umidade de moldagem um pouco inferiores à umidade máxima do ensaio de compactação, enquanto que, com solos argilosos, elas se manifestam com umidades de moldagem em pouco superiores à ótima do ensaio. Verifica-se, também, que o solo-cimento com solo argiloso é mais sensível à variação de umidade do que o executado com solo arenoso.

2.1.5.1 O ensaio Mini-MCV

Fabbri (1994) relata que em meados de 1979, o Professor Job Shuji Nogami, então engenheiro do DER-SP engajado no convênio 42/77 do IPAI/DER-SP, apresentou, à equipe técnica do convênio sediada no laboratório da DR-4 em Araraquara, o ensaio de MCV, Moisture Condition Value, desenvolvido por Parsons(1976) e uma classificação de solos baseada nos resultados deste ensaio. (PARSONS e BOLDEN, 1979). Apresentou também a sua proposta de adaptação desse ensaio para que fosse possível a sua execução a

partir de corpos de prova de dimensões reduzidas obtidos utilizando-se o equipamento de compactação e cilindro do ensaio Mini-CBR. O ensaio realizado nessas condições foi denominado pelo seu autor de Mini-MCV.

Segundo Parsons (1976, apud FABBRI 1994), o ensaio MCV baseia-se no princípio fundamental da compactação, onde a densidade obtida é função somente do teor de umidade e do esforço de compactação dispendido. Foi originalmente desenvolvido com a finalidade de medir um "valor" associado à condição de umidade que o solo contém e é utilizado para verificar, rapidamente, no campo, o teor de umidade do solo e as condições de trabalhabilidade associadas a esse teor de umidade.

A primeira tentativa de padronização do ensaio Mini-MCV, conforme o idealizado pelo Prof. Nogami, a partir do ensaio MCV de Parsons (1976), foi proposta por Sória e Fabbri (1980), a pedido do referido professor. As principais diferenças e semelhanças entre o ensaio original e o de Mini-MCV são listadas na Tabela 2.2. (FABBRI, 1994).

Tabela 2.2 - Semelhanças e diferenças entre os ensaios MCV (PARSONS E BOLDEN, 1979) e Mini-MCV (SÓRIA E FABBRI, 1980)

Ensaio Característica	MCV	Mini_MCV
Diâmetro do molde	100 mm	50 mm
Massa de solo	1500 g	200 ou 220 g [*]
Massa do soquete	6800 g	2270 g
Altura de queda do soquete	250 mm	305 mm
O que é medido	Penetração do soquete em relação ao topo do cilindro	Altura do corpo de prova diretamente
Diferença de Penetração/Altura p/ cálculo do MCV/Mini-MCV	5 mm	2 mm
Forma de cálculo do MCV/Mini-MCV	10 log (n)	10 log (n)
Geratriz	n - 4n	n - 4n
Término do ensaio	3 leituras consecutivas de penetração do soquete semelhantes	- ocorrência de exsudação - diferença entre leituras menor que 0,1 mm - ao se atingir 256 golpes

^{*} mudado posteriormente para somente 200 g.

Fonte: FABBRI (1994).

Ainda segundo Fabbri (1994) este novo ensaio, o Mini-MCV, apesar de reduzir a quantidade de solo usada na compactação (utilizando 200 g de solo por teor de umidade, totalizando no máximo 1000 g), e o esforço dispendido na sua realização (pois utiliza um soquete de 2270 g), manteve os outros procedimentos do ensaio original, permitindo a obtenção de parâmetros a' e b' da curva de calibração teor de umidade versus Mini-MCV, similares aos a e b de Parsons e Bolden (1979). Além dos parâmetros originais do ensaio MCV, o Mini-MCV possibilita ainda a obtenção de uma família de curvas de compactação do solo (massa específica aparente seca versus teor de umidade de compactação). Tais curvas são calculadas a partir das alturas parciais atingidas pelo corpo de prova durante a aplicação da seqüência de golpes pré-estabelecida, abrangendo desde energias inferiores à normal até além da intermediária. O Mini-MCV permite ainda que sejam realizados, após a moldagem dos corpos de prova, ensaios de medida de capacidade de suporte tipo Mini-CBR e outros da mesma família, para a condição sem imersão ou umidade de moldagem, conforme ressaltam Nogami e Villibor (1980, apud FABBRI, 1994). Inicialmente, o ensaio de Mini-MCV era executado com massas diferentes conforme o tipo de solo analisado (NOGAMI E VILLIBOR, 1981, 1985, apud FABBRI, 1994). Se o solo fosse argiloso, o ensaio deveria ser executado com massa úmida igual a 200 g, caso fosse arenoso, com 220 g. Posteriormente, devido a dificuldades na sua execução, pois corria-se o risco de executar o ensaio com uma massa não apropriada para o tipo de solo analisado e então ter que repetir o ensaio com a massa correta, o procedimento de ensaio foi simplificado, passando a ser realizado somente com amostras de 200 g para qualquer tipo de solo, e normalizado pelo Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo (DER-SP, 1988).

No ensaio Mini-MCV, utiliza-se um processo de compactação que permite que, durante a aplicação dos golpes, seja medida a altura do corpo de prova resultante de um conjunto de golpes aplicados. A densidade do corpo de prova tende a um valor próximo da condição de saturação. Para cada teor de umidade há uma energia (números de golpes) que leva a amostra a este estado de compactação. SÓRIA e FABBRI (1980, apud OLIVEIRA, 2013, p.20).

Este ensaio foi padronizado pelo DNER como Solos compactados em equipamento miniatura – Mini-MCV – Norma rodoviária – Método de Ensaio – DNER-ME 258/94 14 p.

As Figuras 2.4a e 2.4b mostram o equipamento Mini-MCV, e a execução do ensaio de compactação.

Figura 2.4a - Equipamento miniatura Mini-MCV



Fonte: Autor.

Figura 2.4b - Ensaio de compactação em equipamento miniatura Mini-MCV



Fonte: Autor.

2.1.6 Retração do solo

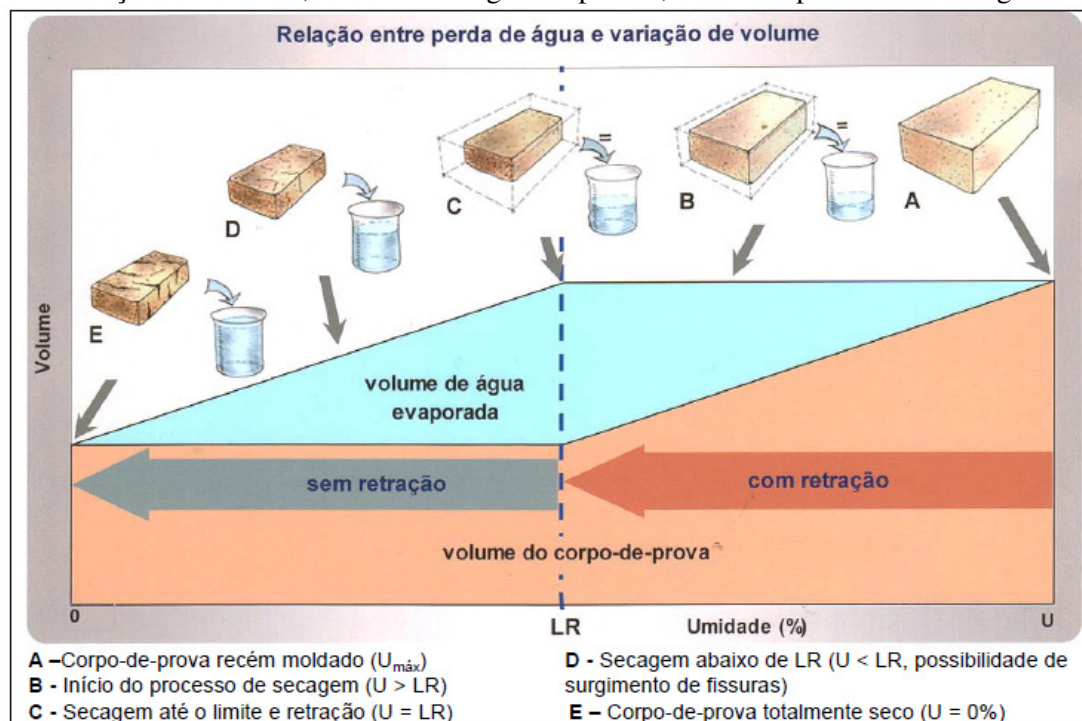
A quantidade e o tipo da argila presente no solo, representados essencialmente pelos argilominerais, são responsáveis pelos movimentos de retração e expansão, que se observam quando há variação da umidade. Nas paredes de terra, os movimentos de retração e expansão da argila provocam fissuras, que podem gerar lesões internas e ou superficiais e permitem a penetração de água, e a ocorrência de patologias que conseqüentemente contribuem para a perda de resistência do material e a degradação da parede. (NEVES et al. 2005, p. 8).

Nos casos estudados pela ABCP (1985) ficou patente que a retração dos solos sem cimento é francamente dependente do tipo e da quantidade de argila, expressa em quantidade de

solo com tamanho inferior a $2\ \mu\text{m}$ (argila, na escala internacional), mais do que ligada ao próprio tipo ou classificação do solo e que há uma influência do teor de umidade de moldagem configurando uma razão direta entre a umidade de moldagem e a retração dos corpos de prova, significando que a pressão intergranular nos corpos de prova moldados acima da umidade ótima é relativamente pequena, além do que produz um solo-cimento com estrutura dispersa ou aberta, o que os torna passíveis de sofrerem maiores mudanças volumétricas aumentando a retratibilidade por secagem.

O *limite de retração* (LR) marca a passagem do estado sólido com retração para o estado sólido sem retração, e é determinado pelo teor de umidade a partir do qual o volume do solo permanece constante quando se processa a evaporação da água. A evaporação da água abaixo do limite de retração mantém o volume de solo, mas a retração sucede com a abertura de trincas, conforme mostra a Figura 2.5. (NEVES et al. 2005, p. 8).

Figura 2.5 - Diagrama representativo da relação entre o limite de retração (LR) e as variações de volume, da terra e da água evaporada, durante o processo de secagem



Fonte: Neves et al. (2005, p. 8).

2.2 CIMENTO PORTLAND

Segundo ABCP (2009), o cimento portland é uma das substâncias mais consumidas pelo homem e isso se deve a características que lhe são peculiares, como trabalhabilidade e moldabilidade (estado fresco), e alta durabilidade e resistência a cargas e ao fogo (estado duro). Insostituível em obras civis, o cimento pode ser empregado tanto em peças de mobiliário urbano como em grandes barragens, em estradas ou edificações, em pontes, tubos de concreto ou telhados. Pode até ser matéria-prima para a arte.

A palavra cimento é derivada da palavra latina *caementum*, que os romanos denominavam a mistura de cal com terra pozolana (cinzas vulcânicas das ilhas gregas de Santorim e da região de Pozzuoli, próximo a Nápoles), resultando em uma massa aglomerante utilizada em obras de alvenaria, pontes e aquedutos. (GRANDE, 2003. p.

Conforme relata Lima (2013, p. 30 e 31), o engenheiro John Smeaton, por volta de 1756, procurava um aglomerante que endurecesse mesmo em presença de água, de modo a facilitar o trabalho de reconstrução do farol de Eddystone, na Inglaterra. Em suas tentativas, verificou que uma mistura calcinada de calcário e argila tornava-se, depois de seca, tão resistente quanto às pedras utilizadas nas construções. Coube, entretanto, a um pedreiro, Joseph Aspdin, em 1824, patentear a descoberta, batizando-a de cimento Portland, numa referência a *Portlandstone*, tipo de pedra arenosa muito usada em construções na região de Portland, Inglaterra. No pedido de patente constava que o calcário era moído com argila, em meio úmido, até se transformar em pó impalpável. A água era evaporada pela exposição ao sol ou por irradiação de calor através de cano com vapor. Os blocos da mistura seca eram calcinados em fornos e depois finamente moídos.

Grande (2003, p. 13) define o cimento como um aglomerante hidráulico obtido pela moagem do clínquer, com adição de gesso (para regular o tempo de início de hidratação ou tempo inicial de “pega”) e outras substâncias que determinam o tipo de cimento. O clínquer é o resultado da mistura de calcário, argilas e, em menor proporção, minério de ferro submetido a um processo chamado clinquerização, na qual a matéria-prima é moída, misturada em determinadas proporções e submetida à queima em forno rotativo a elevadas temperaturas. (GRANDE, 2003).

Segundo a ABNT NBR 5732:1991 Cimento Portland Comum é o aglomerante hidráulico obtido pela moagem de clínquer Portland ao qual se adiciona, durante a operação, a quantidade necessária de uma ou mais formas de sulfato de cálcio. Durante a moagem é permitido adicionar a esta mistura materiais pozolânicos, escórias granuladas de alto-forno e/ou materiais carbonáticos, nos teores especificados em 4.2.

No solo-cimento, assim como em concretos e argamassas, a natureza do cimento dever ser considerada para a proposta de desenvolvimento de pesquisas que visam melhorar o desempenho desse material. Sabe-se que diferentes composições de cimento conduzem a comportamentos distintos da mistura de solo-cimento, principalmente nos que se referem à fissuração por retração. (GRANDE, 2003, p. 15).

2.3 SOLO CIMENTO

2.3.1 Definição

Segundo a ABCP (1986), o solo-cimento é o produto endurecido resultante da mistura íntima compactada de solo, cimento e água, em proporções estabelecidas através de dosagem racional, executada de acordo com as normas aplicáveis ao solo em estudo. O conhecimento das propriedades destes elementos possibilita a previsão das características da mistura. Evidentemente, dos três, é o solo o mais variável e a ele se tem dado maior atenção nos estudos de laboratório. (ABCP, 1980).

Para Andrade Filho (1989, apud SOUZA, 2006, p.25) a conceituação do solo-cimento teve origem em Sallsburg em 1917. Entretanto, havia poucos relatos até 1932, quando se teve notícia dos primeiros trabalhos cientificamente controlados, por meio da sua utilização na pavimentação de 17.000 m² em Johnsonville, Carolina do Sul, EUA.

Conforme Castro (2008) que citou Enteiche (1963, apud MERCADO, 1990), trata-se de um processo físico-químico de estabilização, no qual as consequências decorrem de uma estruturação resultante da reorientação das partículas sólidas do solo, com a deposição de

substâncias cimentantes nos contatos intergranulares, alterando, portanto, a quantidade relativa de cada uma das três fases – sólidos, água e ar – que constituem o solo.

Segundo a ABNT NBR 12023:2012, o solo-cimento é o produto endurecido resultante da mistura íntima compactada de solo, cimento e água, em proporções estabelecidas por meio de dosagem executada conforme a ABNT NBR 12253:2012.

2.3.2 Histórico

Em 1935, a PCA – Portland Cement Association, considerando os promissores resultados alcançados nas primeiras tentativas de emprego do cimento portland na estabilização de solos, iniciou um intenso programa de pesquisas, estudando a aplicabilidade deste processo na pavimentação de estradas. Este foi o berço de um novo material, hoje conhecido e empregado em todo o mundo: o solo-cimento. (ABCP, 1980).

O interesse pelo assunto no Brasil se deu a partir de 1936, através da ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland, que regulamentou e pesquisou sua aplicação, levando em 1941 à pavimentação do Aeroporto de Petrolina-PE. A rede pavimentada de solo-cimento no Brasil alcançava, em 1970, a casa dos 7.500 quilômetros.

O Brasil é um dos pioneiros neste campo e, em área pavimentada, ocupa posição somente inferior a dos Estados Unidos. Doze aeroportos e mais de 13.000 quilômetros de estradas representam, sem dúvida, grande realização e considerável experiência de nossa engenharia neste setor. Desde as pesquisas iniciais da Associação Brasileira de Cimento Portland, em 1941, e a pavimentação pioneira do aeroporto de Petrolina, até os numerosos programas atualmente em execução, os técnicos nacionais vêm acumulando dados de real valor, porquanto adquiridos num trabalho orientado e cuidadosamente realizado (ABCP, 1980).

Segundo a ABCP (1987), a utilização do solo-cimento na construção de habitações populares permite redução de custos. Isto se torna possível graças ao baixo custo do solo, que é o material usado em maior quantidade, além da redução de custos com energia.

Existe ainda possibilidade de redução de custos com a mão-de-obra, pois o processo não requer, em grande número, profissionais especializados em construção.

Segundo Ferraz (2004) o solo cimento é classificado em duas categorias: SCC (solo-cimento compactado e SCP (solo-cimento plástico) No caso do SCC a água deve ser adicionada em quantidade suficiente, de modo que possibilita a compactação máxima e favoreça as reações de hidratação do cimento. No caso do SCP, a água é adicionada até que se obtenha um produto de consistência plástica, de aspecto similar ao de uma argamassa de emboço.

Segundo relata Souza (2006) o solo-cimento foi utilizado em habitações a partir de 1948, em experiências desenvolvidas pela ABCP, com a construção de duas casas do Vale Florido, na Fazenda Inglesa, em Petrópolis no Rio de Janeiro. A qualidade do produto e da técnica construtiva pode ser atestada pelo bom estado de conservação destas casas após vários anos de utilização.

2.3.3 Critérios para escolha do solo

A granulometria do solo exerce grande influência na qualidade e no custo da fabricação dos blocos vazados de solo-cimento, sendo que os solos mais indicados são os solos predominantemente arenosos, cujas características devem atender ao item 4.1.1 da ABNT NBR 10833:2012, com 100 % de material que passa na peneira com abertura de malha 4,75 mm, de acordo com a ABNT NBR NM ISO 3310-1:1997; 10 % a 50 % de material que passa na peneira com abertura de malha 75 µm, de acordo com a ABNT NBR NM ISO 3310-1:1997; limite de liquidez menor ou igual a 45 %; índice de plasticidade menor ou igual a 18 % e o solo não pode conter matéria orgânica em quantidade que prejudique a hidratação do cimento. Recomenda-se utilizar o solo que atenda à ABNT NBR NM 49:2001 (a solução obtida no ensaio deve ter coloração mais clara do que a solução padrão).

Os solos de maneira geral apresentam melhorias significativas em suas propriedades mecânicas quando misturados com cimento e devidamente compactados. Devem possuir em sua composição um teor mínimo da fração fina, pois a resistência inicial do solo

cimento é devida a coesão da fração fina compactada. A experiência tem demonstrado que quando os solos possuem um teor de silte mais argila inferior a 20 %, não se consegue uma resistência inicial para a sua compactação. (SEGANTINI, 2000).

De acordo com Segantini (2000), os solos arenosos são os mais indicados para a confecção do solo-cimento. A existência dos grãos de areia grossa e pedregulhos é altamente benéfica, pois são materiais inertes com função apenas de enchimento. Isso favorece a liberação de maior quantidade de cimento para aglomerar os grãos menores.

Na Tabela 2.3 apresentam-se as faixas granulométricas consideradas ideais para a composição do solo cimento

Tabela 2.3 - Faixas granulométricas ideais para solo-cimento

Autores	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Silte+Argila (%)	LL (%)
CINVA (1963)	45-80	..	..	20-25	..
ICPA (1973)	60-80	10-20	5-10	..	..
Merril (1949)	>50	..	..	..	..
MAC (1975)	40-70	<30	20-30	..	..
CEPED (1984)	45-90	..	<20	10-55	45-50
PCA (1969)	65	..	..	10-35	..

Fonte: Segantini (2000).

Segundo Silveira (1966, apud SOUZA, 2006, p. 26), os solos arenosos e pedregulhosos com cerca de 10 % a 35 % da fração silte argila, são considerados os mais favoráveis para a estabilização com cimento. Os solos arenosos deficientes em finos são também considerados materiais de boa qualidade, havendo apenas maior dificuldade para efetuar-se sua compactação e seu acabamento.

Segundo a ABCP (1985), embora existam solos que sozinhos não possam ser utilizados no processo, há possibilidade de se misturar dois ou mais solos para obtenção de um solo viável para estabilizar-se como solo-cimento.

2.3.4 Qualidade do solo cimento

A qualidade da mistura solo cimento está diretamente relacionada com o tipo de solo empregado, umidade do solo e umidade final da mistura, teor e tipo de cimento adotado, método e equipamentos empregados para a mistura e compactação, entretanto o tipo de solo é o fator que exerce a maior influência na qualidade do produto final.

ABCP (1985) relata que a duração do processo de mistura do solo com o cimento e a água, ou seja, o tempo em que o cimento fica em contato com a água e solo antes da compactação, provoca um decréscimo da resistência do solo-cimento. Lilley (1958) e Felt (1955) apud ABCP (1985), mostraram que isto se deve mais às reações iniciais do cimento, que diminuem a densidade máxima atingível com determinada energia de compactação, do que propriamente à redução da efetividade do cimento. Constatou-se também, que este efeito é mais pronunciado quando a mistura é deixada em repouso, do que quando é agitada periodicamente, motivo pelo qual as especificações não só prescrevem o tempo máximo de mistura, como recomendam seja o trabalho feito de modo contínuo.

Segundo a PCA (1969, apud SOUZA, 2006, p.27), como mostra a Tabela 2.3, solos arenosos e pedregulhosos contendo cerca de 65 % de areia e quantidade de silte mais argila variando de 10 % a 35 % se constituem em excelentes materiais para a obtenção de um solo-cimento econômico e de qualidade.

A ABNT NBR 10833:2012 em seu item 4.1.1 relaciona as principais características a serem adotadas para os solos destinados a execução de uma mistura solo cimento que proporcione a melhor qualidade.

Segundo Grande (2003) a adição de cimento ao solo permite obter um material com as seguintes vantagens: a absorção e a perda de umidade do material não causam variações volumétricas consideráveis; o material não se deteriora quando submerso em água; há aumento da resistência à compressão; em consequência de uma menor permeabilidade, é mais durável.

Quanto à compactação adequada da mistura, por sua vez, é essencial para a obtenção de um solo-cimento satisfatório. Para compreender melhor esse parâmetro, é preciso saber da influência do teor de umidade na compactação, pois somente uma boa compactação pode garantir que o material atinja um determinado peso específico, ou densidade aparente, que lhe confira resistência mecânica apropriada para um determinado fim. (GRANDE, 2003, p. 30).

2.3.5 Dosagem do solo cimento

Lima (2013, p.35), ressalta que o método de dosagem, por mais rigoroso que seja, não implicará necessariamente na obtenção de uma mistura de boa qualidade, uma vez que para isso devem ser observados outros fatores, tais como: teor de umidade da mistura, operações de mistura e compactação, tempo e condições de cura.

Segundo Ferraz, Belicanta e Gutierrez (2000) no estudo comparativo de alguns métodos de dosagens de misturas de solo-cimento a utilização do solo como material de construção pode ocorrer tanto na forma como ele é encontrado (solo natural), ou após a correção de algumas de suas propriedades de engenharia, onde podem ser empregados diversos métodos, entre os quais se citam a correção granulométrica e a adição de compostos químicos.

Carneiro et al. (2001) ressaltaram outra vantagem dos tijolos de solo estabilizado: a possibilidade de incorporar outros materiais na sua fabricação, como por exemplo, agregados produzidos com entulho reciclado e rejeitos industriais (sílica ativa, cinzas volantes, escórias de alto forno e outros).

A dosagem de solo-cimento segundo ABCP (1986), é a sequência de ensaios realizados com uma determinada mistura de solo, cimento e água, seguida da interpretação dos resultados por meio de critérios pré-estabelecidos; o resultado final consiste na fixação das três variáveis: a quantidade de cimento, a quantidade de água e a massa específica aparente seca a ser alcançada pós-compactação. Entretanto, a quantidade de água e a massa específica aparente indicada para uma determinada mistura sofrem pequenas oscilações, dadas as variações de campo que ocorrem nas características do solo. Assim sendo, a

quantidade de água a ser adicionada na mistura, e a massa específica aparente seca da mistura compactada passaram a ser tomadas exclusivamente como elemento de controle do serviço e, com isso, o objetivo da dosagem passou a ser somente a fixação da quantidade adequada de cimento, embora forneça, apenas como dados indicativos básicos, a umidade ótima e a massa específica aparente seca máxima ensaiada.

Segundo ABCP (1986) o teor de cimento em massa sugerido, a ser adicionado para a dosagem da mistura solo cimento deve seguir a Tabela 2.4.

Tabela 2.4 - Teor de cimento sugerido para a compactação

Classificação HRB	Teor de cimento em massa
A1-a	5
A1-b	6
A2	7
A3	8
A4	10
A5	10
A6	12
A7	13

Fonte: ABCP (1986).

No caso do estudo, o solo foi classificado segundo HRB como do tipo A2-4 – Areia e areia argilosa, portanto requerendo para a mistura um teor de cimento em massa de 7 % conforme sugestão da Tabela 2.4 da ABCP. Como se utilizou 12,7 % de cimento em massa sobre a mistura, este valor encontra-se acima do sugerido.

2.3.6 Retração do solo cimento

Segundo ABCP (1985), fenômeno praticamente inerente ao solo-cimento, a retração volumétrica – matriz da retração linear – é, sabidamente, devida à interação entre o solo matéria prima, o cimento portland e a água. Entretanto, ante a considerável complexidade do fato, conhecem-se poucos estudos experimentais a esse respeito. A necessidade de controlar a fissuração do solo-cimento provocada por essa retração exige o conhecimento da influência de cada um dos diferentes fatores intervenientes no estabelecimento da quantidade total de retração do produto endurecido.

O estudo técnico da ABCP (1985) que trata da retração do solo-cimento, após vários estudos e ensaios sobre este assunto e análise dos resultados obtidos e sua interação concluiu alguns pontos importantes, que se resumem no seguinte:

- A retração dos solos argilosos tratados com cimento é muito mais lenta do que os solos granulares, ou seja estes atingem a estabilidade de volume logo nas primeiras idades; aqueles seguem retraindo-se por mais tempo.
- Quanto maior a fração argilosa (abaixo de 2 μm) de um solo, tanto maior será a sua tendência à retração.
- Para solos com altas porcentagens acima da peneira com abertura de malha 0,42 mm, teores crescentes de cimento levam a aumento de retração.
- Há uma relação diretamente proporcional entre a finura do cimento portland utilizado e a retração total do solo-cimento.
- Um dos fatores mais influentes na retração do solo-cimento é indubitavelmente, o conteúdo de água no momento da compactação.
- Indica-se haver uma ligação entre retração total e a massa específica aparente máxima seca do solo-cimento.
- Qualquer solo-cimento executado em região úmida, independente do tipo de solo, tem menor possibilidade de retrair-se.
- Períodos muito longos de cura não aumentam significativamente a retração total.
- A retração do solo-cimento, fato perfeitamente ligado à natureza do material, pode e deve ser controlada em casos potencialmente críticos.
- O controle da retração e de seus efeitos no solo-cimento pode ser feito, na prática, estudando-se cada caso à luz dos fatores que nela influenciam.

2.3.7 Custo do solo cimento

Segundo ABCP (1987, apud SOUZA, 2006, p. 28), a utilização do solo-cimento na construção de habitações populares permite redução de custos. Isto se torna possível graças ao baixo custo do solo, que é o material usado em maior quantidade, além da redução de custos com energia. Existe ainda possibilidade de redução de custos com a mão de obra, pois o processo não requer, em grande número, profissionais especializados em construção.

O custo final da execução da alvenaria de blocos de solo cimento é menor tendo em vista que a mão de obra pode ser reduzida em função das características regulares do bloco modular, pode ser encaixado com uso apenas de cola ou de argamassa com camada fina, o volume de concreto para amarrações, vergas, pilares é bem menor, utilizando-se canaletas, sem necessidade de formas de madeira, o revestimento final em reboco pode ser dispensado, se o bloco for do tipo vazado e aparente, não há necessidade de rasgos na alvenaria para passagem de tubulações o que diminui os desperdícios, bem como a mão de obra, reduzindo também com isto o prazo de execução da obra, o que pode ser comprovado através dos estudos e comparações a seguir.

Lima (2013, p. 18 e 19) apresentou um estudo comparativo de custos, baseando-se na execução de uma parede de 2,70 metros de altura por 3,00 metros de comprimento, sendo que não foram considerados os gastos com rede elétrica e hidráulica, os gastos com a mão de obra, uma vez que, em construções com blocos de solo cimento é muito comum o uso do sistema de “mutirão”, auto construção ou na forma de cooperativas. A demonstração das comparações consta da Tabela 2.5, que mostra que apesar da quantidade de blocos utilizados e do seu custo como componente da construção da alvenaria ser maior do que a alvenaria convencional, o custo final da construção da parede estudada de 8,10 m² pode ser reduzido em aproximadamente 27 %. Contribuem neste valor a produtividade do componente; a diminuição do desperdício quando no recorte das paredes para instalações; a economia com revestimento interno (chapisco, emboço e reboco); economia na quantidade de argamassa para assentamento, sendo que os blocos podem ser assentados a seco, ou seja, pela simples justaposição devido aos encaixes que permitem a amarração direta entre os componentes ou ainda usando-se um filete de cola fluida, aplicada com uma bisnaga na superfície dos blocos, com a espessura da junta de assentamento tendo aproximadamente 1mm.

Tabela 2.5 - Estudo comparativo entre BTC de solo cimento x tijolo convencional

BTC de Solo-cimento de 12,5 x 25 x 7,5cm					Alvenaria convencional 11,5 x 24 x 14 cm				
Material	Un.	Quantid.	Preço	Total	Material	Un.	Quantid.	Preço	Total
1. Parede									
Blocos	pç	360	0,70	252,00	Blocos	pç	235	0,55	129,25
Cimento	kg	12	-	-	Cimento	kg	12	0,30	3,6
Areia	m³	0,13	-	-	Areia	m³	0,13	69,90	9,1
Cal	kg	20	-	-	Cal	kg	20	0,20	4,0
2. Pilares dentro dos furos (3 grautes) de 2,90m									
Areia	m³	0,12	69,7		Areia	m³	0,12	69,7	8,36
Cimento	kg	8	0,3		Cimento	kg	8	0,3	2,4
Pedrisco	m³	0,1	55		Pedra	m³	0,1	59	5,9
Tábua caixaaria 15cm	ml	18	-	-	Tábua caixaaria 15cm	ml	18	1,99	35,82
Ripa travamento caixaaria	ml	3	-	-	Ripa travamento caixaaria	ml	3	1,1	3,3
Pregos	kg	0,5	-	-	Pregos	kg	0,5	4,1	2,05
Ferro 8mm armadura	ml	12	1,4	16,8	Ferro 8mm armadura	ml	12	1,4	16,8
Ferrote 4,2mm estribos	ml	6,5	-	-	Ferrote 4,2mm estribos	ml	6,5	0,6	3,9
Arame amarras	kg	0,25	5,9	1,48	Arame amarras	kg	0,25	5,9	1,48
3. Canaleta 0,10 x 0,10 x 3,0 (2 canaletas)									
Areia	m³	0,02	69,9	1,4	Areia	m³	0,02	69,9	1,4
Cimento	kg	10,5	0,3	3,15	Cimento	kg	10,5	0,3	3,15
Pedrisco	m³	0,02	59	1,18	Pedra	m³	0,02	59	1,18
Tábua caixaaria 15cm	ml	24	-	-	Tábua caixaaria 15cm	ml	24	1,99	47,76
Ripa travamento caixaaria	ml	3	-	-	Ripa travamento caixaaria	ml	3	0,6	1,8
Pregos	kg	0,5	-	-	Pregos	kg	0,5	4,1	2,05
Ferro 8mm armadura	ml	6	1,4	8,4	Ferro 8mm armadura	ml	12	1,4	16,8
Ferrote 4,2mm estribos	ml	4,42	-	-	Ferrote 4,2mm estribos	ml	4,42	0,6	2,65
Arame amarras	kg	0,05	5,9	0,3	Arame amarras	kg	0,05	5,9	0,3
4. Reboco 16,20m²									
Areia	m³	0,58	-	-	Areia	m³	0,58	69,9	40,54
Cimento	kg	25	-	-	Cimento	kg	25	0,3	7,5
Cal	kg	80	-	-	Cal	kg	80	0,2	16
5. Pintura 16,20m²									
Massa corrida	gl	3	-	-	Massa corrida	gl	3	14,9	44,7
Selador alvenaria	gl	1	-	-	Selador alvenaria	gl	1	17,9	17,9
Tinta ou silicone impermeável	gl	1	40	40	Tinta ou silicone impermeável	gl	1	26,9	26,9
Custo total BTC de solo-cimento				R\$ 332,57	Custo total alvenaria convencional				R\$ 456,57

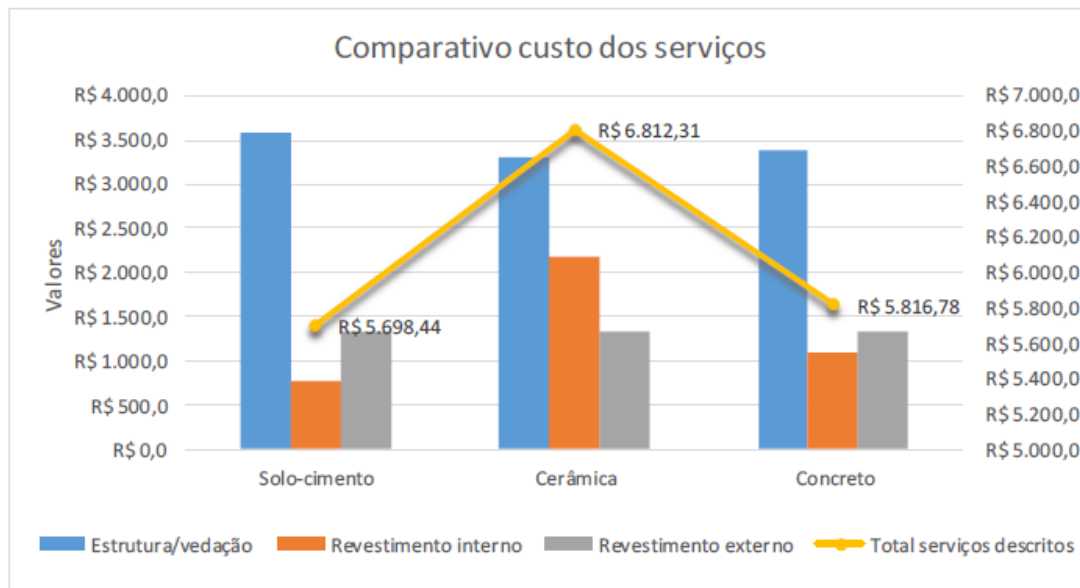
Fonte: Lima (2013, p. 19).

Segundo informações “Disponíveis em: <<http://www.ecol-tijolo.com.br/>>” Acesso em 30/03/2014, site da fábrica de tijolos ecológicos/blocos de solo cimento Ecol-tijolo Projetos e Produtos Ecológicos, que fabrica blocos de solo cimento o custo levantado da alvenaria convencional para uma obra de 43 metros quadrados é de R\$75,03/m² e a de blocos de solo cimento R\$38,09/m², ou seja, 50,77 % do valor da convencional, conforme dados de materiais e serviços nas cidades de Piracicaba e São Pedro.

Lima (2013, p 20 e 21) destaca que no caso da incorporação do resíduo de argamassa de assentamento e revestimento, ao solo-cimento, objeto de sua tese, a aquisição dos resíduos de construção já beneficiados e prontos para utilização, vindos de uma usina de reciclagem de resíduos de construção civil e, dependendo da distância de localização da usina fornecedora do resíduo beneficiado até o local onde serão fabricados os blocos, poderá representar um aumento no custo do componente, pois, ainda que diminua o custo com a extração de solo, incorrerá o custo da compra e transporte do material, o que nos remete a generalizar a observação para todo e qualquer tipo de resíduo. Este custo pode ser reduzido quando há uma grande demanda de material, há um planejamento e o beneficiamento é feito no próprio local de fabricação dos blocos.

Lima (2013, p. 21, 22 e 23) analisou o estudo comparativo de custo e produtividade do processo construtivo com blocos de solo cimento, blocos cerâmicos e blocos de concreto feito por Penteado e Marinho (2011) que considerou o custo e o tempo de execução das etapas de estrutura, vedação e revestimentos internos e externos, que juntos são responsáveis por mais de 44 % do valor do imóvel de uma residência popular de 33 m² executada como modelo em conjuntos habitacionais da COHAB de Curitiba – PR, e adaptou os dados levantados que resultaram na Figura 2.6 que apresenta o comparativo dos custos dos serviços de estrutura, vedação e revestimento, onde a soma total dos serviços escolhidos foi menor para o solo cimento, e na Figura 2.7 que trata das quantidades de horas necessárias para a execução dos serviços nos três sistemas, e mostra que a produtividade também foi mais satisfatória quando utilizado o solo-cimento.

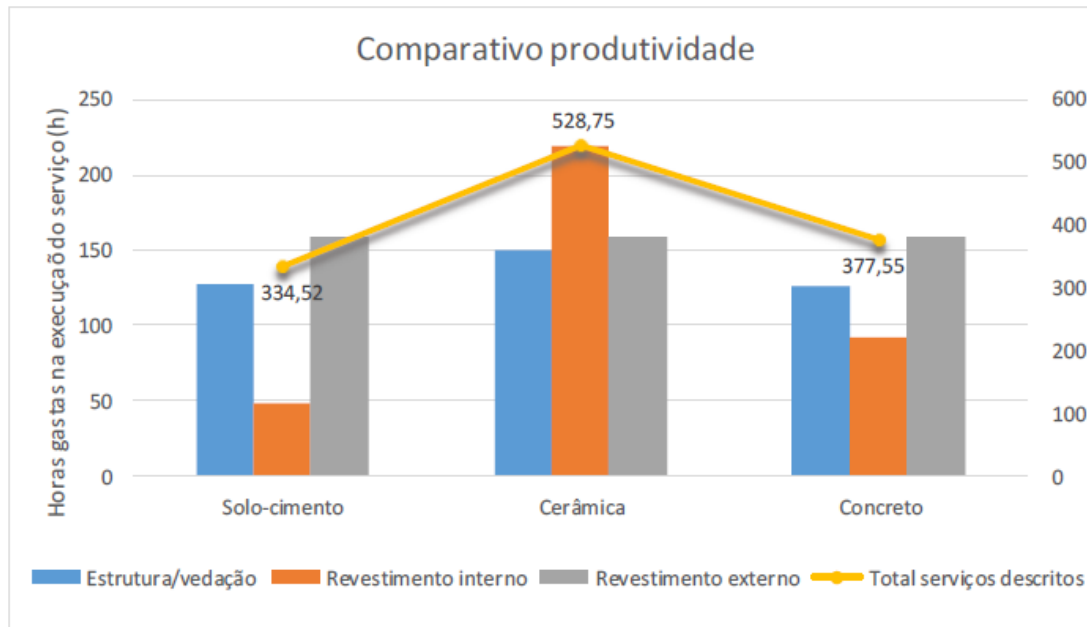
Figura 2.6 - Comparativo de custos dos serviços de estrutura, vedação e revestimentos



Fonte: Lima (2013, p. 22).

Segundo cálculos de Lima (2013, p. 22), baseando-se em Penteado e Marinho (2011), a maior diferença foi verificada na etapa do revestimento interno, onde a execução do serviço com solo-cimento gasta 36,73% menos tempo que no sistema de menor produtividade (blocos cerâmicos) e tem custo 16,35% menor que o sistema mais caro (blocos cerâmicos). Na comparação entre o sistema com solo-cimento e o sistema executado com blocos de concreto, as diferenças encontradas foram menores.

Figura 2.7 - Comparativo de produtividade (horas gastas na execução do serviço)
Fonte: Adaptado de Penteado e Marinho (2011)



Fonte: Lima (2013, p. 23).

Segundo Penteado e Marinho (2011), a vantagem da obra com blocos de solo-cimento em relação às outras estudadas ocorre no que se refere ao tempo de conclusão da obra, ao custo, ao desperdício de material, à poluição ambiental entre outros, principalmente quando isto se aplica a construção de várias unidades, como nos programas habitacionais do governo federal.

Após a análise comparativa dos três sistemas construtivos através do estudo de produtividade e custo, pode-se afirmar que o sistema construtivo solo-cimento é o mais viável para construção de residências populares, tendo em vista que apresentou os melhores resultados quando comparado ao sistema de alvenaria convencional e concreto. (PENTEADO; MARINHO, 2011, p. 57).

Segundo especialistas, a construção modular favorece a produtividade e a redução de custo de obras de grande volume, como as de habitação popular. Além disso, dado à confiabilidade nas medidas dos blocos, a modulação das paredes montadas com estes pode atingir grande precisão, levando os projetistas e executores a bons aspectos quanto à forma final das edificações. E, referindo-se ainda a uma montagem modular, a amarração entre elementos, disposição dos blocos e sistemas de encaixe, pode ser assegurada resultando

tanto em qualidade de montagem quanto em qualidade estética final da alvenaria aparente. (LIMA, 2013, p. 16).

2.3.8 Blocos de solo cimento

Segundo a ABNT NBR 10834:2012, o bloco de solo-cimento é o componente de alvenaria constituído por uma mistura homogênea, compactada e endurecida de solo, cimento Portland, água e, eventualmente, aditivos e/ou pigmentos em proporções que permitam atender às exigências desta Norma, cuja altura (H) seja igual ou superior à sua largura (L). Pode ser maciço ou vazado. Bloco maciço de solo-cimento é o bloco cujo volume é igual ou superior a 85 % do seu volume total aparente, podendo apresentar reentrâncias em uma das faces maiores, conforme estabelecido em 4.2.3 (No caso de blocos portadores de reentrâncias, estas devem situar-se a 25 mm, no mínimo, a partir das arestas das faces das reentrâncias, e devem ter uma profundidade (r) máxima de 13 mm). Bloco vazado de solo-cimento é o bloco com furos verticais, cujo volume total seja inferior a 85 % do volume total aparente e espessura mínima das paredes no seu entorno, conforme em 4.2.4 (Caso os blocos possuam furos, estes devem ter eixo perpendicular à superfície de assentamento, e a espessura mínima das paredes (e) no seu entorno deve ser de 25 mm).

Segundo Souza (2006), os tijolos de solo-cimento constituem uma das alternativas para a construção da alvenaria em habitações e em outras edificações. Utilizando como matéria-prima o solo, cimento e água, o tijolo é produzido por prensagem, que pode ser manual ou hidráulica, dispensando a queima em fornos. A viabilidade de sua produção depende basicamente da existência de solos adequados para a sua confecção.

Basicamente, as vantagens dos tijolos e blocos vazados de solo cimento, são: não consomem combustível na fabricação, por dispensar a queima¹; em geral podem ser produzidos com o próprio solo local e no canteiro de obras, reduzindo e evitando-se custo de transporte; possuem maior regularidade das dimensões e melhor acabamento dos blocos; redução no tempo de construção; redução no desperdício de material,

¹ Segundo Pisani (2005) não se deve ignorar a energia consumida para a fabricação do cimento que entra como um dos componentes para o fabrico do tijolo de solo-cimento, porém esta é menor que a consumida para queimar os tijolos cerâmicos, pois o cimento entra em pequenas proporções em relação ao volume total de material empregado.

especialmente concreto para estrutura e massa de assentamento; maior durabilidade da alvenaria; não necessita rasgos na alvenaria para passagem de tubulações e instalações que usam o próprio furo do bloco, conforme se apresenta na Figura 2.8; quando aparente não necessita de reboco e pintura final, necessita apenas da aplicação de um impermeabilizante; proporcionam maior conforto térmico e acústico; resultando com isto redução no custo final das alvenarias e da obra em geral.

Figura 2.8 - Alvenaria de blocos aparentes de solo cimento, furos utilizados para passagem de tubulações e passagem de ferragem da estrutura



Fonte: Ecomáquinas (2015).

Segundo Grande (2003, apud SOUZA, 2006, p. 30), os tijolos de solo-cimento podem ser utilizados em alvenaria de vedação ou estrutural, desde que atendam aos critérios de resistência estabelecidos nos projetos.

2.3.9 Fabricação dos blocos vazados de solo cimento

Segundo ABCP (1985) para a fabricação de tijolos e blocos de solo-cimento usa-se basicamente uma mistura constituída de solo, cimento e água, devidamente prensada. A prensagem é feita dentro de moldes e a forma variada destas possibilita produzir diversos tipos de elementos. Os elementos fabricados são estocados em uma área para cura e mantidos úmidos, porém são saturados, por um período nunca inferior a 7 dias.

Conforme relata Pisani (2005), a produção dos tijolos de solo-cimento varia de acordo com os objetivos de sua utilização (por causa de resistência, aparência, peso, formato, textura,

componentes, emprego para revestimento, entre outras coisas) e de acordo com o processo a ser utilizado (manual, mecânico ou híbrido).

Levando-se em conta a utilização do tijolo ou bloco, o primeiro passo é a escolha do solo mais adequado e que atenda às condições necessárias para satisfazer aos requisitos técnicos de cada caso, pois segundo ABCP (1985) o solo é o elemento que entra em maior proporção na mistura, devendo ser selecionado de modo que permita o uso da menor quantidade possível de cimento. Normalmente, os solos arenosos estabilizam-se com pequenas quantidades de cimento. É importante ressaltar que a presença de argila na composição do solo é necessária para dar à mistura de solo e cimento, quando umedecida e compactada, coesão suficiente que permita a conformação e o manuseio dos blocos e tijolos após a prensagem. Para tal escolha é necessário que o solo atenda às condições descritas no item 4.1.1 da ABNT NBR 10833:2012.

De forma sintética, de acordo orientação da ABCP (1985) em seu Boletim Técnico nº 112, a fabricação dos tijolos e blocos de solo cimento, passa pelos seguintes passos:

1) Dos componentes básicos do solo-cimento, o que exige maior preparação é o solo, sendo que deve estar com umidade baixa, recomendando-se que a armazenagem do mesmo seja nesta condição. O solo normalmente é, retirado da jazida e transportado para o depósito; é necessário que ele seja preparado, desagregando-se os torrões e eliminando-se o material retido na peneira ABNT de abertura de malha 4,8 mm. Existem solos que apresentam grande quantidade de partículas graúdas causando uma rejeição antieconômica; neste caso, costuma-se aplicar um destorroador, cuja finalidade é reduzir o tamanho dos graúdos. Sugere-se que, quando o solo apresentar mais de 50 % de material retido na peneira ABNT com abertura de malha 4,8 mm, utilizar-se primeiramente o destorroador seguido do peneirador.

2) Para a preparação da mistura, as quantidades de solo e de cimento a serem misturadas poderão ser medidas em volume, para maior facilidade de operação. Normalmente, o proporcionamento do cimento e do solo é feito em recipientes calibrados, para o solo e para o cimento. A mistura é feita num misturador, colocando-se inicialmente o solo até a metade do recipiente, em seguida adicionando o cimento e, depois, o restante do solo. Os componentes secos devem ser trabalhados no misturador até completa homogeneização,

que é alcançada quando a mistura adquire coloração uniforme. A água deve ser adicionada em forma de chuveiro, garantindo boa distribuição sobre a massa até que se atinja a umidade ideal. A verificação da umidade da mistura é feita com razoável precisão, da seguinte forma prática:

- a) toma-se um punhado da mistura e aperta-se energicamente entre os dedos e a palma da mão; ao abrir a mão, o bolo deverá ter a marca deixada pelos dedos; e,
- b) deixando-se cair o bolo de uma altura aproximada de 1 m, sobre uma superfície dura, ele deverá esfarelar-se ao chocar-se com a superfície; se isto não ocorrer, a mistura estará muito úmida.

(3) Para a fabricação do elemento a mistura é transferida do misturador para a prensa; o molde da prensa é que dá a forma ao elemento (tijolo ou bloco). Logo após a prensagem, o elemento produzido é expelido pela prensa sobre pallets e está pronto para ser colocado na área de cura. Os elementos devem ser colocados na sombra, sobre uma superfície plana e empilhados até uma altura máxima de 1,5 m. Após 6 horas de moldagem e durante os 7 primeiros dias, os elementos devem ser mantidos úmidos por meio de sucessivas molhagens com regador ou similar munido de chuveiro, a fim de garantir a cura necessária. Há casos em que não há condições de cura em local coberto; se isto ocorrer deve-se proteger a pilha com lona ou material similar. Quando o solo utilizado for muito arenoso e não houver possibilidade de empilhamento logo após a conformação dos elementos, costuma-se deixá-los no primeiro dia depositados sobre os pallets, fazendo-se o empilhamento no segundo dia.

No que tange ao processo de fabricação, podemos também utilizar o roteiro bastante detalhado descrito por Pisani (2005), que relaciona as etapas do processo.

Segundo ABNT NBR 10834:2012, para execução de alvenaria, os blocos devem ter no mínimo 14 dias de idade.

2.3.10 Solo cimento com resíduos

As pesquisas nas quais se utilizam materiais e técnicas alternativas de construção, no contexto atual de aproveitamento de resíduos e preservação do meio, estão assumindo

papel de destaque na engenharia, inclusive porque determinados tipos de resíduo podem ser utilizados com vantagens técnicas e redução de custos, como é o caso da adição do material granular, oriundo dos resíduos da construção civil, em misturas de solo-cimento. (FERRAZ e SEGANTINI, 2003).

Segundo Grande (2003, p. 131) a adição de outros materiais na tecnologia do solo cimento, como por exemplo, escória de alto forno, sílica ativa, cinzas volantes, composições de cimentos alternativos e agregados reciclados de entulho de resíduo de construção de demolição (RCD) devem ser analisadas com bastante critério técnico. Nesse caso, é fundamental o suporte de profissionais e de um laboratório para que orientações adequadas e precisas cheguem ao canteiro de obras de maneira exeqüível e segura.

A necessidade de reaproveitar os resíduos gerados pelas indústrias, pelas mineradoras, pela construção civil em geral e outras produtores de resíduos, em função das novas legislações e da política do governo, que está preocupado com a sustentabilidade, levou e continua levando pesquisadores a desenvolver pesquisas e estudos nessa área, que comprovam os avanços na tecnologia do solo cimento com utilização da incorporação de resíduos, conforme podemos verificar pelas pesquisas a seguir.

Lima (2013), desenvolveu uma tese de doutorado acerca dos blocos de terra compactada de solo-cimento com resíduo de argamassa de assentamento e revestimento: caracterização para uso em edificações e concluiu em termos gerais, que com a substituição de parte do solo pelo resíduo de cimento e areia, obteve-se um produto que atendeu aos critérios de absorção, resistência e durabilidade, características necessárias ao bom desempenho de edificações, e ficaram comprovadas as condições de uso, a partir da análise técnica e de custos, do BTC-SCR como sendo mais uma alternativa na produção de componentes construtivos de vedação. Assim, o uso dos blocos não teve como objetivo resolver definitivamente a questão habitacional, enraizada em tantos outros aspectos de ordem social, cultural ou econômica, mas de contribuir na busca por maiores e melhores condições de moradias de interesse social.

Lima (2010) estudou a durabilidade de paredes monolíticas e tijolos de solo-cimento incorporados com resíduo de granito, sendo os traços utilizados na pesquisa 1:10 para

paredes monolíticas e 1:9, 1:10 e 1:12 para tijolos de solo-cimento utilizando porcentagens de substituição, em peso, do solo por resíduo de granito em proporções que variaram de 30 %, 40 % e 50 %. As propriedades físico-mecânicas necessárias foram absorção de água e resistência a compressão simples. Para avaliar a durabilidade dos materiais estudados foi empregada a metodologia de envelhecimento acelerado através dos ciclos de molhagem e secagem. Os resultados evidenciaram que o aumento do teor de resíduo incorporado ao solo cimento diminui a resistência à compressão simples, aumenta a perda de massa e a variação de volume. Também ficou evidenciado que o aumento da incorporação de resíduo de granito nos tijolos solo-cimento afetou sua durabilidade.

Rodrigues (2008) estudou a viabilidade técnica da aplicação do resíduo de argamassa de cimento e areia oriundo da construção civil na produção de tijolos modulares de solo-cimento. O resíduo foi substituído em função da massa do solo nas proporções de 0 %, 5 %, 10 %, 15 % e 20% e o cimento foi adicionado na proporção de 10 % em relação à massa da mistura de solo-resíduo. Foi utilizado também um aditivo plastificante que teve efeito positivo na absorção de água nas composições até 10% de resíduo, e promoveu melhores resultados para os ensaios de resistência nas composições com 20% de resíduo, sendo que concluiu que ficou comprovada a viabilidade técnica da utilização do resíduo de argamassa de cimento e areia e do aditivo plastificante na fabricação de tijolos de solo-cimento, ressaltando ainda que o emprego deste resíduo contribui para que o mesmo não seja descartado na natureza, evitando prejuízos ao meio ambiente.

Castro (2008) realizou estudos sobre a incorporação de resíduos de caulim em solo-cimento para construções civis levantando a potencialidade do uso dos resíduos de beneficiamento do caulim para a produção de uma mistura alternativa com solo-cimento para construções civis. Foi avaliado o índice de atividade pozolânica dos resíduos e realizado ensaios tecnológicos para determinação da absorção d'água e resistência à compressão simples em corpos-de-prova. Nos traços da mistura de solo-cimento (1:10, 1:12 e 1:15) foram incorporados 10 %, 20 % e 30 % de uma mistura de 50 % de resíduo grosso e fino de caulim, em substituição à parte do solo. Os resultados obtidos mostraram que os corpos-de-prova com incorporação de resíduos de caulim apresentaram atividade pozolânica dentro dos padrões estabelecidos por norma, elevados valores de resistência a compressão simples e valores de absorção d'água muito inferiores aos limites conforme

normas da ABNT. Os corpos-de-prova incorporados com 20 % da mistura de resíduos obtiveram os melhores resultados chegando a um ganho de 33% de resistência em comparação ao corpo-de-prova de referência. Por fim, concluiu pela viabilidade técnica e recomendou o uso de resíduos de caulim incorporado a uma mistura alternativa de solo-cimento-resíduos de caulim na construção civil.

Visando a oferecer alternativas de destinação de resíduos agrícolas, Ferreira, Gobo e Cunha (2008) estudaram a incorporação de casca de arroz e de braquiária e seus efeitos nas propriedades físicas e mecânicas de tijolos de solo-cimento na composições da mistura de solo-cimento-resíduo agrícola, tendo como objetivo principal determinar os teores máximos de resíduos a serem incorporados sem o comprometimento de suas características mecânicas. Foram utilizados dois tipos de resíduos vegetais (cascas de arroz e de braquiária) e cimento Portland CP II-F-32 para a composição dos tratamentos. Nas combinações, os teores de cimento e resíduo variaram desde 100% de cimento e 0% de resíduo, até 60% de cimento e 40% de resíduo. Os tijolos foram prensados com o auxílio de máquina de fabricação de tijolos e submetidos aos ensaios de compressão simples e absorção de água. Os melhores resultados, em termos de resistência à compressão simples e de absorção de água, foram obtidos pelos tratamentos com substituição de 10% de resíduos vegetais em relação ao teor de cimento. De forma geral, os resultados sugerem a possibilidade do uso desses resíduos no teor de 10%, sem o comprometimento das propriedades mecânicas relacionadas à resistência e à absorção de água dos tijolos de solo cimento.

Souza (2006) fez uma Análise da adição de resíduos de concreto em tijolos prensados de solo-cimento, e em vista dos resultados obtidos, concluiu que:

- A adição dos resíduos de concreto possibilitou condições técnicas favoráveis para se produzir tijolos prensados de solo-cimento com qualidade e redução no consumo de cimento para que sejam atendidas as especificações das normas técnicas brasileiras;
- Os tijolos produzidos com o resíduo de concreto em estudo, tiveram suas propriedades mecânicas melhoradas e todos atenderam aos requisitos mínimos estabelecidos nas normas brasileiras;
- O aproveitamento dos resíduos de concreto na fabricação de tijolos de solo-cimento pode configurar-se numa prática ecologicamente correta, pois dispensa o processo de cozimento,

pode contribuir no sentido de reduzir o volume de material descartado na natureza, bem como reduzir a exploração dos recursos naturais e assim preservar o meio ambiente;

- Os resíduos de concreto são uma excelente alternativa para melhorar as características dos solos, visando a sua aplicação na produção do solo-cimento.

Silva (2005) estudou a possibilidade de se fabricar tijolos de solo cimento reforçado com serragem de madeira com o objetivo de determinar a sua resistência em função das características do solo e da dosagem de resíduos. Utilizou as dosagens de 0%; 0,5%; 1%; 2% e 3% em dois solos distintos, e concluiu que a inclusão de 0,5% de resíduos no solo mais arenoso mostrou ser a melhor dosagem por aumentar a resistência dos tijolos e prismas, diminuir o módulo de elasticidade e também aumentar a ductilidade do compósito. Os resultados experimentais comprovaram a eficiência e o elevado potencial de utilização, tornando o tijolo de solo-cimento-resíduos um promissor concorrente dos tijolos convencionais.

Ferraz e Segantini (2003) desenvolveram um estudo visando a aplicação de resíduo de argamassa de cimento nas propriedades de tijolos de solo-cimento, que objetivou reduzir o custo de produção do solo-cimento e melhorar a qualidade do produto resultante, além de propiciar condições para o reaproveitamento dos resíduos. Utilizou solo mais 40 % de resíduo e solo mais 60 % de resíduo, e em cada caso acrescentou cimento nas proporções de 6 %, 8 % e 10 %. Com base no estudo concluiu que:

- Os resíduos de argamassa de cimento são uma excelente alternativa para melhorar as características dos solos, visando a sua aplicação na produção de tijolos de solo-cimento;
- A adição dos resíduos possibilitou melhores condições para se produzir tijolos de qualidade e pode significar redução no consumo de cimento;
- Os tijolos produzidos com a adição do resíduo tiveram suas propriedades mecânicas melhoradas e todos atenderam aos requisitos mínimos estabelecidos nas normas brasileiras;
- A fabricação de tijolos de solo-cimento é uma prática ecologicamente correta, pois dispensa o processo de cozimento, preservando o meio-ambiente.

- O aproveitamento dos resíduos pode contribuir no sentido de diminuir o enorme volume de material que, após ser rejeitado pelas obras, acaba muitas vezes sendo descartado de forma inadequada, prejudicando a natureza.

Grande (2003) trabalhou com a fabricação de tijolos modulares de solo-cimento por prensagem manual com e sem adição de sílica ativa, por meio de uma metodologia experimental e foram analisados vários aspectos de tijolos modulares compostos por misturas binárias e ternárias de solo-cimento e solo-cimento-sílica produzidos em prensa manual modelo SAHARA, com a finalidade de se obter parâmetros e diretrizes que visam um melhor desempenho do material. Realizaram-se ensaios em corpos-de-prova cilíndricos de maneira acessória no decorrer do trabalho, o que resultou no suporte para fundamentação de diversas avaliações sobre as composições de traços utilizados na fabricação dos tijolos. Foram executados painéis de parede com o objetivo de verificar o comportamento da alvenaria em relação à resistência à compressão e à deformabilidade das paredes, possibilitando correlações com os resultados dos ensaios de prismas, tijolos e argamassa de assentamento. As contribuições da pesquisa permitem relacionar a tecnologia da fabricação de tijolos de solo-cimento com o contexto de construção sustentável e o aproveitamento de resíduos industriais, além de sistematizar informações para a elaboração de um projeto tecnológico com os tijolos modulares.

2.4 RESÍDUOS PROVENIENTES DA FABRICAÇÃO DE TELHAS CERÂMICAS VERMELHAS

2.4.1 Definições e classificação

Segundo Dias (2004, p. 37), os resíduos gerados no processo de fabricação das telhas são telhas inteiras que não apresentam, após a queima nos fornos, as características exigidas para a comercialização; e também, pedaços de telhas (cacos) originados da quebra das telhas devido à movimentação a que são submetidas.

O agregado reciclado em estudo (ART) é originário de telhas de cerâmica vermelha que são fabricadas com argilas comuns, constituídas de minerais plásticos e não plásticos, são

moldadas por prensagem e queimadas em fornos a temperaturas da ordem de 900 °C. Os minerais sofrem, na queima, importantes transformações de caráter físico e químico com efeitos na microestrutura, nas fases formadas e na porosidade. (DIAS, 2004, p. 94).

A ABNT NBR 15116:2004 e a resolução CONAMA (2002) definem como resíduos da construção civil, os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica, etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha.

Dentre os resíduos da construção civil classificados pelo CONAMA (2002), os que podem ser reutilizáveis ou recicláveis como agregados são os da Classe A, tais como: (a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem; (b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto; (c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meio-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras.

Segundo a ABNT NBR 15116:2004 agregado reciclado pode ser definido como: material granular proveniente do beneficiamento de resíduos de construção ou demolição de obras civis, que apresentam características técnicas para a aplicação em obras de edificação e infraestrutura.

2.4.2 Geração de resíduos

Conforme resolução do CONAMA (2002), geradores de resíduos são pessoas, físicas ou jurídicas, públicas ou privadas, responsáveis por atividades ou empreendimentos que gerem os resíduos definidos nesta resolução.

A indústria da construção civil, englobando também a fabricação dos produtos e a retirada de materiais de jazidas a ela destinados, bem como praticamente todas as atividades desenvolvidas na construção civil, geram nas cidades brasileiras pelas perdas que essa atividade proporciona uma enorme quantidade de resíduos e entulhos, o que demonstra um grande desperdício de materiais, bem como elevação de custos com retrabalhos, transporte e retirada desses resíduos, muitas vezes para locais distantes, aterramento dos mesmos, sem muitas vezes ter local destinado a depósito. E conforme relata Rodrigues (2008) os custos finais deste desperdício são distribuídos por toda a comunidade, não só pelo aumento do custo final das construções, como também pelos custos de remoção e tratamento do entulho. Na maioria das vezes, este é retirado da obra, colocado clandestinamente em terrenos baldios, margens de rios e ruas de periferias, levando ao conseqüente assoreamento do leito dos córregos e entupimento de galerias pluviais. A sociedade sofre com a disposição irregular do entulho, na medida em que esta contribui com a degradação da qualidade de vida urbana gerando enchentes, poluição visual, proliferando vetores de doenças, etc., conforme mostram as Figuras 2.9, 2.10 e 2.11.

Os custos de disposição de resíduos em aterro incluem também embalagem, tratamento, transporte, licenciamento ambiental, etc. Além dos custos diretos, existem os custos indiretos, como o desgaste da imagem da empresa devido à sua gestão ambiental ineficiente, que pode levar a confrontos com organizações sociais e perda de consumidores. Esse é outro fator que pode determinar o interesse por uma tecnologia de reciclagem. (DESIMONE; POPOFF, 1998, apud JOHN; ÂNGULO, 2003).

Estudos feitos por Dias (2004), concluíram que na região do parque cerâmico existente no Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, que congrega mais de cem indústrias de cerâmica vermelha, segundo o Sindicato das Indústrias de Cerâmica e Olaria do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba – SINCOTAP/Ituiutaba e a Associação dos Ceramistas de Monte Carmelo – ACEMC/Monte Carmelo, era gerada uma quantidade de resíduos considerada significativa, o que justificaria a realização de estudos para propiciar a sua reciclagem, beneficiamento e aproveitamento como agregados reciclados.

A Tabela 2.6 mostra a quantidade de resíduos gerados nas cidades de Ituiutaba e Monte Carmelo, que fazem parte do parque cerâmico estudado por Dias (2004).

Tabela 2.6 - Quantidade de resíduos gerados (cacos) por mês

Região	Quebra declarada em % ¹ (média informada)	Quantidade de cacos (peças)	Massa de Cacos ² (toneladas)	Volume de Cacos ³ (m ³)
Ituiutaba	3,08	239.439	407	545
M. Carmelo	3,00	1,350 milhões	2.295	3.072

¹ Porcentagem de peças descartadas em relação à quantidade produzida. Fonte: SINCOTAP e ACEMC.

² Para apurar a massa dos cacos foi utilizada a massa seca média de uma telha tipo Plan após a queima = 1,58 kg, e corrigida para 1,7 kg devido a umidade (adotada umidade natural média anual de 7,6 %) dados de Ioshimoto (1995). Com esta massa calculou-se a quantidade de cacos.

³ Volume dos cacos calculado utilizando a densidade aparente de pilhas de telhas e cacos de telhas depositados no pátio da indústria, portanto com umidade, calculada a partir de informações fornecidas pela Indústria Alto Paranaíba – Monte Carmelo: volume da caçamba da máquina carregadeira = 1,53 m³; tara da carregadeira = 10.020 kg; 1ª Pesagem = 11.000 kg; 2ª Pesagem = 11.150 kg; 3ª Pesagem = 11.340 kg; massa unitária média = 747 kg/m³
Fonte: Dias (2004).

Figura 2.9 - Descarte de resíduos cerâmicos



Fonte: SILVA (2012).

2.4.3 Composição dos resíduos

Os resíduos de construção têm uma composição que depende muito da fonte que o originou e do momento em que foi colhida a amostra. Como o setor de construção desenvolve várias atividades dentro do canteiro de obras, o resíduo gerado também pode ser composto por uma enorme gama de materiais. Além disso, uma edificação é composta

por uma grande variedade de diferentes componentes, e quando ocorre a sua demolição esta característica fica evidenciada na composição do resíduo resultante. (LEVY, 1997 apud SOUZA, 2006).

Os resíduos cerâmicos são classificados como resíduos sólidos, classe II B - inertes, segundo a ABNT NBR 10004:2004, por não apresentarem risco de contaminação para a saúde pública e para o meio ambiente e, portanto próprios para a utilização como agregados reciclados.

Os resíduos são compostos basicamente por rejeitos da indústria ceramista, ou seja: telhas quebradas e ou defeituosas, telhas inteiras que não apresentam, após a queima nos fornos, as características exigidas para a comercialização; cacos de telhas, sendo que depois de britados produzem agregados bastante homogêneos.

Após a britagem e peneiramento na peneira com abertura de malha 2,00 mm o ART estudado apresentou a seguinte composição granulométrica: 4,74 % de argila; 28,42 % de silte; 18,42 % de areia fina; 19,02 % de areia média; 29,40 % de areia grossa, tratando-se de um material de classificação HRB, A-5 – Solos Siltosos.

2.4.4 Resíduos de telhas e o impacto ambiental

Segundo John (1999, apud SOUZA, 2006, p.39), a contribuição ambiental da reciclagem mais visível é a preservação dos recursos naturais, substituídos por resíduos, prolongando a vida útil das reservas naturais e reduzindo a destruição da paisagem, flora e fauna.

Segundo Rodrigues (2008), no Brasil o processo de reciclagem começa a crescer com o surgimento de uma legislação ambiental mais rigorosa considerando que a questão ambiental ainda era aqui tratada como sendo em problema de preservação da natureza, preocupando-se principalmente com florestas e animais em extinção, deposição de lixo em aterros controlados e controle da poluição do ar.

A adoção de uma política de incentivo para o reaproveitamento dos bens minerais descartados pelas obras civis pode reduzir a quantidade de minerais extraídos das jazidas e,

consequentemente, diminuir o impacto ambiental por meio da reutilização e da reciclagem dos rejeitos minerais. (OLIVEIRA, 2002, apud SOUZA, 2006).

Rocha e John (2003) consideram a seleção de usos potenciais para resíduos como sendo a etapa decisiva no processo de desenvolvimento de mercado para os resíduos. A aplicação do resíduo não deve partir de idéias pré-concebidas, mas em função das características físico-químicas que o resíduo apresenta, como um todo ou nas suas diferentes fases, para gerar um novo produto de melhor desempenho e menor impacto ambiental que as soluções tradicionais, com condições de competir em um nicho específico de mercado.

Ainda segundo John e Ângulo (2003), do ponto de vista ambiental, as alternativas de reciclagem devem permitir um menor impacto ambiental global, ou seja, o impacto da reciclagem deve ser inferior ao somatório dos impactos ambientais da gestão atual do resíduo com o do produto tradicional. Toda essa análise dos impactos ambientais deve ser feita em termos de berço ao túmulo. Nesta etapa ainda não existem dados suficientes para uma análise do ciclo de vida quantitativa, nos termos clássicos. No entanto, na maioria das vezes é possível para especialistas nos diferentes processos organizar a lista de aplicações viáveis em uma ordem de impacto ambiental crescente.

Para a diminuição do impacto ambiental gerado pelos resíduos, segundo Lima (2013, p.5), uma das alternativas seria a absorção dos resíduos na mesma área em que foram gerados, na construção de novas moradias, uma vez que a legislação própria relacionada aos resíduos gerados pelas construções estabelece a responsabilidade pela geração ao que antes era conhecido apenas por entulho ou “bota-fora” de obra. Sendo assim, percebe-se atualmente uma consciência da necessidade de desenvolvimento de materiais e processos construtivos que não causem mais danos ao homem e ao meio ambiente.

Como podemos observar a Figura 2.10 o depósito irregular e clandestino dos cacos de telhas provoca a destruição da paisagem e da fauna, muitas vezes destruindo nascentes e provocando o entupimento das redes de água pluvial.

Figura 2.10 - Local de deposição clandestina de cacos de telhas na periferia da cidade de Monte Carmelo/MG (mar./2000)



Fonte: Dias (2004).

Figura 2.11 - Deposição clandestina de cacos de telhas na periferia da cidade de Monte Carmelo em 2011.



Fonte: Silva (2012).

2.4.5 Potencial para reciclagem e beneficiamento dos resíduos de telhas cerâmicas

Atualmente a reciclagem de resíduos é uma necessidade para a preservação da natureza, não apenas pelo risco de contaminação do solo e do lençol freático, mas também pela possibilidade de redução do custo e do consumo de energia na produção de materiais de construção civil, além de minimizar a extração de recursos naturais. (LIMA, 2013, p. 36)

Reciclagem é o processo de reaproveitamento de um resíduo, após ter sido submetido à transformação e beneficiamento é o ato de submeter um resíduo às operações e/ou processos que tenham por objetivo dotá-los de condições que permitam que sejam utilizados como matéria prima ou produto. (CONAMA, 2002 e ABNT NBR 15116:2004).

Reutilização é o processo de reaplicação de um resíduo, sem transformação deste.

Segundo a resolução do CONAMA (2002), agregado reciclado é o material granular proveniente do beneficiamento de resíduos de construção que apresentem características técnicas para a aplicação em obras de edificação, de infra-estrutura, em aterros sanitários ou outras obras de engenharia.

No caso do ART, ficou comprovado o seu potencial de reciclagem e beneficiamento, através dos estudos feitos por Dias (2004) que comprovaram ser possível sua utilização como agregado em camadas de pavimento de baixo custo, pois conforme concluiu, viabilizou-se uma metodologia aplicável ao ART, possibilitando seu emprego em camadas de pavimentos de baixo volume de tráfego, no entanto, experiências de campo são imprescindíveis para a avaliação das misturas em condições reais de solicitação, em virtude de que os estudos de laboratório nem sempre conseguem reproduzi-las e também por que é necessário conhecer seu desempenho ao longo do tempo.

Silva (2012) também utilizou o ART e fez uma avaliação de concreto auto-adensável com agregado reciclado de telha cerâmica e concluiu baseando-se na indicação dos resultados obtidos, depois de superadas as dificuldades para a obtenção do concreto auto-adensável com o agregado reciclado de telha, que os objetivos foram atendidos, o concreto assim desenvolvido tem potencial para emprego em situações específicas na construção civil e pode contribuir para a sustentabilidade da atividade fabril.

Fonseca (2006) fez um estudo comparativo de concretos com agregado graúdo reciclado de telha cerâmica e agregado graúdo natural e concluiu que a substituição do agregado graúdo natural pelo reciclado não inviabiliza a produção do concreto, mas exige o conhecimento da absorção saturada superfície seca e do comportamento à sucção de água com o tempo,

para se estimar a água de mistura que atenda a maior absorção do agregado reciclado. O estudo indica também que o resíduo, até então considerado como um problema ambiental pode ser utilizado em concretos, na faixa de resistência estudada, sem perda significativa de resistência à compressão, quando se substituiu 50% do agregado graúdo natural. A durabilidade desses concretos deve ser investigada.

Uma das grandes vantagens do ART é a sua baixa massa específica aparente, comparada com a de outros materiais naturais ou com outros resíduos do tipo de concreto ou argamassas, e que com sua mistura com o solo deverá contribuir para a diminuição da massa final do bloco vazado, e consequentemente redução da massa total da alvenaria de vedação e carga de fundações.

2.4.6 Absorção de água de telhas de cerâmica vermelha e do ART

Segundo Dias (2004, p. 94), os materiais de cerâmica vermelha como os blocos e as telhas, têm suas propriedades dependentes da matéria prima e do processo de fabricação e normalmente apresenta porosidade interna aberta e afinidade com água, o que lhes confere absorção elevada quando comparados com as rochas naturais que dão origem aos agregados britados, por exemplo.

Estudos feitos por Dias, Agopyan e Toffoli (2004) apud Dias (2004, p.143) obtiveram a determinação da absorção em telhas inteiras e apresentou os seguintes resultados: o menor valor foi de 13,4 %; o maior valor foi de 22,3 %; o valor médio foi de 17 %. Além disso foi observado que com 15 minutos as telhas ensaiadas absorvem de 81 % a 89 % da sua absorção máxima correspondente.

Em consequência dessa elevada absorção, os agregados reciclados de telha apresentam também a mesma característica, o que nos levou a determinação de um consumo de água necessário ao amassamento da mistura solo cimento agregado objeto deste estudo, umidade ótima de 21,63 % bem maior do que o da mistura de solo cimento, cuja umidade ótima foi de 8,75 %.

A ABNT NBR 15116:2004, em seu item 7.2.3 recomenda que para o preparo de concreto sem função estrutural com agregado reciclado que atenda aos requisitos para agregado reciclado destinado ao preparo de concreto sem função estrutural (Tabela 3 desta norma) é necessária a pré-molhagem dos agregados miúdo e graúdo. A prática tem mostrado que valores em torno de 80 % do teor de absorção de água do agregado reciclado em uso são adequados. Valor este que é compatível com o valor observado por Dias, Agopyan e Toffoli (2004) para os primeiros 15 minutos.

2.5 ADITIVOS E ESTABILIZANTES

Os aditivos são substâncias que adicionadas ao solo possuem a finalidade de melhorar determinadas características, propiciando um aumento de compacidade, redução de higroscopicidade, aumento de durabilidade assim como acréscimo de resistência. (TECPAR, 2006 apud KORMANN et al., 2011, p. 84).

Oliveira (2013, p. 15) relata que de modo geral, os aditivos que interagem com as partículas do solo visando à melhoria e estabilidade nas propriedades mecânicas e hidráulicas são os que seguem: cimento, cal, asfaltos e betumes, produtos químicos industrializados (cloretos, ácidos fosfóricos e outros.) e produtos comerciais (Pavifort, Ecolopavi, Dynabase, etc., dentre outros), sendo que os principais aditivos em uso no campo da estabilização de solos no Brasil ainda são o cimento e a cal, que possuem uma interação química diferenciada a depender da pedologia do solo.

A principal aplicação dos aditivos desde o início de seu emprego diz respeito à pavimentação, quando foram utilizados na construção de estradas vicinais, visando o aumento da resistência e a redução do desgaste e da formação de pó das camadas de subleito e revestimento primário. (TRINDADE, 2005, apud KORMANN et al, 2011, p. 84). Essa aplicação não é recente, sendo que muitos aditivos foram patenteados com tal finalidade. Hoje em dia sua aplicação também tem sido direcionada ao reforço de solos frágeis. (BRAZETTI, 1998 apud KORMANN et al, 2011, p. 84).

Rauch et al. (2003 apud KORMANN et al, 2011, p. 84) citam que os aditivos na atualidade foram introduzidos no mercado por um número de empresas cujo objetivo central é a

estabilização de solos da base e do subgrade do pavimento. Já no que diz respeito à utilização em solos que não oferecem capacidade de suporte suficiente para aplicações da engenharia, alguns ensaios podem ser realizados para a verificação da adequação ou não da utilização do produto.

Segundo (DENVER, 2008, apud RIGHI, 2009) os aditivos hidrófugos são aditivos impermeabilizantes de pega normal, reagindo com o cimento durante o processo de hidratação. São compostos de sais metálicos e silicatos.

Os aditivos hidrófugos proporcionam a redução da permeabilidade e absorção capilar, através do preenchimento de vazios nos capilares na pasta de cimento hidratado, tornando os concretos e argamassas impermeáveis à penetração de água e umidade. (SIKA, 2008, apud RIGHI, 2009).

A melhoria dos parâmetros geotécnicos de interesse no solo pode ser realizada por meio de interações físico-químicas e por meio mecânico. As interações físico-químicas consistem da adição de aditivos que interagem com as partículas do solo visando, em geral, à melhoria nas propriedades mecânicas e hidráulicas, enquanto a estabilização mecânica resume-se nas técnicas de compactação dos solos e estabilização granulométrica. (OLIVEIRA, 2013, p. 14).

Segundo Lima (2013, p. 30), as características físico-mecânicas (resistência à compressão, absorção de água e durabilidade) do sistema solo-cimento compactado dependem do tipo de solo (granulometria, fração argila, grau de plasticidade), do tipo e teor do agente estabilizante, além das condições de cura (umidade e temperatura) e de compactação, ou seja, deve-se trabalhar com umidades de moldagem em torno do teor ótimo, pois quanto mais denso o sistema, maior sua resistência. Quanto maior o efeito de estabilização do solo, menor deve ser a perda de massa, indicando que o componente construtivo possui durabilidade e resistência.

Santiago (2001, p. 58) define estabilização como o processo de introdução de modificações nas propriedades de um solo de modo a conseguir-se melhorar as características do mesmo.

Isto é feito através de alteração da estrutura e/ou da textura da terra, e visando adequar o solo a uma aplicação particular.

Em geral, as propriedades mecânicas e de permeabilidade da terra podem ser melhoradas significativamente pela adição de alguns produtos ditos estabilizantes. Desse modo, a mistura de fragmentos de palha, ou outras fibras vegetais, reduz acentuadamente o efeito da retração na secagem do barro; a adição de óleos vegetais e emulsões asfálticas, tanto no barro como na terra comprimida, tem o efeito de diminuir significativamente a permeabilidade, melhorando as condições de durabilidade. A mistura de aglomerantes cimento, cal ou outros produtos cimentantes, pode produzir aumentos consideráveis da resistência mecânica, principalmente na terra comprimida. (NEVES et al., 2005 p. 11).

A expressão estabilização de solos refere-se, em seu sentido mais amplo, a todo processo através do qual o solo melhora suas características, adquirindo assim as propriedades necessárias ao fim a que se destina. A estabilização de solos para adequá-los ao uso que se pretende não é um procedimento recente. Como se conhece, a adição de asfalto natural ou palha na produção de adobes, para diminuir a permeabilidade ou reduzir a retração, é uma prática milenar. O adensamento, por compactação ou prensagem, a mistura com outros solos para melhorar suas características granulométricas (denominada estabilização granulométrica) e a adição de aglomerantes são tipos de estabilização de uso muito freqüentes no campo da Engenharia. (NEVES et al., 2005 p. 11).

Além da correção granulométrica já citada. Bardou e Arzoumanian (1979, apud NEVES et. al., 2005, p. 11 e 12) classificam a estabilização do solo em quatro categorias, com as seguintes denominações e características:

a) Estabilização por cimentação: consiste em se adicionar ao solo uma substância capaz de solidarizar os grãos de areia e as partículas argilosas de forma a se obter um esqueleto interno que faça oposição à capacidade de absorção de água pela argila. Os estabilizadores mais conhecidos são: o cimento Portland; a cal, virgem ou hidratada; a mistura de cal e cimento; ou ainda uma mistura de cal com cinzas (de coque, de hulha, etc.).

b) Estabilização por armação: consiste em agregar ao solo um material de coesão (grãos ou fibras), que permita assegurar, por atrito com as partículas de argila, uma maior firmeza ao material. Segundo Bardou e Arzoumanian (1979, apud NEVES et. al., 2005), a

resistência mecânica final do material é reduzida, mas se ganha em estabilidade e durabilidade. Não há determinação específica para os materiais a serem empregados, pois depende da disponibilidade e das adaptações locais. Podem ser citadas, principalmente, as fibras vegetais.

c) Estabilização por impermeabilização: consiste em se envolver as partículas de argila por uma camada impermeável, tornando-as estáveis e mais resistentes à ação da água.

O material mais conhecido (desde os tempos bíblicos) para este fim é o asfalto (ou betume), utilizado em emulsão que, apesar da grande superfície específica da argila, requer uma quantidade muito pequena para se obter bons resultados. Um dos inconvenientes do uso deste material é a perda de plasticidade, apesar de se ganhar em coesão, o que requer a utilização de maior quantidade de água para o amassamento e limita as técnicas construtivas a serem utilizadas. Podem ser utilizadas outras substâncias, tais como o óleo de coco, seivas de algumas plantas oleaginosas, o látex e os resíduos da prensagem do azeite de oliva.

d) Estabilização por tratamento químico: consiste em agregar ao solo diversas substâncias capazes de formar compostos estáveis com os elementos da argila. Os produtos químicos variam de acordo com a composição química da própria argila. Portanto, nesse caso, é necessária uma análise química da mesma. A cal, além de agente cimentante, funciona como estabilizador químico, agindo com os minerais amorfos ou argilosos do solo, formando os compostos pozolânicos. Outras substâncias de baixo custo também podem ser usadas, por exemplo, a soda cáustica e a urina de gado.

2.5.1 Sika 1

Segundo o fabricante (SIKA, 2015) o produto Sika 1 é um impermeabilizante de pega normal para argamassa e concreto, que reage com o cimento durante o processo de hidratação, dando origem a substâncias minerais que bloqueiam a rede capilar, proporcionando elevada impermeabilidade à argamassa e concreto, natureza Química: Solução de silicato, tensoativos e corante.

2.5.2 Estabilizante químico de solos - Ecolopavi

Definido como um sal químico de origem orgânica, líquido totalmente solúvel em água, que atua como um catalisador, promovendo e facilitando a troca iônica, permitindo maior coesão entre as partículas finas dos solos, impermeabilizando-as. Sua forte ação aglutinante é devido ao fenômeno da troca de base, eliminando o campo eletro magnético que se forma no entorno das partículas, que ioniza as moléculas da água, fazendo-as aderirem fortemente à superfície, formando a camada de água adsorvida, que aumenta a distância entre as superfícies, diminuindo a força atrativa. (ECOLOPAVI, 2015).

Segundo Ecolopavi (2015), na proporção de 1: 1.000 (1 litro de ECOLOPAVI para cada tonelada de solo) + 6% de cimento ou cal, gera uma massa para prensar tijolos de excelente qualidade a baixíssimo custo.

Na Figura 2.12 apresenta-se uma amostra de Ecolopavi, com 500 ml, fornecida pelo fabricante.

Figura 2.12 - Amostra de Ecolopavi



Fonte: Autor.

2.6 ALOE VERA/BABOSA

Segundo Conheceraloe (2011, apud REBOUÇAS et al, 2011), a babosa é uma planta da família das liláceas que possui inúmeras propriedades e, entre as muitas espécies, a “Barbadensis” é considerada a verdadeira. Por isso seu nome *Aloe vera*. Vale ressaltar também, as suas propriedades curativas, regeneradoras, umectantes e nutritivas. É chamada a planta da beleza e da saúde, e o seu descobrimento ocorreu há milênios.

De acordo com Pedro (2015), os umectantes são substâncias higroscópicas que têm a propriedade de reter água e têm como uma das funções diminuir a perda de água dos produtos acabados e impedir a ruptura e formação de crostas superficiais na emulsão.

Para Bach e Lopes (2007), babosa é o nome popular dado a uma planta africana pertencente à família das Liliáceas e do gênero *Aloe*, à qual pertencem mais de 300 espécies, muitas delas utilizadas em vários países, inclusive no Brasil, para fins medicinais e na cosmética. Dentre as espécies existentes, as mais conhecidas são: *Aloe socotrina*, *Aloe arborescens*, *Aloe chinensis*, *Aloe ferox* e *Aloe vera*, sendo essa última, a mais estudada pelas indústrias alimentícia, farmacêutica, cosmética e fitoterápica. Ela também é conhecida como *Aloe barbadensis*, por crescer, espontânea e abundantemente, na ilha de Barbados. O interior de suas folhas é constituído de um tecido parenquimático rico em polissacarídeos (mucilagem), que lhe confere uma consistência viscosa (baba), de onde surgiu o nome de babosa. Nessa mucilagem ou gel encontram-se seus princípios ativos, que são constituídos de tecidos orgânicos, enzimas, vitaminas, sais minerais e aminoácidos, dentre os quais 18 são importantíssimos para o homem, e desses, sete pertencem aos oito não sintetizados pelo nosso organismo. Além desses componentes, a babosa possui um polissacarídeo chamado acemannan, que, comprovadamente, é um extraordinário imunoestimulante, já comprovado nos Estados Unidos pela FDA (Food and Drug Administration). Na sua casca, encontra-se a seiva que é rica em aloína, alantoína e antraquinonas, que são excelentes cicatrizantes, porém, seu uso interno tem efeito catártico e para algumas pessoas pode afetar os rins, motivo pelo qual a casca da babosa ou sua seiva não devem ser usadas internamente. (CREA, 1995 apud BACH e LOPES, 2007).

Estudos feitos por Rebouças et al (2011) com tijolo composto de 50 % de terra argilosa, 25 % de papel Kraft (presente nos sacos de cimento), 10% de cimento e 15% de seiva de babosa/Aloe vera, e utilizando assim os resultados dos testes feitos por Buson (2009), mostraram que a adição da seiva de babosa ao tijolo ecológico Krafterra comum, fez cair em 6 % a absorção de água em relação ao bloco de tijolo comum - BTC, que nos testes com água apresentava antes da adição da babosa, cerca de 7,6 % mais absorção que o BTC.

Jiménez (2008) pesquisou a utilização de sucos de vegetais para a fabricação de BTC – bloco de terra comprimida, estudando a adição de Aloe vera na composição do bloco de solo cimento (agila Medrano e 6 % de cimento) e verificou que se obteve um melhor comportamento à compressão úmida e seca para as concentrações de 1 % a 4 %, sendo que também se diminuiu a porosidade e a porcentagem de absorção de água.

Na Figura 2.13, apresenta-se a planta Aloe vera, popularmente denominada babosa, de cujos talos foi retirado o suco para composição do extrato.

Figura 2.13 - Planta Aloe vera/babosa



Fonte: Autor.

As Figuras 2.14a e 2.14b mostram os talos que foram retirados da planta e a seiva pura, depois de extraída dos talos. Note-se que a seiva é bastante densa, e que realmente precisa de diluição para homogeneização e utilização na água de amassamento.

Figura 2.14a – Talos de Aloe vera para retirada da seiva



Fonte: Autor.

Figura 2.14b – Seiva pura de Aloe vera retirada dos talos



Fonte: Autor.

CAPÍTULO 3

MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 MATERIAIS

3.1.1 Solo

No desenvolvimento do presente estudo utilizou-se o solo existente na ONG Ação Moradia e que atualmente é o solo base para a confecção dos blocos vazados, que são comumente denominados de tijolos ecológicos. Este solo é extraído em uma fazenda na região de Uberlândia, nas proximidades da BR050, em jazida situada próximo a Uberaba. Segundo informações da ONG, são adquiridos em média 400 m³ de solo a cada 6 a 8 meses, para um consumo mensal médio em torno de 60 m³, dependendo das vendas e produção da fábrica.

Na ONG a fabricação é processada com este solo, que é destorroado e é utilizada a fração que passa na peneira industrial ali existente com malha nominal de 2,0 mm. A umidade do solo é controlada visualmente e a da mistura, pelo teste prático do bolo na mão ou hand test, que consiste em comprimir a amostra de solo-cimento em uma das mãos, e verificando-se como os dedos marcaram a massa. Se as marcas dos dedos ficarem bem definidas, a umidade é adequada; se esfarelar é insuficiente e se a mistura apresentar compacta e molhada a umidade é excessiva.

O solo natural é armazenado a céu aberto, sendo parte dele em área coberta onde é peneirado, conforme Figura 3.1. Não é feita a homogeneização do solo para a fabricação.

Figura 3.1 – Depósito de solo e área de peneiramento coberto com tenda



Fonte: Autor.

Tabela 3.1 - Características do solo para fabricação de tijolo e bloco vazado de solo cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica segundo o item 4.1.1 da ABNT NBR 10833:2012

Característica do solo	Condições (%)
% de solo que passa na peneira com abertura de malha 4,75 mm	100
% de solo que passa na peneira com abertura de malha 75 µm	10 à 50
Limite de liquidez	≤ 45
Índice de Plasticidade	≤ 18
Matéria orgânica	Quantidade que não prejudique a hidratação do cimento

Fonte: Autor.

3.1.2 Cimento

Segundo a ABNT NBR 5736:1991 Cimento Portland pozolânico é um aglomerante hidráulico obtido pela mistura homogênea de clínquer Portland e materiais pozolânicos, moídos em conjunto ou em separado. Durante a moagem é permitido adicionar uma ou mais formas de sulfato de cálcio e materiais carbonáticos no teor especificado conforme Tabela 3.2.

Tabela 3.2 - Teores dos componentes do cimento Portland pozolânico

Sigla	Classe de resistência	Componentes (% em massa)		
		Clínquer sulfato de cálcio	Material pozolânico	Material carbonático
CP IV	25 32	85-45	15-50	0-5

Fonte: ABNT NBR 5736:1991.

O cimento utilizado em todos os procedimentos na fábrica e no laboratório foi o mesmo que a ONG utiliza na fabricação dos blocos vazados, ou seja: tipo CP IV 40 RS, SUPER, secagem rápida, marca Liz, resistente a sulfatos, resistência característica de 40 MPa, tipo pozolânico, cujas características técnicas informadas pela fábrica constam da Tabela 3.3.

Tabela 3.3 - Características técnicas do cimento CP IV-40 RS Liz

Características Técnicas								
Resistência à compressão (MPa)					Finura		Tempo de pega (minutos)	
Idades	R 01 dia	R 03 dias	R 07 dias	R 28 dias	# 325 (%)	Blaine (m ² /kg)	Início de pega	Fim de pega
Requisitos de norma	Não há	15	25	40	Não há	≥280	≥60	≥600
CP IV -40 RS Super	10	20	29	42	<4,0	440	170	230

Fonte: Liz Cimentos (2015).

Foram feitos os ensaios para determinação da massa específica dos grãos conforme ABNT NBR NM 23:2001 e massa unitária, cujos valores encontrados respectivamente foram: 2,977 g/cm³ e 0,963 g/cm³ conforme Tabela 3.4.

Tabela 3.4 - Cálculo da massa específica dos grãos do cimento LIZ CP IV 40 RS

Determinação	Massa (g)	Leitura Inicial (cm³)	Leitura Final (cm³)	Volume (cm³)	Massa Específica (g/cm³)
1ª	60,0	0,5	20,7	20,2	2,970
2ª		1,0	21,1	20,1	2,985
Média					2,977

Fonte: Autor.

Tabela 3.5 - Massa unitária do cimento

Massa unitária medida em recipiente cilíndrico					
Cimento super CP IV 40 RS LIZ					
Volume do cilindro (dm ³) =					3,004
Determinação	(ms+t)	(t)	ms	massa unitária	% em relação
	Kg	kg		kg/dm ³	à média
1	5,9064	3,03900	2,8674	0,955	-0,876
2	5,9440	3,03900	2,9050	0,967	0,424
3	5,9448	3,03900	2,9058	0,967	0,452
		Massa unitária média		0,963	0,000
	Umidade (%)		0,000		

Fonte: Autor.

3.1.3 Água

A água utilizada no laboratório da FECIV – Faculdade de Engenharia Civil foi a mesma utilizada dentro das instalações do Campus da UFU, fornecida pelo DMAE - Departamento Municipal de Água e Esgoto local, do tipo potável, utilizada comumente nas instalações de laboratórios, sem elementos ou substâncias capazes de influenciar no andamento normal das reações de hidratação do cimento.

A água utilizada na fábrica da ONG Ação Moradia, para confecção dos blocos vazados é fornecida pelo Departamento Municipal de Água e Esgoto do tipo potável, também sem elementos ou substâncias capazes de influenciar no andamento normal das reações de hidratação do cimento.

Segundo ABCP (1985), a água deverá ser isenta de impurezas nocivas à hidratação do cimento; supõem-se usáveis as águas potáveis.

3.1.4 Agregado reciclado de telha - ART

Os agregados reciclados de telhas foram produzidos por Dias (2004), através dos resíduos definidos no item 2.4.1, resultantes da fabricação de telhas cerâmicas vermelhas das indústrias da cidade de Monte Carmelo, que foram coletados nas indústrias e britados em Uberlândia pelas empresas CMC e Araguaia Engenharia, para obtenção dos agregados,

sendo que parte remanescente deste material não utilizado em sua pesquisa se encontra disponível no laboratório da FECIV, conforme mostrado na Figura 3.2. Estes agregados foram peneirados para enquadramento na faixa de interesse, ou seja a percentagem que passa na peneira com abertura de malha 2,00 mm para utilização na pesquisa.

Figura 3.2 - Baía contendo o ART



Fonte: Autor.

3.1.5 Recipiente metálico paralelepédico para medida dos materiais

Foram desenvolvidos recipientes metálicos paralelepédicos em chapas metálicas 18, sendo as dimensões de cada recipiente para medir-se o solo, 21,00 cm de largura, 21,00 cm de comprimento e 25,00 cm de altura com capacidade de 11,025 litros e para a medida do cimento 24,00 cm de largura, 24,00 cm de comprimento e 28,71 cm de altura, com capacidade de 16,537 litros. Foi utilizada uma régua metálica para retirar o excesso de material, sendo que para obter-se o volume de uma mistura e meia, ou seja capacidade máxima utilizável da betoneira seriam 12 medidas de solo (recipientes numerados de 1 a 12) para uma mediada de cimento (recipiente C), mistura nominal em volume 1:8.

Esta necessidade se deve ao fato da fábrica utilizar recipientes tipo baldes metálicos e ou plásticos deformáveis e de capacidade duvidosa, bem como não se passava a régua para nivelar a parte superior do balde e retirar o excesso do material.

Os recipientes foram denominados de Rmps – Recipiente metálico paralelepédico para medida do solo, numerados de 1 a 12 e Rmpc – Recipiente metálico paralelepédico para medida do cimento, marcado com C, conforme se apresenta na Figura 3.3.

Figura 3.3 - Recipientes metálicos paralelepédicos para medida dos materiais



Fonte: Autor.

3.1.6 Aditivos e estabilizantes

3.1.6.1 Sika 1

Utilizou-se o aditivo impermeabilizante Sika 1 conforme recomendações do fabricante Grupo Sika, que é um aditivo utilizado para argamassas do tipo hidrófugo, e que para este estudo foi escolhido, tendo em vista que a mistura solo cimento agregado possui uma quantidade grande de areia, componentes do solo e do ART estudados, que misturadas com o cimento, possui características de uma argamassa. Além das percentagens indicadas pelo fabricante utilizou-se a percentagem de 8 %, para verificar o comportamento do aditivo em proporção maior do que a recomendada.

Conforme informações da fabricante possui as seguintes características:

- O revestimento com Sika 1 tem grande durabilidade, uma vez que é totalmente mineral. Sua ação não diminui com o tempo, isto é, seu efeito é permanente.
- Proporciona elevada impermeabilidade à argamassa e concreto.
- Por ser líquido, é de fácil mistura e dosagem.
- Não altera os tempos de pega (início e fim).
- Reduz a permeabilidade.
- Confere maior durabilidade.
- Líquido amarelo cremoso.
- Embalagem em saco com 1 litro, bombona com 3,6 litros, lata com 18 litros e tambor com 190 litros.
- Ph: 8,5 – 11,5
- Densidade 1,0 – 1,10 kg/litro

3.1.6.2 Estabilizante químico de solos - Ecolopavi

Utilizou-se o estabilizante químico Ecolopavi, na proporção recomendada pelo fabricante de 1: 1.000 (1 litro de ECOLOPAVI para cada tonelada de solo) e adicionado 12,7% de cimento.

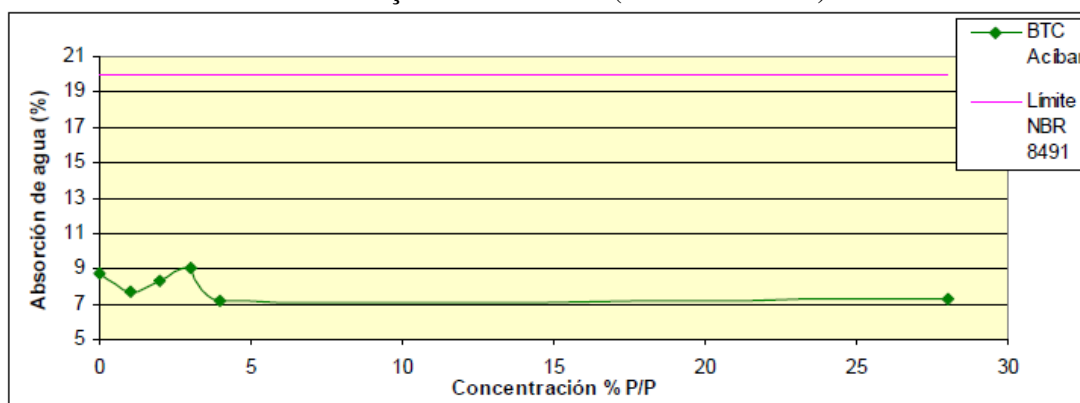
Conforme informações do fabricante possui as seguintes características físico-químicas:

- Aspecto: líquido transparente;
- Cor: castanho;
- Odor: característico;
- Solubilidade: total;
- Alcalinidade livre c/(NaOH): 0,7 % a 1,5 %;
- Densidade 20 °C +/- 4 °C: 1,050 g/ml a 1,070 g/ml;
- Insolúveis em álcool etílico: máximo 1 %;
- Sólidos totais a 105 °C (3 horas): 40,0 % a 42,0 %;
- pH concentrado: 12,0 a 14,00;
- Toxicidade: produto não tóxico, não inflamável, não corrosivo;
- Resfriamento de 0 °C a 5 °C, em 3 horas: não precipita, não turva, não solidifica.

3.1.7 Aloe vera/babosa

A utilização da seiva de Aloe vera foi concebida tendo em vista que as pesquisas feitas por Jiménez (2008) mostraram uma evolução favorável com crescimento da resistência à compressão seca e da compressão úmida e também uma diminuição da absorção de água em torno de 2 % para concentrações de até 4 % p/p (Figura 3.4).

Figura 3.4 - Absorção de água dos blocos de terra comprimida com diferentes concentrações de Aloe vera (Acíbar de sábila)



Fonte: Jiménez (2008).

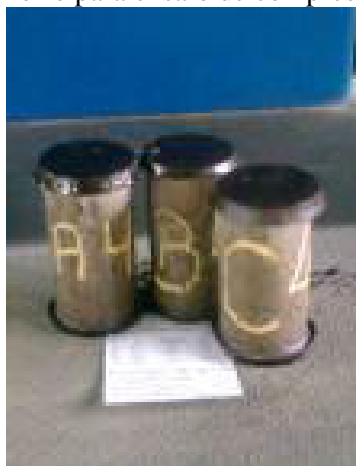
Como na pesquisa citada de Jiménez (2008), o ponto de diminuição da absorção de água em que houve uma estabilização da queda da absorção foi com uma concentração de 5 % p/p e como o objetivo era o de atingir uma menor absorção adotou-se o valor de 5 %.

Para a preparação do extrato de Aloe vera/babosa, como na pesquisa de Jiménez (2008) não havia subsídios para tal, utilizou-se o procedimento descrito em Jiménez e Domínguez (2013) para a mucilagem de Nopal como base, executando-se o seguinte procedimento: colheu-se as folhas/talos adultos, seccionou-os longitudinalmente, dividindo em duas partes, raspou-se a parte interna da folha com uma faca e depois misturou-se a seiva com água a 40 °C na proporção 1:1, deixando-se em repouso por 72 horas e depois sendo revolvida com uma batedeira elétrica e coada numa peneira fina, para posteriormente ser misturada na água de preparação da mistura solo cimento agregado, na proporção de 5 % em massa de água.

3.1.8 Outros materiais

Tendo em vista a necessidade de capeamento das faces dos blocos vazados, para realização dos ensaios de compressão, foi produzida uma argamassa de cimento Portland e areia, traço inicial 1:2, testada através da moldagem de 12 corpos de prova, de diâmetro 5 cm e altura 10 cm, curados ao ar livre, e que foram capeados com enxofre, conforme Figura 3.5 e ensaiados aos 7 e 28 dias. Os resultados médios dos ensaios foram: 7,5 MPa aos 7 dias; 12,29 MPa aos 28 dias, o que mostra que esta argamassa pode ser utilizada, pois a resistência está bem superior à prevista para os blocos vazados de solo cimento que seria de 2,00 MPa, estabelecida pelo item 5.2 da ABNT NBR 10834:2012.

Figura 3.5 - Corpos de prova da argamassa desenvolvida para capeamento, capeados com enxofre para ensaio de compressão



Fonte: Autor.

Tabela 3.6 - Resistência à compressão aos 28 dias dos corpos de prova moldados com a argamassa de capeamento

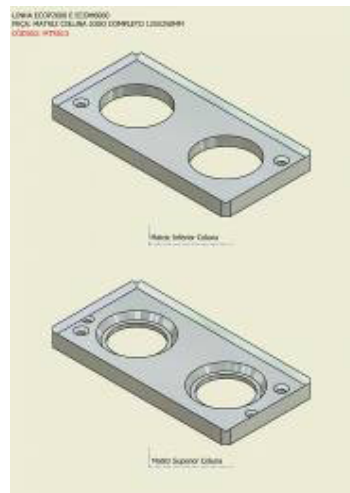
Características	Corpos de Prova		
	1	2	3
Diâmetro médio (mm)	50	50	50
Área seção transversal (mm ²)	1.963,50	1.963,50	1.963,50
Força máxima (N)	20.965,20	24.189,30	27.081,70
Resistência (MPa)	10,68	12,32	13,79
Resistência média à compressão simples aos 28 dias (MPa)	12,26		

Fonte: Autor.

Inicialmente foi utilizada esta argamassa desenvolvida para o capeamento dos blocos vazados, mas posteriormente fizemos testes usando as matrizes em aço da própria prensa

hidráulica que fabrica os blocos vazados, desenho conforme Figura 3.6, e estas serviram como capeamento, pois encaixavam perfeitamente no bloco vazado, transmitindo integralmente os esforços aplicados pela prensa de ensaios; e assim passou-se a utilizar as matrizes nos testes de compressão, com sensível melhora no processo.

Figura 3.6 - Matrizes utilizadas no ensaio de compressão



Fonte: Ecomaquinas (2015).

3.2 MÉTODOS

3.2.1 Caracterização do solo

A caracterização do solo foi realizada em conformidade com as Normas Brasileiras pertinentes, ABNT NBR 6457:1986; ABNT NBR 6459:1984; ABNT NBR 6508:1984; ABNT NBR 7180:1984 Versão corrigida 1988; ABNT NBR 7181:1984 Versão corrigida 1988; ABNT NBR 7182:1986 Versão corrigida 1988.

O solo foi preparado conforme ABNT NBR 6457:1986 e foram realizados os ensaios conforme se segue.

O limite de liquidez foi determinado conforme ABNT NBR 6459:1984, o de plasticidade conforme ABNT NBR 7180:1984 versão corrigida: 1988 e o índice de plasticidade foi

calculado pela diferença entre os dois, cujos cálculos constam das Tabelas 3.7 e da Figura 3.7.

Tabela 3.7 - Cálculo do limite de liquidez do solo

Limite de liquidez solo								
nº recipiente	220	179	199	101	250	31	223	3
mh + t (g)	19,35	17,78	19,83	15,74	18,98	16,93	20,48	15,73
ms + t (g)	18,74	17,08	18,95	14,95	18,09	16,29	19,74	15,14
t (g)	16,55	14,92	15,47	11,80	13,82	13,09	15,65	11,93
h (%)	27,85	36,57	25,29	25,08	20,84	20,00	18,09	18,38
nº de golpes	7		13		25		32	
hm (%)	32,2		25,2		20,4		18,2	

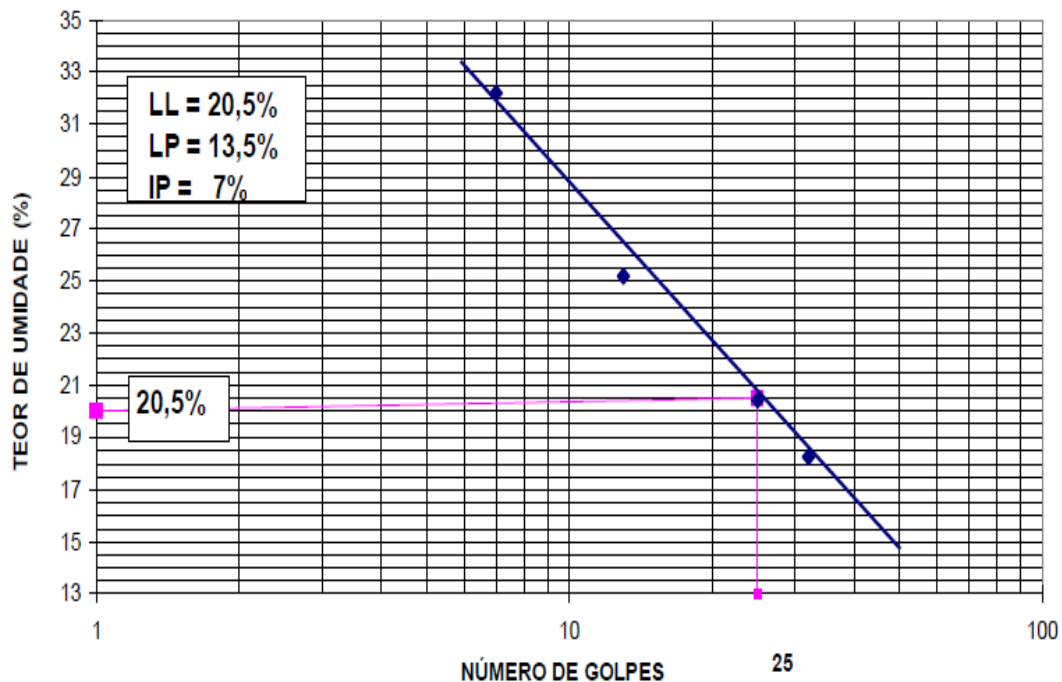
Fonte: Autor.

Tabela 3.8 - Cálculo do limite de plasticidade do solo

Limite de plasticidade do solo						
nº recipiente	30	192	177	131	168	209
mh + t (g)	13,85	17,25	16,55	17,15	16,32	16,02
ms + t (g)	13,65	17,06	16,35	16,84	16,15	15,83
t (g)	12,15	15,68	14,87	14,50	14,89	14,43
h (%)	13,33	13,77	13,51	13,25	13,49	13,57
hm (%)	13,49					

Fonte: Autor.

Figura 3.7 - Limite de liquidez do solo

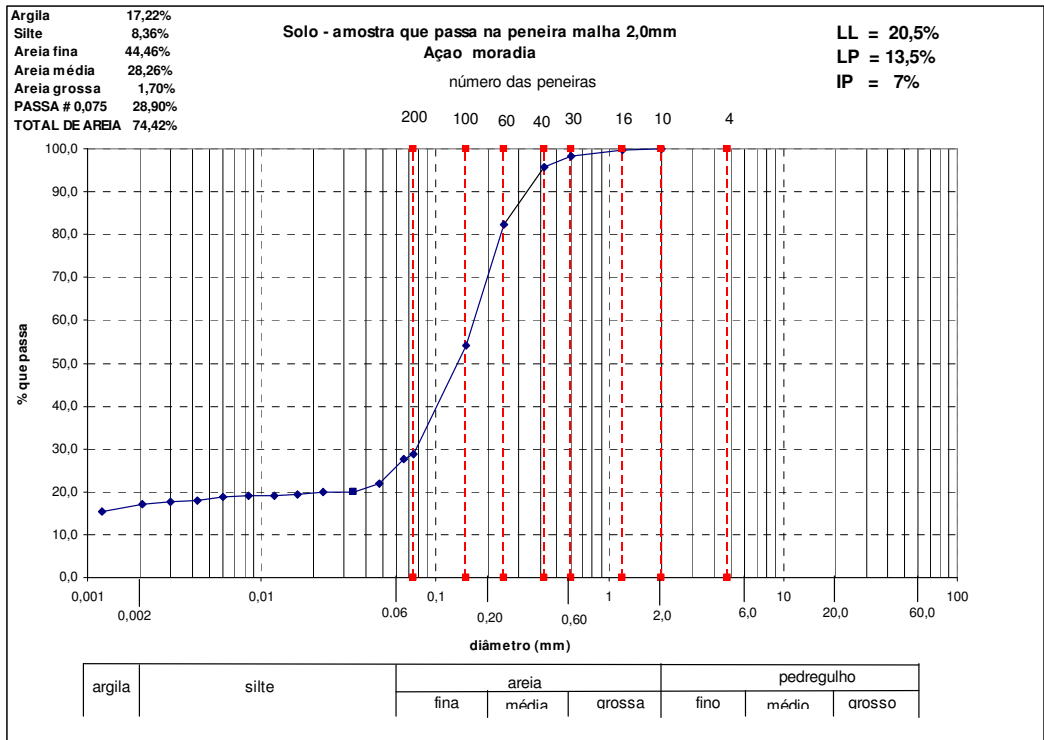


Fonte: Autor.

Os ensaios de granulometria do solo foram realizados segundo prescrições da ABNT NBR 7181:1984 versão corrigida: 1988.

A curva granulométrica do solo, constante da Figura 3.8, bem como os limites de Atterberg constantes da Figura 3.7 demonstram que os valores atendem às condições estabelecidas pela ABNT NBR 10833:2012, item 4.1.1, transcritas na Tabela 3.1.

Figura 3.8 - Curva granulométrica, Composição granulométrica, limites do solo



Fonte: Autor.

A massa específica dos grãos do solo foi determinada conforme ABNT NBR 6508:1984, de acordo com as Tabelas 3.9 e 3.10.

Tabela 3.9 - Cálculo da umidade do solo que passa na peneira com abertura de malha 2,00 mm

Material – solo que passa na peneira com abertura de malha 2,00 mm			
Propriedades	Cápsula		
	73	56	150
mh + t (g)	102,12	108,64	109,08
t (g)	17,90	17,81	18,56
ms + t (g)	101,94	108,46	108,89
h (%)	0,21	0,20	0,21
hm (%)	0,21		

Fonte: Autor.

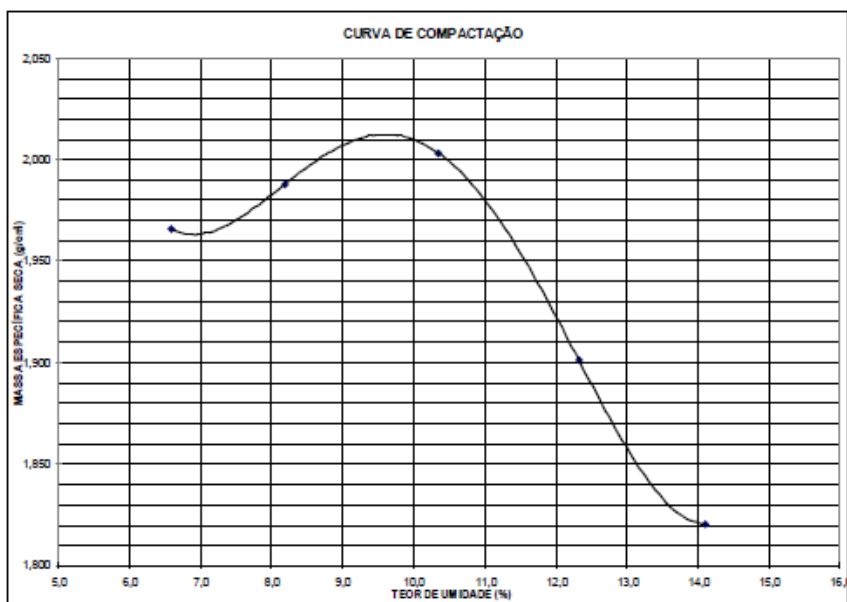
Tabela 3.10 - Cálculo da massa específica dos grãos do solo que passam na peneira com abertura de malha 2,00 mm

Massa específica dos grãos do solo		
Parâmetros	Picnômetro	
	1,00	4,00
Temperatura (°C)	23,20	23,30
mh (g)	120,00	120,00
ms (g)	119,75	119,75
Massa picnômetro + água (g)	1220,80	1274,00
Massa picnômetro + água + ART (g)	1299,99	1353,15
ρ_a (g/cm ³)	0,9975	0,9975
δ (g/cm ³)	2,945	2,942
δ média (g/cm ³)	2,944	

Fonte: Autor.

Foi determinada também a curva de compactação do solo, ensaio pelo método de Proctor, sendo que a umidade ótima encontrada foi de 10,3 %, bem como a massa específica aparente seca máxima, que foi de 2,005 g/cm³, conforme Figura 3.9.

Figura 3.9 - Curva de compactação do solo



Umidade ótima = 10,3 %

Massa específica aparente seca máxima = 2,005 g/cm³

Fonte: Autor.

Os resultados finais obtidos nos ensaios de caracterização do solo apresentam-se resumidos na Tabela 3.11.

Tabela 3.11 - Caracterização do solo

Característica do solo que passa na peneira com abertura de malha 2,00 mm	Valor
Massa específica (g/cm ³)	2,944
Massa unitária no estado solto (g/cm ³)	1,264
% de solo que passa na peneira com abertura de malha 4,75 mm	100
% de solo que passa na peneira com abertura de malha 75 µm	28,90
Limite de liquidez (%)	20,50
Limite de plasticidade (%)	13,50
Índice de Plasticidade (%)	7
Matéria orgânica	Não encontrada

Fonte: Autor.

3.2.2 Caracterização do ART

A caracterização do ART e sua análise física e química detalhadas foram feitas por Dias (2004), restando-nos apenas a caracterização da faixa granulométrica de interesse no estudo, que passa na peneira com abertura de malha 2,00mm, verificar os limites, comparar com as recomendações normativas e estabelecer os percentuais a serem utilizados na mistura, baseando-se nos conceitos para misturas solo agregado, dosadas volumetricamente desenvolvido por Dias (2004) e de índice de vazios.

A caracterização do ART na faixa de interesse foi realizada, como se o mesmo fizesse o papel de um solo para fabricação dos blocos vazados, ou seja, em conformidade com as Normas Brasileiras pertinentes, ABNT NBR 6457:1986; ABNT NBR 6459:1984; ABNT NBR 6508:1984; ABNT NBR 7180:1984 Versão corrigida 1988; ABNT NBR 7181:1984 Versão corrigida 1988.

O ART foi preparado conforme ABNT NBR 6457:1986 e foram realizados os ensaios conforme se segue.

O limite de liquidez foi determinado conforme ABNT NBR 6459:1984, o de plasticidade conforme ABNT NBR 7180:1984 versão corrigida: 1988 e o índice de plasticidade foi calculado pela diferença entre os dois, cujos cálculos constam das Tabelas 3.12 e 3.13 e da Figura 3.10.

Tabela 3.12 - Cálculo do limite de liquidez do ART que passa na peneira com abertura de malha 2,00 mm

Limite de liquidez								
nº recipiente	133	280	31	183	283	242	5	137
mh + t (g)	19,44	21,06	18,53	21,21	21,11	20,89	21,50	20,09
ms + t (g)	18,05	19,36	16,93	19,55	19,55	19,43	20,19	18,50
t (g)	14,98	15,65	13,09	15,59	15,67	15,86	16,75	14,33
h (%)	45,28	45,82	41,67	41,92	40,21	40,90	38,08	38,13
nº de golpes	8		15		31		52	
hm (%)	45,5		41,8		40,6		38,10	

Fonte: Autor.

Tabela 3.13 - Cálculo do limite de plasticidade do ART que passa na peneira com abertura de malha 2,00 mm

Limite de plasticidade						
nº recipiente	253	222	270	110	223	131
mh + t (g)	17,03	17,87	17,07	13,68	17,78	17,06
ms + t (g)	16,53	17,37	16,46	13,10	17,21	16,38
t (g)	15,14	15,96	14,79	11,46	15,65	14,50
h (%)	35,97	35,46	36,53	35,37	36,54	36,17
hm (%)	36,01					

Fonte: Autor.

A massa específica dos grãos do ART foi determinada conforme ABNT NBR 6508:1984, de acordo com as Tabelas 3.14 e 3.15.

Tabela 3.14 - Cálculo da umidade do ART que passa na peneira com abertura de malha 2,00 mm

Material – ART que passa na peneira com abertura de malha 2,00 mm			
Propriedades	Cápsula		
	157	11	155
mh (g)	107,81	104,19	106,48
t (g)	15,44	14,39	15,30
ms (g)	106,73	103,20	105,45
h (%)	1,18	1,11	1,14
hm (%)	1,15		

Fonte: Autor.

Tabela 3.15 - Cálculo da massa específica dos grãos do ART que passam na peneira com abertura de malha 2,00 mm

Massa específica dos grãos do solo		
Parâmetros	Picnômetro	
	3,00	8,00
Temperatura (°C)	23,20	23,20
mh (g)	120,00	120,00
ms (g)	118,64	118,64
Massa picnômetro + água (g)	1222,60	1176,80
Massa picnômetro + água + ART (g)	1298,77	1252,95
ρ_a (g/cm ³)	0,9975	0,9975
δ (g/cm ³)	2,787	2,785
δ média (g/cm ³)	2,786	

Fonte: Autor.

Apresentam-se na Tabela 3.16 os resultados finais obtidos nos ensaios de caracterização do ART.

Tabela 3.16 – Caracterização do ART

Característica do ART que passa na peneira com abertura de malha 2,00 mm	Valor
Massa específica (g/cm ³)	2,786
Massa específica aparente (g/cm ³)	1,810**
Massa unitária no estado solto (g/cm ³)	1,185
% de ART que passa na peneira com abertura de malha 4,75 mm	100
% de ART que passa na peneira com abertura de malha 75 µm	39,50
Limite de liquidez (%)	41,00
Limite de plasticidade (%)	36,00
Índice de Plasticidade (%)	5
Matéria orgânica	Não encontrada

** massa específica aparente do ART adotada conforme Dias (2004)

Fonte: Autor.

A curva granulométrica do ART e os limites de Atterberg constantes das Figuras 3.11 e 3.10, demonstram que os valores atendem às condições estabelecidas pela ABNT NBR 10833:2012, item 4.1.1, transcritas na Tabela 3.1.

Conforme curva granulométrica das Figura 3.11 e 3.10, o ART apresentou a composição granulométrica de 4,74 % de argila; 28,42 % de silte; 18,42 % de areia fina; 19,02 % de areia média; 29,40 % de areia grossa, limite de liquidez 41 %, limite de plasticidade 36 % e índice de plasticidade de 5 %, conforme curva granulométrica da Figura 3.11 e Figura 3.10, tratando-se, portanto um material de classificação HRB, A-5 – Solos Siltosos. Pela Tabela 3.17 sugerida pela ABCP o teor de cimento em peso para compactação seria de 10 %, como se utilizou 12,7 %, este teor encontra-se acima do recomendado.

Tabela 3.17 - Teor de cimento sugerido para a compactação

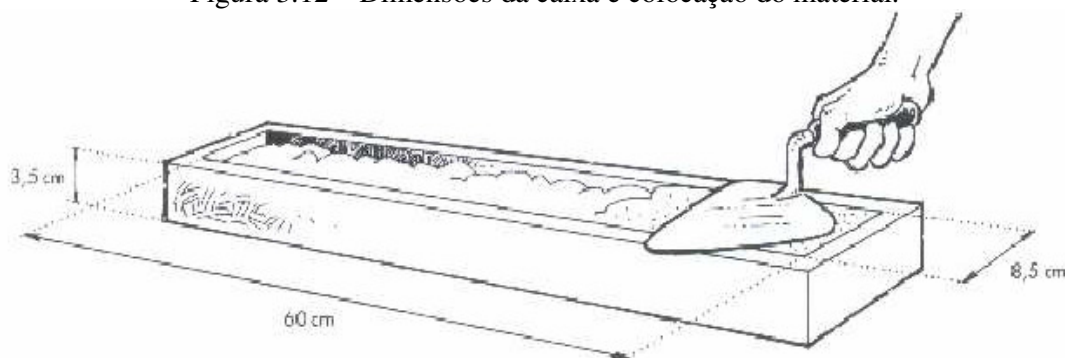
Classificação HRB	Teor de cimento em massa
A1-a	5
A1-b	6
A2	7
A3	8
A4	10
A5	10
A6	12
A7	13

Fonte: ABCP (1986).

3.2.3 Retração linear do solo e da mistura ART com o solo

A retração linear do solo e da mistura ART + solo foi avaliada através do ensaio de retração segundo o método sugerido pelo CEPED (1984), em que o material é umedecido até alcançar uma consistência plástica, semelhante à de uma argamassa de assentamento, e colocado dentro de uma caixa de madeira com 60,0 cm de comprimento, 8,5 cm de largura e 3,5 cm de espessura, conforme Figura 3.12, na qual se aplica previamente uma pintura com óleo mineral. Após colocação do material no interior desta caixa e a realização do adensamento manual, o material fica em repouso à sombra por sete dias, quando então se procede a leitura da retração no sentido do comprimento da caixa. De acordo com o CEPED (1984), para ser viável para a confecção de solo-cimento, a soma das fendas existentes entre as paredes da caixa e a amostra de solo deve ser inferior a 20 mm e a amostra não deve apresentar fenda transversal na parte central da caixa.

Figura 3.12 – Dimensões da caixa e colocação do material.



Fonte: CEPED (1984).

Os ensaios de retração linear do solo constam das Figuras 3.13a à 3.13c e os da mistura M4 (ART + solo) das Figuras 3.14a à 3.14c, resultados conforme Tabelas 3.18 e 3.19, que demonstram que a retração do solo foi de 6,34 mm e a da mistura ART + solo foi de 8,64 mm, inferiores a 20 mm, atendendo ao que estabelece o método do CEPED.

Figura 3.13a - Retração linear do solo – lado esquerdo



Figura 3.13b - Retração linear do solo – total



Figura 3.13c - Retração linear do solo – lado direito



Fonte: Autor.

Figura 3.14a - Retração linear da mistura ART + solo – lado esquerdo



Figura 3.14b - Retração linear da mistura ART + solo – total



Figura 3.14c - Retração linear da mistura ART + solo – lado direito



Fonte: Autor.

Tabela 3.18 - Retração linear do solo

Posição	1ª leitura (mm)	2ª leitura (mm)	3ª leitura (mm)	Média (mm)
Lado esquerdo da caixa	3,08	2,96	3,05	3,03
Lado direito da caixa	3,19	3,28	3,45	3,31
Retração total (mm)				6,34

Fonte: Autor.

Tabela 3.19 - Retração linear da mistura ART + solo

Posição	1ª leitura (mm)	2ª leitura (mm)	3ª leitura (mm)	4ª leitura (mm)	Média (mm)
Lado esquerdo da caixa	4,74	4,81	4,84	4,68	4,77
Lado direito da caixa	3,84	3,89	3,81	3,85	3,85
Retração total (mm)					8,62

Fonte: Autor.

3.2.4 Determinação das massas unitárias dos materiais, da mistura solo cimento e dos índices de vazios do ART e do ART cimento

As massas unitárias do solo, do ART, do cimento, do solo cimento, e da mistura ART + cimento foram determinadas no laboratório de geotecnia da FECIV, de acordo com os procedimentos adotados pela ABNT NBR NM 45:2006, após a secagem em estufa, de todos os materiais até atingirem massa constante. Para as determinações utilizou-se o cilindro grande (volume $\approx 14,80$ litros, massa = determinada no ensaio) ou o pequeno (volume $\approx 3,004$ litros, massa = determinado no ensaio), concha e balança. Foram determinados também os índices de vazios do ART (agregado puro) e do ART + cimento na proporção de 12,7 % em massa.

As massas unitárias encontradas foram: do solo - $1,264 \text{ kg/dm}^3$ (Tabela 3.20); do ART - $1,185 \text{ kg/dm}^3$ (Tabelas 3.21 e 3.22); do cimento - $0,963 \text{ kg/dm}^3$ (Tabela 3.23); do solo + cimento - $1,41 \text{ kg/dm}^3$ (Tabela 3.24); do ART + cimento = $1,2258 \text{ kg/dm}^3$ (Tabela 3.25); sendo a massa específica aparente do ART adotada conforme Dias (2004) - $1,810 \text{ kg/dm}^3$.

Após definidas as massas unitárias, calculou-se os índices de vazios do ART, que foi definido em 34,5458 %, conforme Tabelas 4.10 e 4.11 e do ART misturado com 12,7 % de cimento em massa, que foi definido em 32,2740 % , conforme Tabela 4.14.

Tabela 3.20 - Massa unitária do solo

Massa unitária medida em recipiente cilíndrico					
do solo que passa na peneira com abertura de malha 2,00 mm					
volume do cilindro (dm^3)					14,80
Determinação	ms+t (kg)	T (kg)	ms (kg)	massa Unitária (kg/dm^3)	% em relação a média
1	27,960	9,110	18,850	1,274	0,735
2	27,810	9,110	18,700	1,264	-0,067
3	27,740	9,110	18,630	1,259	-0,441
4	27,855	9,110	18,745	1,267	0,174
5	27,750	9,110	18,640	1,259	-0,387
6	27,820	9,110	18,710	1,264	-0,013
massa unitária média (kg/dm^3)				1,264	0,000
Umidade (%)			0,000	..	..

Fonte: Autor.

Tabela 3.21 - Massa unitária e índice de vazios do ART – amostra 1

Massa unitária da amostra 1 medida em recipiente cilíndrico do ART que passa na peneira com abertura de malha 2,00 mm					
volume do cilindro (dm ³)					14,80
Determinação	ms+t	t	ms	massa unitária	% em relação
	(kg)	(kg)	(kg)	(kg/dm ³)	à média
1	26,665	9,110	17,555	1,186	0,033
2	26,610	9,110	17,500	1,182	-0,280
3	26,650	9,110	17,540	1,185	-0,052
4	26,725	9,110	17,615	1,190	0,375
5	26,710	9,110	17,600	1,189	0,290
6	26,595	9,110	17,485	1,181	-0,366
Massa unitária média amostra 1(kg/dm ³)				1,186	0,000
Umidade (%)			0,000	..	..
Massa específica do ART (kg/dm ³)				1,81	..
Índice de vazios (%)				34,489	..

Fonte: Autor.

Tabela 3.22 - Massa unitária e índice de vazios do ART – amostra 2

Massa unitária da amostra 2 medida em recipiente cilíndrico do ART que passa na peneira com abertura de malha 2,00 mm					
volume do cilindro (dm ³)					3,004
Determinação	ms+t (kg)	tara (kg)	ms (kg)	massa unitária (kg/dm ³)	% em relação à média
1	6,625	3,04170	3,583	1,193	0,773
2	6,605	3,04170	3,563	1,186	0,211
3	6,580	3,04170	3,538	1,178	-0,492
4	6,605	3,04170	3,563	1,186	0,211
5	6,570	3,04170	3,528	1,175	-0,773
6	6,600	3,04170	3,558	1,185	0,070
massa unitária média (kg/dm ³)				1,184	0,000
Umidade (%)					0,000
Massa específica do ART (kg/dm ³)					1,81
Índice de vazios (%)					34,603
Massa unitária média das amostras 1 e 2 (kg/dm ³)					1,185
Índice de vazios médio (%)					34,5458

Fonte: Autor.

Tabela 3.23 - Massa unitária do cimento

Massa unitária medida em recipiente cilíndrico do					
Cimento super CP IV 40 RS marca LIZ					
volume do cilindro (dm ³)					3,004
Determinação	ms+t (kg)	t (kg)	ms (kg)	massa unitária (kg/dm ³)	% em relação à média
1	5,9064	3,03900	2,8674	0,955	-0,876
2	5,9440	3,03900	2,9050	0,967	0,424
3	5,9448	3,03900	2,9058	0,967	0,452
Massa unitária média (kg/dm ³)				0,963	0,000
Umidade (%)			0,000	..	..

Fonte: Autor.

Tabela 3.24 - Massa unitária do solo cimento

Massa unitária medida em recipiente cilíndrico					
solo cimento (solo + 12,7 % de cimento em massa)					
Volume do cilindro (dm ³)					3,004
Determinação	ms+t (kg)	t (kg)	ms (kg)	massa unitária (kg/dm ³)	% em relação à média
1	7,2553	0,04000	4,215	1,403	-0,492
2	7,2653	0,04000	4,225	1,406	-0,256
3	7,2653	0,04000	4,225	1,406	-0,256
4	7,2803	0,04000	4,240	1,411	0,098
5	7,3053	0,04000	4,265	1,420	0,689
6	7,2853	0,04000	4,245	1,413	0,216
Massa unitária média (kg/dm ³)				1,410	0,000
Umidade (%)			0,000	..	..

Fonte: Autor.

Tabela 3.25 - Massa unitária e índice de vazios do ART + cimento

Massa unitária medida em recipiente cilíndrico do ART que passa na					
peneira com abertura de malha 2,00 mm + 12,7 % cimento em massa					
Volume do cilindro (dm ³) =					3,004
Determinação	ms+t (kg)	t (kg)	ms (kg)	massa unitária (kg/dm ³)	% em relação à média
1	6,7234	3,03780	3,686	1,227	0,087
2	6,7176	3,03780	3,680	1,225	-0,071
3	6,7152	3,03780	3,677	1,224	-0,136
4	6,7246	3,03780	3,687	1,227	0,119
massa unitária média (Kg/dm ³)				1,2258	0,000
Umidade (%)			0,000	..	..
Massa específica do ART (kg/dm ³)				1,810	..
Índice de vazios (%)				32,2740	..

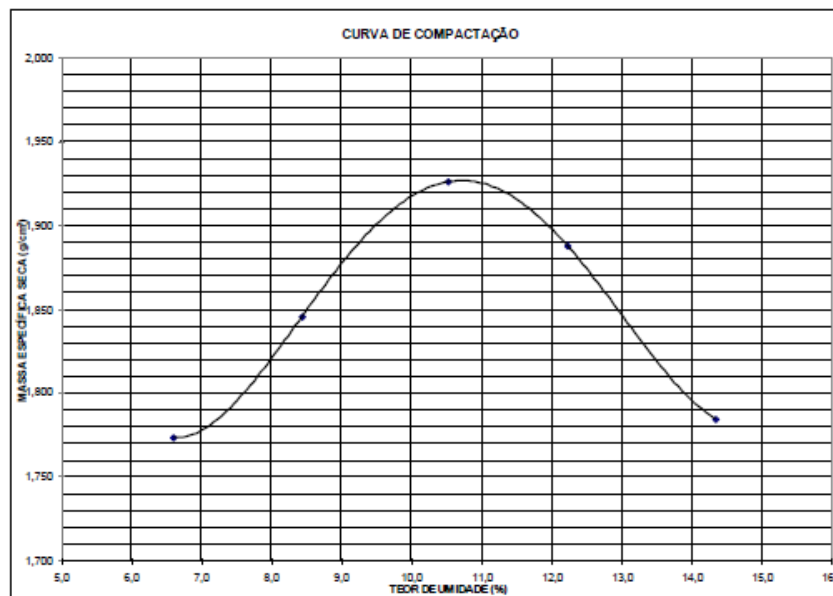
Fonte: Autor.

Os índices de vazios médios encontrados foram: para o ART puro - 34,5458 %; para o ART + 12,7 % em massa de cimento - 32,2740 %, conforme Tabelas 3.22 e 3.25.

3.2.5 Compactação da mistura solo cimento

Foi determinada também a curva de compactação da mistura solo cimento, ensaio pelo método de Proctor, sendo que a umidade ótima encontrada foi de 10,5 %, bem como a massa específica aparente seca máxima, que foi de 1,926 g/cm³, conforme Figura 3.15.

Figura 3.15 - Curva de compactação do solo cimento



Umidade ótima = 10,5 %

Massa específica aparente seca máxima = 1,926 g/cm³

Fonte: Autor.

3.2.6 Método de compactação em equipamento miniatura – Mini – MCV

Todos os corpos de prova cilíndricos preparados para a pesquisa foram ensaiados através do Método de Ensaio DNER-ME 258:1994 – Solos compactados em equipamento miniatura, que é um procedimento de compactação dinâmica de solos, passando na peneira com abertura de malha de 2 mm, realizado em laboratório, com corpos de prova cilíndricos

tipo miniatura, de 50 mm de diâmetro, denominado Mini-MCV. São determinados coeficientes empíricos utilizados na caracterização e classificação de solos tropicais.

Este método foi utilizado para determinar a MEAS dos corpos de prova cilíndricos e compará-la com a obtida nos blocos vazados fabricados com a prensa hidráulica da fábrica, para se conhecer a energia de compactação compatível a ser utilizada em laboratório.

CAPÍTULO 4

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O capítulo 4 apresenta o estudo experimental que foi feito nos laboratórios de geotecnia, de pavimentação e de estruturas da FECIV e na fábrica da ONG Ação Moradia, e constou dos procedimentos necessários a moldagem dos blocos vazados e dos corpos de prova, dos ensaios de balança hidrostática, compressão simples, absorção de água, Mini-MCV, necessários para as definições das misturas mais adequadas de solo cimento e de solo cimento agregado visando a obtenção final de blocos vazados de solo cimento e de solo cimento agregado que atendam aos requisitos das respectivas normas técnicas da ABNT pertinentes, no que tange às características do solo, do ART e das misturas, bem como da resistência à compressão simples e absorção de água.

Apresentam-se na sequência as atividades relacionadas às definições da mistura solo cimento mais adequada; das umidades ótimas da fábrica e do laboratório relativas a mistura solo cimento; da compactação solo cimento compatível fábrica × laboratório; das dosagens iniciais das misturas solo cimento agregado e da compactação; da umidade ótima da mistura solo cimento agregado escolhida inicialmente; da umidade ideal de moldagem dos blocos na fábrica; das dosagens das novas misturas; da adição na mistura ideal do aditivo Sika I, do estabilizante Ecolopavi e do extrato da planta Aloe vera e finalmente da conferência do número de golpes final compatível fábrica × laboratório da mistura final escolhida.

As atividades encontram-se descritas na ordem em que foram executadas, para melhor facilitar a compreensão da sequência desenvolvida no estudo. À medida que os resultados de cada etapa eram avaliados, passava-se a etapa seguinte.

Em geral foram utilizadas 2 casas decimais nas Tabelas e nos cálculos, mas em alguns casos utilizou-se mais casas com a finalidade de permitir uma maior precisão e leitura nos gráficos. Os cálculos foram feitos no programa Excel, por este motivo, muitas vezes os valores médios ou de cálculo das Tabelas podem não coincidir, pois podem ter sido arredondados.

A análise dos resultados de resistência à compressão, foi feita para 28 dias, tendo em vista que os trabalhos de campo foram executados na fábrica da Ação Moradia, que fabrica o bloco vazado nas dimensões da antiga norma ABNT NBR 10835:1994, ou seja altura menor do que a largura, norma esta que foi substituída pela ABNT NBR 10834:2013, que especifica altura maior ou igual a largura. A versão antiga da norma indica que os resultados devem ser aos 28 dias e a nova versão indica que deve ser com idade mínima de sete dias, sendo que desta forma os blocos aos 28 tem idade mínima maior do que os 7 dias.

4.1 DEFINIÇÃO DA MISTURA SOLO CIMENTO MAIS ADEQUADA AO ESTUDO

Este item trata da preparação das misturas de solo cimento, bem como da fabricação dos respectivos blocos vazados, da cura, da determinação da MEAS – massa específica aparente seca ensaiada através da balança hidrostática, das dimensões dos blocos, dos ensaios de resistência à compressão simples e de absorção de água, parâmetros estes necessários para a definição da mistura solo cimento mais adequada ao estudo e que atenda as normas técnicas pertinentes da ABNT.

4.1.1 Preparação das misturas de solo cimento

Para a preparação das misturas de solo cimento, necessárias à fabricação dos blocos adotou-se os seguintes procedimentos:

- 1) Preparou-se na fábrica da ONG Ação Moradia em 4 dias alternados e em duas semanas quatro misturas denominadas de $M1_{sc}$, $M2_{sc}$, $M3_{sc}$ e $M4_{sc}$, medidas em volume, mistura nominal 1:8 (cimento; solo peneirado na peneira da fábrica, com abertura de malha 2,0 mm).
- 2) Os materiais foram medidos em volume, na umidade natural, nos recipientes metálicos paralelepípedicos, sendo os Rmps destinados a medir o solo, numerados de 1 a 12 e o Rmpc destinado a medir do cimento marcado com C.
- 3) Para as misturas estudadas, foram determinados os seguintes parâmetros: umidade do solo, umidade do cimento, massas dos materiais utilizados, umidade da mistura solo cimento e a partir destes dados foram calculados as misturas reais em massa e a percentagem de cimento em massa utilizada em cada caso.
- 4) O solo foi utilizado úmido, ou seja com a umidade natural que o mesmo continha no momento da utilização. Amostras do solo em cada caso foram levadas ao laboratório para a determinação da umidade.
- 5) O cimento utilizado foi o retirado diretamente dos sacos lacrados, sem umidade.
- 6) A umidade da mistura solo cimento depois de completamente homogeneizada na betoneira, foi avaliada inicialmente através do “hand test”, para prosseguimento da fabricação dos blocos e depois desta, foram coletadas amostras que foram levadas ao laboratório e ensaiadas para a obtenção da umidade, bem como para os ensaios Mini-MCV, para determinação das MEAS e do número de golpes compatível.
- 7) Os teores de umidade do solo e da mistura solo cimento foram determinados através do método de ensaio da norma ABNT NBR 16097:2012.

Os resultados obtidos para cada uma das misturas encontram-se nas Tabelas 4.1, 4.2, 4.3 e 4.4 dos itens subseqüentes.

4.1.1.1 Mistura M1_{sc}

Foram determinados os teores de umidade e as massas dos materiais solo e cimento, componentes da mistura M1_{sc}. A mistura ficou caracterizada pela relação m/m 1:7,403 (cimento, solo). O teor de umidade da mistura solo cimento foi definido através do hand test e determinado em laboratório, resultando o valor de 8,45 %. O resumo dos demais resultados se apresenta na Tabela 4.1. As medições, os cálculos detalhados e os resultados específicos encontram-se detalhados no Apêndice A.

Tabela 4.1 - Resumo das características dos materiais componentes e da mistura M1_{sc}

Características	Mistura
	M1 _{sc}
Umidade do solo (%)	7,08
Umidade do cimento (%)	0,49
Umidade da mistura solo cimento (%)	8,45
Massa do solo (kg)	133,590
Massa do cimento (kg)	18,046
Relação cimento solo em massa	1:7,403
Porcentagem de cimento em massa (%)	13,51

Fonte: Autor.

4.1.1.2 Mistura M2_{sc}

Foram determinados os teores de umidade e as massas dos materiais solo e cimento, componentes da mistura M2_{sc}. A mistura ficou caracterizada pela relação m/m 1:6,943 (cimento, solo). O teor de umidade da mistura solo cimento foi definido através do hand test e determinado em laboratório, resultando o valor de 9,22 %. O resumo dos demais resultados se apresenta na Tabela 4.2. As medições, os cálculos detalhados e os resultados específicos encontram-se detalhados no Apêndice A.

Tabela 4.2 - Resumo das características dos materiais componentes e da mistura M2_{sc}

Características	Mistura
	M2 _{sc}
Umidade do solo (%)	8,36
Umidade do cimento (%)	0,50
Umidade da mistura solo cimento (%)	9,22
Massa do solo (kg)	129,493
Massa do cimento (kg)	18,651
Relação cimento solo em massa	1:6,943
Porcentagem de cimento em massa (%)	14,40

Fonte: Autor.

4.1.1.3 Mistura M3_{sc}

Foram determinados os teores de umidade e as massas dos materiais solo e cimento, componentes da mistura M3_{sc}. A mistura ficou caracterizada pela relação m/m 1:8,398 (cimento, solo). O teor de umidade da mistura solo cimento foi definido através do hand test e determinado em laboratório, resultando o valor de 9,74 % . O resumo dos demais resultados se apresenta na Tabela 4.3. As medições, os cálculos detalhados e os resultados específicos encontram-se detalhados no Apêndice A.

Tabela 4.3 - Resumo das características dos materiais componentes e da mistura M3_{sc}

Características	Mistura
	M3 _{sc}
Umidade do solo (%)	3,90
Umidade do cimento (%)	0,51
Umidade da mistura solo cimento (%)	9,74
Massa do solo (kg)	160,966
Massa do cimento (kg)	19,168
Relação cimento solo em massa	1:8,398
Porcentagem de cimento em massa (%)	11,91

Fonte: Autor.

4.1.1.4 Mistura M4_{sc}

Foram determinados os teores de umidade e as massas dos materiais solo e cimento, componentes da mistura M4_{sc}. A mistura ficou caracterizada pela relação m/m 1:7,874 (cimento, solo). O teor de umidade da mistura solo cimento foi definido através do hand test e determinado em laboratório, resultando o valor de 7,44 %. O resumo dos demais resultados se apresenta na Tabela 4.4. As medições, os cálculos detalhados e os resultados específicos encontram-se detalhados no Apêndice A.

Tabela 4.4 - Resumo das características dos materiais componentes e da mistura M4_{sc}

Características	Mistura
	M4 _{sc}
Umidade do solo (%)	5,13
Umidade do cimento (%)	0,32
Umidade da mistura solo cimento (%)	7,44
Massa do solo (kg)	147,942
Massa do cimento (kg)	18,789
Relação cimento solo em massa	1:7,874
Porcentagem de cimento em massa (%)	12,70

Fonte: Autor.

4.1.2 Blocos vazados de solo cimento - Fabricação e ensaios

Os blocos vazados de solo cimento de cada uma das misturas M1_{sc}, M2_{sc}, M3_{sc} e M4_{sc} foram produzidos na fábrica da ONG Ação Moradia, com dimensões nominais de 25,00 cm de comprimento, 12,50 cm de largura e 7,00 cm de altura, conforme molde padrão das prensas hidráulicas modelo Eco Premium 2600 CH MA da Ecomáquinas, com capacidade de compactação hidráulica de 6 toneladas.

Na betoneira foram colocados os materiais correspondentes a uma mistura e meia, por se tratar da capacidade mais adequada de trabalho da mesma.

O solo utilizado foi o existente no depósito da fábrica e que já estava peneirado na peneira industrial com abertura de malha 2,00 mm.

O cimento adicionado foi do tipo CP IV 40 RS (resistente a sulfatos), SUPER (secagem rápida) da marca Liz, sendo retirado diretamente dos sacos lacrados.

Os materiais foram medidos e colocados na betoneira, depois foi adicionada a água paulatinamente, sendo misturados até atingir coloração uniforme e homogeneidade.

A umidade da mistura preparada na betoneira foi avaliada através do hand test, por nós e pelas trabalhadoras da fábrica e sendo ajustada na medida da necessidade.

O hand test é um teste prático e consiste em comprimir a amostra de solo-cimento em uma das mãos, e verificando-se como os dedos marcaram a massa. Se a marca dos dedos ficarem bem definida, a umidade é adequada; se esfarelar é insuficiente e se a mistura apresentar compacta e molhada a umidade é excessiva.

A mistura solo cimento homogeneizada foi então transportada através de uma correia transportadora e despejados na prensa, que moldou os blocos vazados. Os blocos vazados foram então retirados da prensa e depositados em uma mesa de ardósia em área coberta, para posteriormente serem retirados e colocados nos pallets, para depois de 6 horas proceder-se à cura por pulverização de água.

De cada uma das misturas de solo cimento, depois de homogeneizadas, antes do início da fabricação foram retiradas amostras que foram encaminhadas para o laboratório de geotecnia da FECIV, onde foram feitos os ensaios para determinação do teor de umidade de acordo com a ABNT NBR 16097:2012 e de compactação através do método DNER-ME 258:1994 – Solos compactados em equipamento miniatura, para cálculo da MEAS que foi comparada com a obtida do bloco vazado e que serviu para a definição do número de golpes equivalente.

A cura foi feita por molhagem do tipo pulverização durante 7 (sete) dias.

Os blocos vazados foram retirados da fábrica depois da cura de 7 dias e encaminhados para o laboratório da FECIV, sendo molhados até a cura final de 28 dias.

Efetua-se a medição das dimensões dos blocos e mediante a análise das medições e dos cálculos de volumes, verificou-se, que segundo critério estabelecido pela ABNT NBR 10834:2012 item 3.1.2, trata-se de blocos vazados de solo cimento, pois o volume total de todos os blocos fabricados é inferior a 85% do volume aparente, e a espessura mínima das paredes no seu entorno, está de acordo com o estabelecido em 4.2.4, ou seja 25 mm. Portanto os tijolos ecológicos, como comumente são denominados, produzidos na fábrica da ONG Ação Moradia deverão ser denominados neste estudo de blocos vazados e não tijolos. As Tabelas das dimensões e dos cálculos dos volumes estão apresentadas no Apêndice A.

De cada bloco vazado de solo cimento fabricado foram feitas as seguintes determinações: MEAS através da balança hidrostática, de acordo com a ABNT NBR 10838:1988, dimensões, resistência máxima à compressão simples aos 28 dias e absorção de água aos 28 dias em conformidade com a ABNT NBR 10836:2013, cujos valores médios encontram-se discriminados na Tabela 4.5. Nesta Tabela apresenta-se também em conjunto com os resultados dos blocos, os resultados das misturas, para melhor entendimento da escolha da mistura mais adequada.

Tabela 4.5 - Resumo das características dos materiais e dos blocos vazados das misturas M1_{sc}, M2_{sc}, M3_{sc} e M4_{sc}

Características	Misturas			
	M1 _{sc}	M2 _{sc}	M3 _{sc}	M4 _{sc}
Umidade do solo (%)	7,08	8,36	3,90	5,13
Umidade do cimento (%)	0,49	0,50	0,51	0,32
Umidade da mistura solo cimento (%)	8,45	9,22	9,74	7,44
Massa do solo (kg)	133,590	129,493	160,966	147,942
Massa do cimento (kg)	18,046	18,651	19,168	18,789
Relação cimento solo em massa	1:7,403	1:6,943	1:8,398	1:7,874
Porcentagem de cimento em massa (%)	13,51	14,40	11,91	12,70
MEAS – massa específica aparente seca média dos blocos (g/cm ³)	1,77	1,77	1,70	1,73
Resistência média à compressão simples dos blocos aos 28 dias (MPa)	3,40	3,88	2,20	2,80
Menor resistência à compressão simples dos blocos aos 28 dias (MPa)	3,04	3,39	1,48	2,36
Absorção média de água dos blocos aos 28 dias (%)	14,78	13,09	16,78	14,98
Maior absorção de água dos blocos aos 28 dias (%)	14,99	15,22	17,29	16,33

Fonte: Autor.

Baseando-se nos resultados apresentados na Tabela 4.5, verificou-se que a mistura mais adequada ao estudo é aquela que resulta blocos vazados que atendam às prescrições mínimas da norma ABNT NBR: 10834:2012, bem como para ser a mais econômica, requeira um menor consumo de cimento. Nestas condições a que melhor atendeu foi a mistura M4_{sc}, cujos blocos vazados moldados foram ensaiados e apresentaram resistência à compressão simples média aos 28 dias de 2,80 MPa, que é maior do que os 2,00 MPa exigidos pela norma; sendo que o menor valor individual de resistência foi de 2,36 MPa que é maior do que os 1,70 MPa exigidos pela norma. Os blocos vazados resultantes da mistura M4_{sc}, apresentaram também uma absorção média de água de 14,98 %, menor do que os 20,00 % exigidos pela norma, sendo o maior valor individual de absorção de água de 16,33 %, menor do que os 22 % exigidos pela norma. O consumo de cimento da mistura M4_{sc} foi de 12,70 % em massa, mistura em massa relação cimento solo: 1:7,8737.

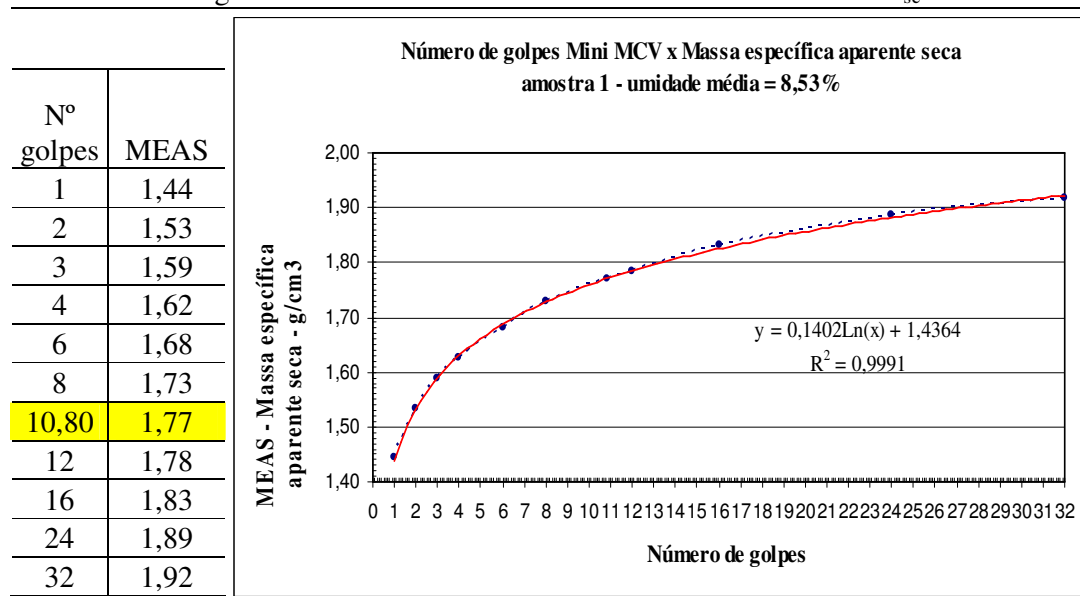
4.2 COMPATIBILIZAÇÃO DA ENERGIA DE COMPACTAÇÃO FÁBRICA × LABORATÓRIO

Através dos ensaios de compactação Mini-MCV das amostras coletadas na fábrica da Ação Moradia, por ocasião da confecção dos blocos vazados com as misturas M1_{sc}, M2_{sc}, M3_{sc} e M4_{sc}, foram analisados os valores das MEAS dos blocos vazados confeccionados e comparados com os valores obtidos através dos ensaios de compactação Mini-MCV, sendo desta forma definido o número de golpes compatível a ser aplicados para atingir a MEAS desejada equivalente a dos blocos vazados, para cada um das misturas estudadas; M1_{sc} conforme Tabelas 4.6 e 4.7 e Figuras 4.1 e 4.2; M2_{sc} conforme Tabelas 4.8 e 4.9 e Figuras 4.3 e 4.4; M3_{sc} conforme Tabelas 4.10 e 4.11 e Figuras 4.5 e 4.6; M4_{sc} conforme Tabelas 4.12 e 4.13 e Figuras 4.7 e 4.8; análise apresentada a seguir.

Para a mistura M1_{sc}, amostra 1, blocos vazados com MEAS média de 1,77 g/cm³, o número de golpes estaria entre 8 e 12, sendo que pelo gráfico calculou-se 10,80 golpes, o que na prática seria 11 golpes, conforme Tabela 4.6 e Figura 4.1. Para a amostra 2, o número de golpes também estaria entre 8 e 12, sendo que pelo gráfico calculou-se 9,80 golpes, o que na prática seria 10 golpes, conforme Tabela 4.7 e Figura 4.2.

Tabela 4.6 - Ensaio Mini-MCV – amostra 1 – mistura M1_{sc}

Amostra 1 - mistura M1 _{sc} - Mini-MCV				
Ka				20
Massa solo cimento úmida p/moldagem = 200 g				
Número de Golpes	n	Le (mm)	Hc (mm)	ρ _d (g/cm ³)
	1	35,05	65,05	1,44
	2	31,21	61,21	1,53
	3	29,14	59,14	1,59
	4	27,78	57,78	1,62
	6	25,81	55,81	1,68
	8	24,34	54,34	1,73
	12	22,62	52,62	1,78
	16	21,24	51,24	1,83
	24	19,75	49,75	1,89
	32	18,92	48,92	1,92
Massa específica seca média dos blocos vazados BL1 à BL 6 = 1,77 g/cm ³				
Fonte: Autor.				

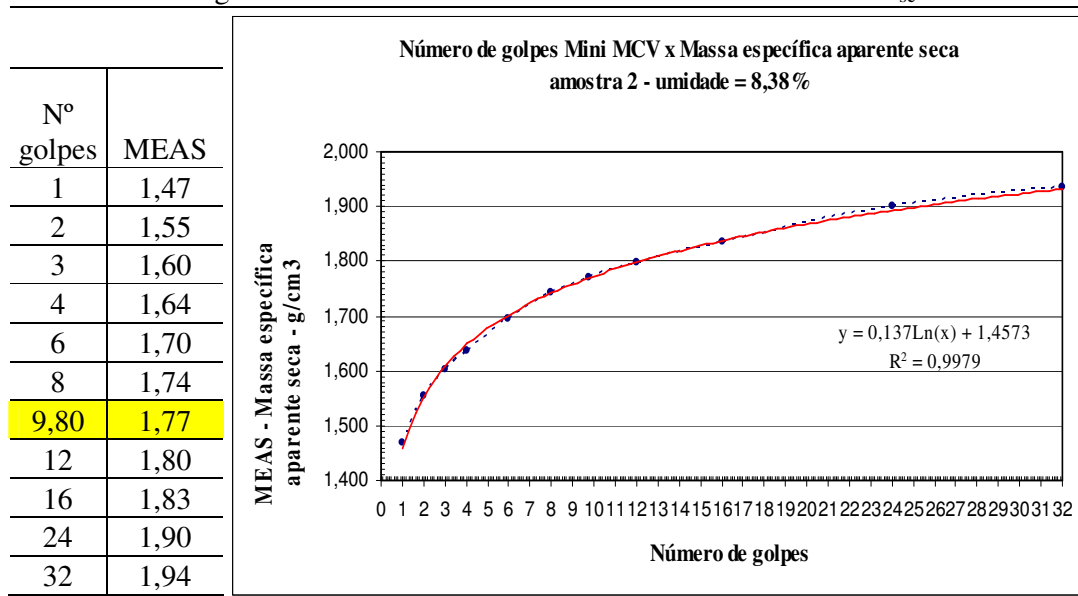
Figura 4.1 - Mini-MCV × MEAS - amostra 1 – mistura M1_{sc}

Fonte: Autor.

Tabela 4.7 - Ensaio Mini-MCV – amostra 2 – mistura M1_{sc}

Amostra 2 – Mistura M1 _{sc} - Mini-MCV				
Ka =				20
Massa mistura solo cimento úmida p/moldagem = 200 g				
Número de Golpes	n	Le (mm)	Hc (mm)	ρd (g/cm³)
	1	33,97	63,97	1,47
	2	30,46	60,46	1,55
	3	28,73	58,73	1,60
	4	27,42	57,42	1,64
	6	25,44	55,44	1,70
	8	23,97	53,97	1,74
	12	22,25	52,25	1,80
	16	21,23	51,23	1,83
	24	19,47	49,47	1,90
	32	18,55	48,55	1,94
Massa específica seca média dos blocos vazados BL1 à BL 6 = 1,77 g/cm³				
Fonte: Autor.				

Fonte: Autor.

Figura 4.2 - Mini-MCV× MEAS - amostra 2 – Mistura M1_{sc}

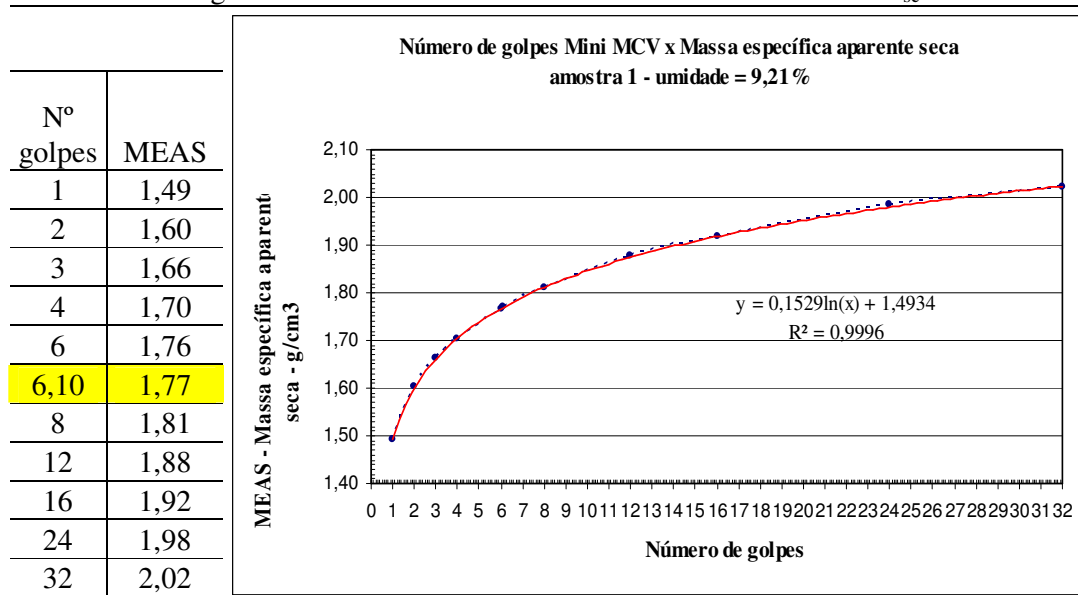
Fonte: Autor.

Para a mistura M2_{sc}, blocos vazados com MEAS média de 1,77 g/cm³, amostra 1, o número de golpes estaria entre 6 e 8, sendo que pelo gráfico calculou-se 6,10 golpes, o que na prática seria 6 ou 7 golpes, conforme Tabela 4.8 e Figura 4.3; para a amostra 2, o

número de golpes também estaria entre 6 e 8, sendo que pelo gráfico calculou-se 6,08 golpes, o que na prática seria 6 ou 7 golpes, conforme Tabela 4.9 e Figura 4.4.

Tabela 4.8 - Ensaio Mini-MCV – amostra 1 - mistura M2_{sc}

Amostra 1 - mistura M2 _{sc} - Mini-MCV				
Ka				20
Massa mistura solo cimento úmida p/moldagem = 200 g				
	n	Le (mm)	HC (mm)	ρd (g/cm ³)
Número de Golpes	1	32,47	62,47	1,49
	2	28,18	58,18	1,60
	3	26,10	56,10	1,66
	4	24,74	54,74	1,70
	6	22,86	52,86	1,76
	8	21,56	51,56	1,81
	12	19,72	49,72	1,88
	16	18,65	48,65	1,92
	24	17,01	47,01	1,98
	32	16,15	46,15	2,02
Massa específica seca média dos blocos vazados BL1 à BL 6 = 1,77 g/cm ³				
Fonte: Autor.				

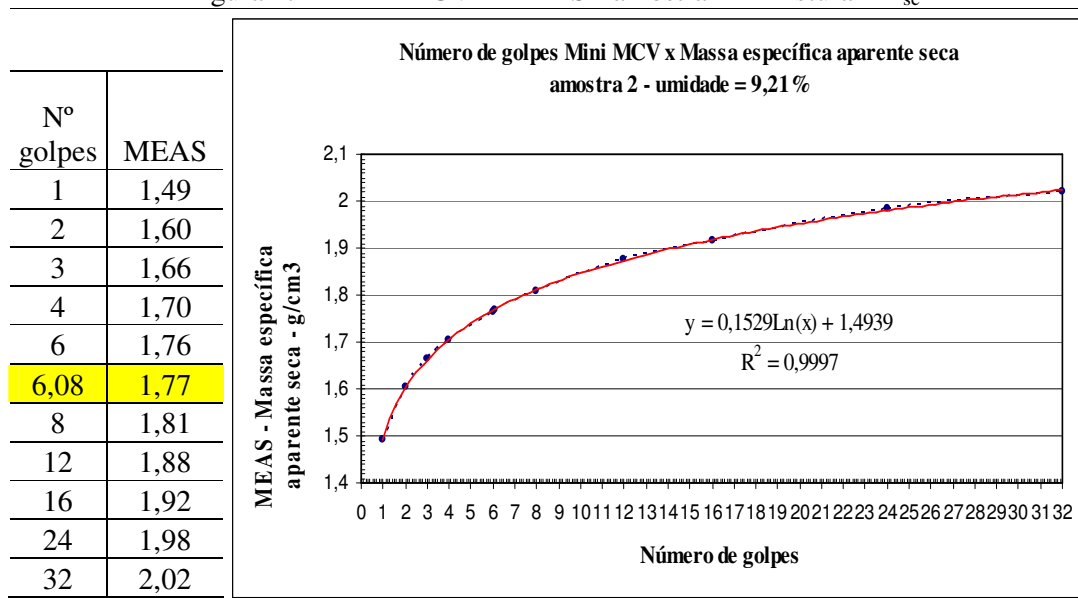
Figura 4.3 - Mini-MCV × MEAS - amostra 1 – Mistura M2_{sc}

Fonte: Autor.

Tabela 4.9 - Ensaio Mini-MCV – amostra 2 – mistura M2_{sc}

Amostra 2 - mistura M2 _{sc} - Mini-MCV				
Ka				20
Massa mistura solo cimento úmida p/moldagem = 200 g				
Número de Golpes	n	Le (mm)	HC (mm)	ρd (g/cm³)
	1	32,47	62,47	1,49
	2	28,18	58,18	1,60
	3	26,10	56,10	1,66
	4	24,74	54,74	1,70
	6	22,86	52,86	1,76
	8	21,56	51,56	1,81
	12	19,72	49,72	1,88
	16	18,65	48,65	1,92
	24	17,01	47,01	1,98
	32	16,15	46,15	2,02
Massa específica seca média dos blocos vazados BL1 à BL 6 = 1,77 g/cm³				

Fonte: Autor.

Figura 4.4 - Mini-MCV × MEAS - amostra 2 – Mistura M2_{sc}

Fonte: Autor.

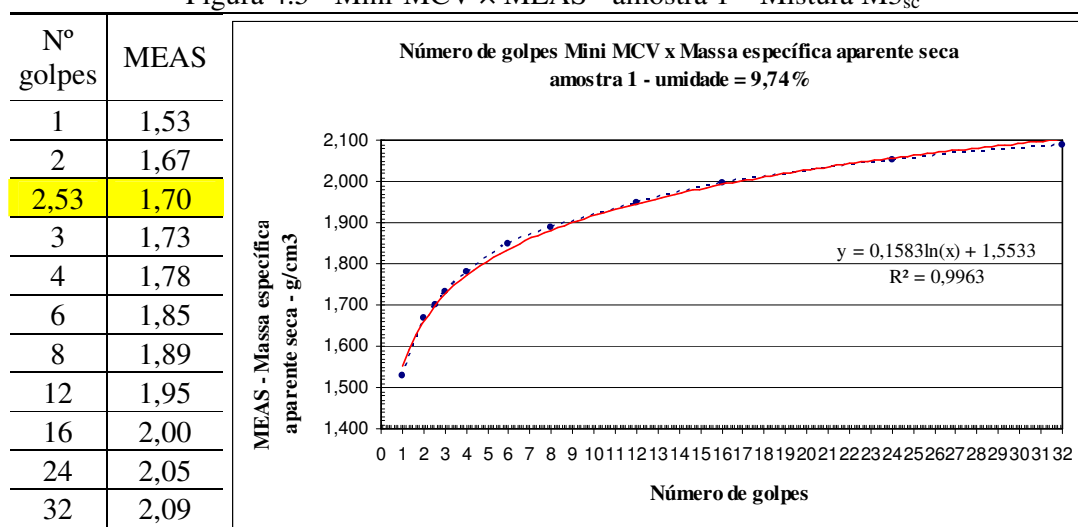
Para a mistura M3_{sc}, blocos vazados com MEAS média de 1,70 g/cm³, amostra 1, o número de golpes estaria entre 2 e 3, sendo que pelo gráfico calculou-se 2,53 golpes, o que na prática seria 3 golpes, conforme Tabela 4.10 e Figura 4.5; sendo que para a amostra 2, o

número de golpes também estaria entre 2 e 3, sendo que pelo gráfico calculou-se 2,13 golpes, o que na prática seria 3 golpes, conforme Tabelas 4.11 e Figura 4.6.

Tabela 4.10 - Ensaio Mini-MCV – amostra 1 – mistura M3_{sc}

Amostra 1 - mistura M3 _{sc} - Mini-MCV				
Ka				20
Massa mistura solo cimento úmida p/moldagem = 200 g				
Número de Golpes	n	Le (mm)	HC (mm)	ρd (g/cm ³)
	1	30,74	60,74	1,53
	2	25,69	55,69	1,67
	3	23,56	53,56	1,73
	4	22,15	52,15	1,78
	6	20,27	50,27	1,85
	8	19,22	49,22	1,89
	12	17,67	47,67	1,95
	16	16,52	46,52	2,00
	24	15,27	45,27	2,05
	32	14,45	44,45	2,09
Massa específica seca média dos blocos vazados BL1 à BL 6 = 1,70 g/cm ³				

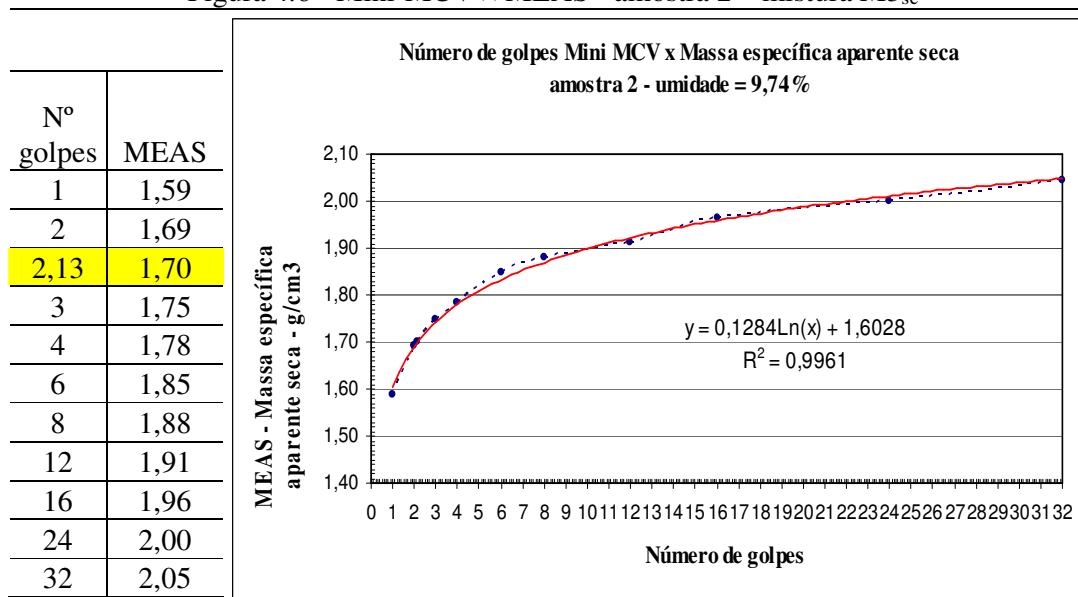
Fonte: Autor.

Figura 4.5 - Mini-MCV × MEAS - amostra 1 – Mistura M3_{sc}

Fonte: Autor.

Tabela 4.11 - Ensaio Mini-MCV – amostra 2 – Mistura M3_{sc}

Amostra 2 - Mistura M3 _{sc} - Mini-MCV				
Ka				20
Massa solo cimento úmida p/moldagem = 200 g				
Número de Golpes	n	Le (mm)	HC (mm)	ρ _d (g/cm ³)
	1	28,41	58,41	1,59
	2	24,86	54,86	1,69
	3	23,16	53,16	1,75
	4	22,05	52,05	1,78
	6	20,25	50,25	1,85
	8	19,34	49,34	1,88
	12	18,53	48,53	1,91
	16	17,31	47,31	1,96
	24	16,46	46,46	2,00
	32	15,39	45,39	2,05
Massa específica seca média dos blocos vazados BL1 à BL 6 = 1,70 g/cm ³				
Fonte: Autor.				

Figura 4.6 - Mini-MCV × MEAS - amostra 2 – mistura M3_{sc}

Fonte: Autor.

Para a mistura M4_{sc}, blocos vazados com MEAS média de 1,73 g/cm³, amostra 1, o número de golpes estaria entre 4 e 6, sendo que pelo gráfico calculou-se 4,66 golpes, o que na prática seria 5 golpes, conforme Tabela 4.12 e Figura 4.7; sendo que para a amostra 2, o

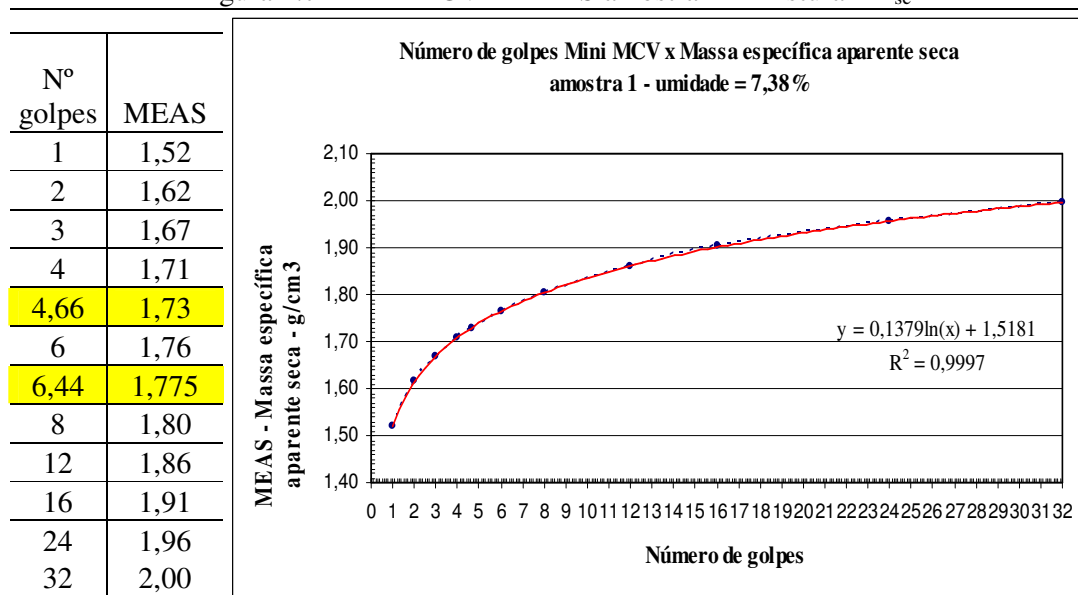
número de golpes também estaria entre 4 e 6, sendo que pelo gráfico calculou-se 4,52 golpes, o que na prática seria 5 golpes, conforme Tabela 4.13 e Figura 4.8.

Tabela 4.12 - Ensaio Mini-MCV – amostra 1 – mistura M4_{sc}

Amostra 1 - mistura M4 _{sc} - Mini-MCV				
Ka				20
Massa mistura úmida p/moldagem = 200 g				
	n	Le (mm)	HC (mm)	ρ _d (g/cm ³)
Número de Golpes	1	32,44	62,44	1,52
	2	28,69	58,69	1,62
	3	26,86	56,86	1,67
	4	25,59	55,59	1,71
	6	23,84	53,84	1,76
	8	22,64	52,64	1,80
	12	21,03	51,03	1,86
	16	19,80	49,8	1,91
	24	18,47	48,47	1,96
	32	17,54	47,54	2,00
Massa específica seca média dos blocos vazados BL1 à BL 6 = 1,73 g/cm ³				

Fonte: Autor.

Figura 4.7 - Mini-MCV × MEAS amostra 1 – Mistura M4_{sc}

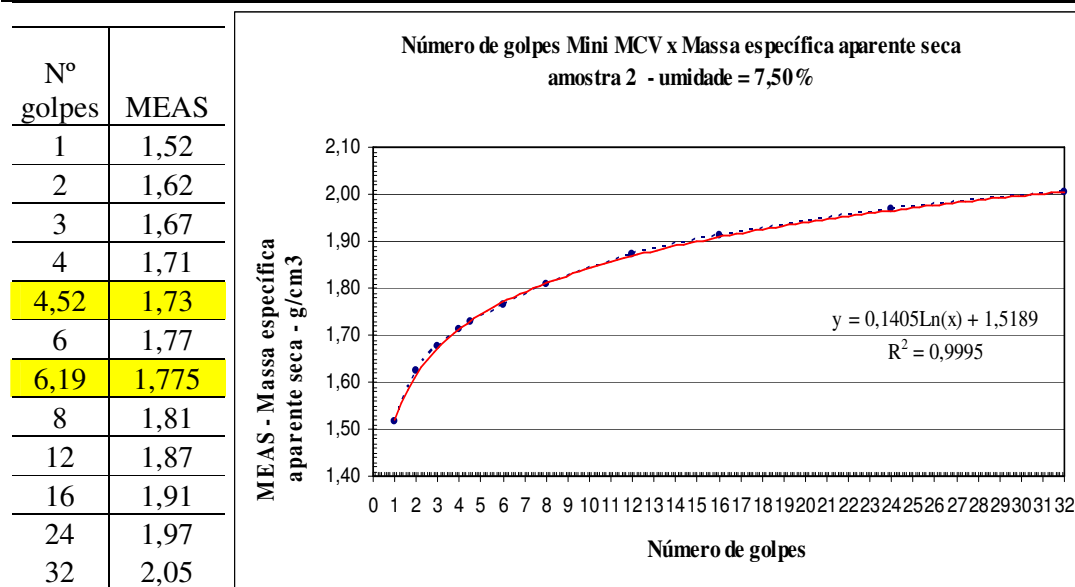


Fonte: Autor.

Tabela 4.13 - Ensaio Mini-MCV – amostra 2 – mistura M4_{sc}

Amostra 2 - mistura M4 _{sc} - Mini-MCV				
kA				20
Massa da mistura úmida p/moldagem = 200 g				
Número de Golpes	n	Le (mm)	HC (mm)	ρd (g/cm³)
	1	32,47	62,47	1,52
	2	28,40	58,40	1,62
	3	26,60	56,60	1,67
	4	25,40	55,40	1,71
	6	23,67	53,67	1,77
	8	22,44	52,44	1,81
	12	20,67	50,67	1,87
	16	19,57	49,57	1,91
	24	18,19	48,19	1,97
	32	17,29	47,29	2,00
Massa específica seca média dos blocos vazados BL1 à BL 6 = 1,73 g/cm³				

Fonte: Autor.

Figura 4.8 - Mini-MCV × MEAS amostra 2 – mistura M4_{sc}

Fonte: Autor.

A partir destes dados, tendo como base a mistura M4_{sc} convencionou-se aplicar 6 ou 7 golpes nos ensaios de compactação através do Mini-MCV e avaliar os resultados obtidos.

4.3 DEFINIÇÃO DA UMIDADE ÓTIMA DA MISTURA SOLO CIMENTO

Teoricamente, quanto mais se consegue compactar um determinado material, este fica mais pesado, ou seja: atinge maior MEAS e tende a possuir maior resistência e menor absorção de água, o que é demonstrado em Ferraz (2004) que nos mostra que certamente, quanto mais pesado, mais compacto será o material e isto terá influência positiva na resistência à compressão simples e na absorção de umidade.

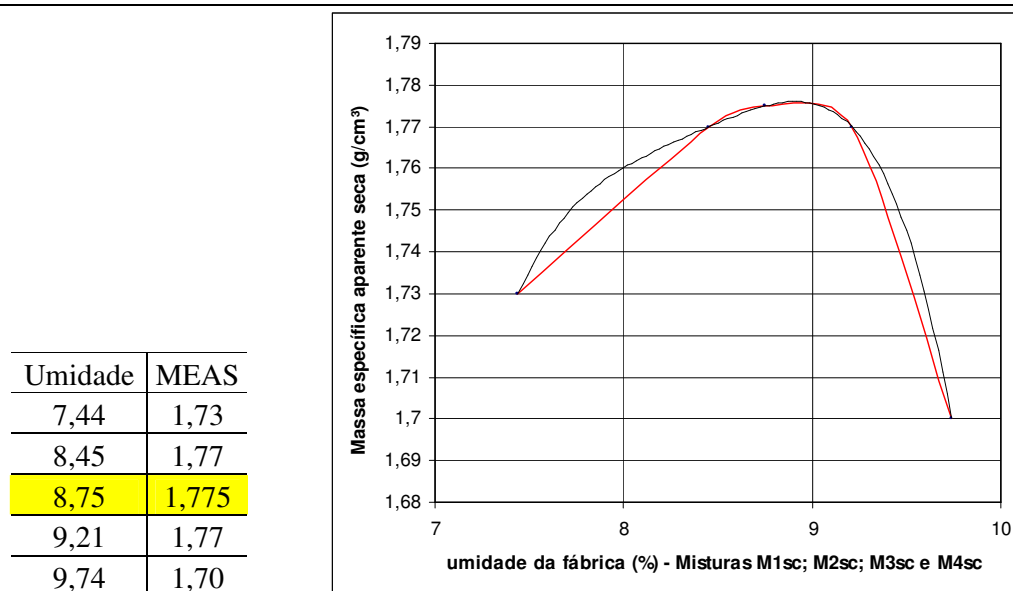
Segundo Dallacort et. al. (2002), a influência da umidade na massa específica do solo-cimento, até o valor ótimo, está ligada à lubrificação das partículas do solo, que lhes permite melhor rearranjo, de forma a ocupar o menor volume possível. Ultrapassado o valor ótimo, a água começa a ocupar espaço entre as partículas, provocando diminuição da densidade; já o material ligante, composto pelo cimento e pelo resíduo de blocos moídos, além de criar, com sua hidratação, um esqueleto sólido entre os grãos do solo, tem também o efeito de micro-filer, preenchendo os pequenos vazios entre as partículas de solo, interferindo na massa específica do material.

Sendo este o motivo de neste estudo procurar atingir o maior valor possível de MEAS, para que o bloco vazado de solo cimento, bem como o bloco vazado de solo ART cimento atenda às condições mínimas exigidas pela ABNT NBR 10834:2012 quanto à resistência a compressão simples e a absorção de água.

4.3.1 Umidade ótima na fábrica

A umidade considerada ótima conseguida na fábrica, para atingir uma MEAS aproximada de $1,77 \text{ g/cm}^3$ ($M1_{sc}$ e $M2_{sc}$), e trabalhando com 3 casas decimais $1,775 \text{ g/cm}^3$, que foi a maior dentre as misturas estudadas, foi determinada e definida em aproximadamente 8,75 % através da confecção da linha de tendência que incorpora as umidades e MEAS observadas na fábrica, por ocasião da execução das quatro misturas $M1_{sc}$, $M2_{sc}$, $M3_{sc}$ e $M4_{sc}$, conforme mostra a Figura 4.9.

Figura 4.9 - Linha de tendência MEAS × Umidade misturas M1_{sc}; M2_{sc}; M3_{sc} e M4_{sc} da fábrica



Fonte: Autor.

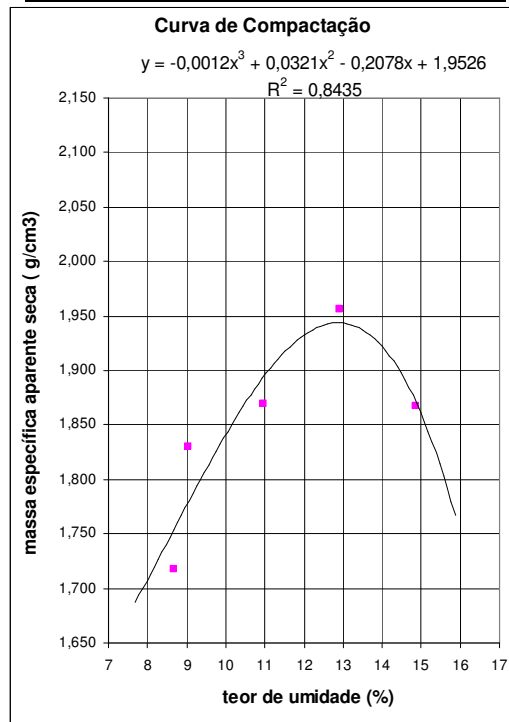
4.3.2 Umidade ótima em laboratório

A umidade ótima em laboratório, para atingir uma MEAS de 1,775 g/cm³, maior valor com 3 casas decimais obtido das misturas, foi calculada através da confecção das curvas de compactação feita através do método DNER-ME 258:1994 – Solos compactados em equipamento miniatura para compactação com seis e com sete golpes, conforme mostram as análises das Figuras 4.10 e 4.11.

Para o gráfico da Figura 4.10, compactação com 6 golpes, obtêm-se para MEAS = 1,775 g/cm³, um valor da umidade calculado em 8,55 % pela fórmula do Excel, valor próximo do valor de 8,75 % obtido com o gráfico da Figura 4.9 que é o levantamento da umidade na fábrica.

Figura 4.10 - Curva de compactação MEAS × umidade - ensaio Mini-MCV com 6 golpes - mistura solo cimento

Umidade	8,68	9,05	10,95	12,91	14,87
MEAS	1,718	1,831	1,869	1,957	1,868

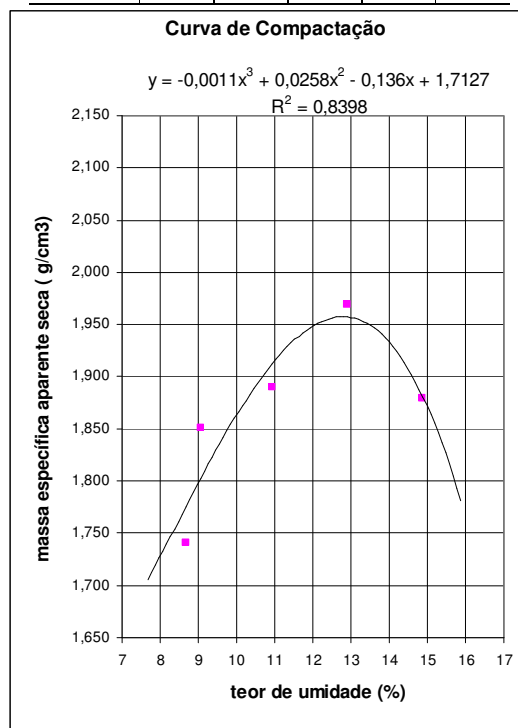


Fonte: Autor.

Para o gráfico da Figura 4.11, compactação com 7 golpes, obtêm-se para MEAS = 1,775 g/cm³ um valor da umidade calculado pela fórmula do Excel de 8,90 %, valor próximo do valor 8,75 % obtido com o gráfico da Figura 4.9 que é o levantamento da umidade real na fábrica.

Figura 4.11 - Curva de compactação MEAS × umidade - ensaio Mini-MCV com 7 golpes - mistura solo cimento

Umidade	8,68	9,05	10,95	12,91	14,87
MEAS	1,741	1,851	1,890	1,970	1,879



Fonte: Autor.

Após as análises acima adotou-se para umidade ótima em laboratório, os valores de 8,55 % para 6 golpes e 8,90 % para 7 golpes, tendo em vista que as curvas de tendência possuem R^2 menor do que 1, com dispersão em torno de 15 %.

Foram também analisados os gráficos das amostras 1 e 2 da mistura M4_{sc}, Tabela 4.12 e Figura 4.7 e Tabela 4.13 e Figura 4.8, MEAS × nº de golpes, para a MEAS de 1,775 g/cm³ (MEAS para umidade ótima de 8,75 %), para assim tentar determinar o número de golpes a ser aplicados no ensaio Mini-MCV, e verificou-se que para a amostra 1 o número de golpes seria 6,44 e para a amostra 2 seria 6,19 calculando-se pela equação da linha de tendência, o que na prática seriam 7 golpes a serem aplicados.

Com base nestas análises adotou-se finalmente para o estudo, o valor de umidade ótima em 8,75%, que é o valor obtido pela análise da umidade obtida na fábrica e compatível como os valores obtidos em laboratório.

4.4 CORPOS DE PROVA DE SOLO CIMENTO

Os corpos de prova cilíndricos de solo cimento, foram moldados em cilindros próprios conforme preconiza o método DNER-ME 258:1994 – Solos compactados em equipamento miniatura – Mini - MCV, já descrito no item 3.3.6.

A mistura de solo cimento utilizada nesse procedimento foi a da mistura escolhida M4_{sc}. amassada em duas umidades distintas, a ótima de 8,75 % e a obtida na fábrica para a referida mistura. Foram moldados e ensaiados 12 corpos de prova, sendo os numerados de 1 a 6 ensaiados com 7 golpes, umidade ótima de 8,75% e os numerados de 7 a 12 ensaiados com 6 golpes, umidade igual a da fábrica de 7,44 %, sendo que foram anotadas todas as leituras do equipamento para cada grupo de golpes aplicados e elaboradas as planilhas de cálculo das massas, dos volumes e respectivas MEAS dos corpos de prova, cujos resultados encontram-se nas Tabelas 4.14 e 4.15.

Os corpos de prova de solo cimento depois de 6 horas foram submetidos à cura através da imersão em água, sendo que permaneceram nos recipientes 28 dias, de onde foram retirados para realização dos ensaios de absorção de água conforme ABNT NBR 10836:2013 e balança hidrostática, conforme resultados constantes das Tabelas 4.14 e 4.15.

Tabela 4.14 - Compactação dos corpos de prova de solo cimento, balança hidrostática, absorção de água, corpos de prova 1 a 6, 7 golpes

Mini-MCV; balança hidrostática, absorção de água dos corpos de prova 1 a 6 de solo cimento moldados com a mistura M4_{sc}, compactação 7 golpes, umidade ótima de 8,75 %

Dados		Corpo de prova					
		1	2	3	4	5	6
La		20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
Ka		30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00
Massa inicial de solo (g)		200,00	200	200	200	200	200
Umidade adicionada (%)		8,75	8,75	8,75	8,75	8,75	8,75
leitura golpe 1 (mm)		31,27	31,43	32,04	31,49	32,05	33,76
leitura golpe 2 (mm)		27,52	27,75	28,35	28,16	28,60	29,37
leitura golpe 3 (mm)		25,60	26,02	26,79	26,39	26,78	27,45
leitura golpe 4 (mm)		24,65	24,83	25,65	25,14	25,50	26,22
leitura golpe 6 (mm)		22,86	22,95	23,80	23,36	23,76	24,40
leitura golpe 7 (mm)		22,21	22,35	23,01	22,67	23,05	23,64
Hc1 (mm) calculado		61,27	61,43	62,04	61,49	62,05	63,76
Hc2 (mm) calculado		57,52	57,75	58,35	58,16	58,60	59,37
Hc3 (mm) calculado		55,60	56,02	56,79	56,39	56,78	57,45
Hc4 (mm) calculado		54,65	54,83	55,65	55,14	55,50	56,22
Hc6 (mm) calculado		52,86	52,95	53,80	53,36	53,76	54,40
Hc7 (mm) calculado		52,21	52,35	53,01	52,67	53,05	53,64
ps1 (g/cm³)		1,53	1,52	1,51	1,52	1,51	1,47
ps2 (g/cm³)		1,63	1,62	1,61	1,61	1,60	1,58
ps3 (g/cm³)		1,68	1,67	1,65	1,66	1,65	1,63
ps4 (g/cm³)		1,71	1,71	1,68	1,70	1,69	1,67
ps6 (g/cm³)		1,77	1,77	1,74	1,76	1,74	1,72
ps7 (g/cm³)		1,79	1,79	1,77	1,78	1,77	1,75
ps média (g/cm³)		1,77					
Maior ps (g/cm³)		1,79					
Menor ps (g/cm³)		1,75					
Variação ps (g/cm³)		0,04					
Balança hidrostática	Massa saturada (g)	213,57	215,09	213,77	214,73	217,03	218,03
	Massa seca (g)	182,90	184,15	182,72	183,30	184,77	185,41
	Massa imersa (g)	110,79	111,57	110,55	111,18	112,20	112,50
	Volume (cm³)	102,78	103,52	103,22	103,55	104,83	105,53
	psbh (g/cm³)	1,78	1,78	1,77	1,77	1,76	1,76
psbh média (g/cm³)		1,77					
Maior psbh (g/cm³)		1,78					
Menor psbh (g/cm³)		1,76					
Variação psbh (g/cm³)		0,02					
Absorção de água	Massa úmida (g)	206,45	206,96	207,90	206,35	208,43	212,87
	Massa seca (g)	182,90	184,15	182,72	183,30	184,77	185,41
	Massa água (g)	23,55	22,81	25,18	23,05	23,66	27,46
	Absorção água (%)	12,87	12,39	13,78	12,58	12,81	14,81
Absorção média (%)		13,21					
Maior absorção (%)		14,81					

Fonte: Autor.

Tabela 4.15 - Compactação dos corpos de prova de solo cimento, balança hidrostática, absorção de água, corpos de prova 7 a 12, 6 golpes

Mini-MCV; balança hidrostática, absorção de água dos corpos de prova 7 a 12 de solo cimento moldados com a mistura M4_{sc}, compactação 6 golpes, umidade da fábrica de 7,44 %

Dados		Corpo de prova					
		7	8	9	10	11	12
La		20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
Ka		30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00
Massa inicial de solo (g)		200,00	200	200	200	200	200
Umidade adicionada (%)		7,44	7,44	7,44	7,44	7,44	7,44
leitura golpe 1 (mm)		37,90	37,57	32,53	32,59	32,86	37,97
leitura golpe 2 (mm)		31,10	29,09	29,14	29,18	29,20	29,45
leitura golpe 3 (mm)		28,92	27,39	27,40	27,49	27,58	27,74
leitura golpe 4 (mm)		27,46	26,20	26,21	26,31	26,28	26,50
leitura golpe 6 (mm)		26,45	25,16	25,30	25,38	25,29	25,49
Hc1 (mm) calculado		67,90	67,57	62,53	62,59	62,86	67,97
Hc2 (mm) calculado		61,10	59,09	59,14	59,18	59,20	59,45
Hc3 (mm) calculado		58,92	57,39	57,40	57,49	57,58	57,74
Hc4 (mm) calculado		57,46	56,20	56,21	56,31	56,28	56,50
Hc6 (mm) calculado		56,45	55,16	55,30	55,38	55,29	55,49
ps1 (g/cm³)		1,40	1,40	1,52	1,51	1,51	1,39
ps2 (g/cm³)		1,55	1,60	1,60	1,60	1,60	1,59
ps3 (g/cm³)		1,61	1,65	1,65	1,65	1,65	1,64
ps4 (g/cm³)		1,65	1,69	1,69	1,68	1,68	1,68
ps6 (g/cm³)		1,68	1,72	1,71	1,71	1,71	1,71
ps média (g/cm³)		1,71					
Maior ps (g/cm³)		1,72					
Menor ps (g/cm³)		1,68					
Variação ps (g/cm³)		0,04					
Balança hidrostática	Massa saturada (g)	223,87	223,06	223,50	221,50	223,69	223,24
	Massa seca (g)	186,43	187,50	187,46	186,72	187,55	187,06
	Massa imersa (g)	113,42	114,09	114,01	113,1	114,1	113,99
	Volume (cm³)	110,45	108,97	109,49	108,40	109,59	109,25
	psbh (g/cm³)	1,69	1,72	1,71	1,72	1,71	1,71
psbh média (g/cm³)		1,71					
Maior psbh (g/cm³)		1,72					
Menor psbh (g/cm³)		1,69					
Variação psbh (g/cm³)		0,03					
Absorção de água	Massa úmida (g)	214,42	214,08	215,21	212,34	214,83	216,31
	Massa seca (g)	186,43	187,50	187,46	186,72	187,55	187,06
	Massa água (g)	27,99	26,58	27,75	25,62	27,28	29,25
	Absorção água (%)	15,02	14,18	14,80	13,72	14,54	15,63
Absorção média (g/cm³)		14,65					
Maior absorção (g/cm³)		15,63					

Fonte: Autor.

Após a realização deste procedimento, verificou-se, que a série de golpes aplicados, definida no ensaio Mini-MCV, seria mais adequada aplicando-se golpe a golpe e anotando a leitura para o cálculo da MEAS, sem agrupar golpes, pois daria uma melhor aproximação deste valor sem necessidade de interpolações.

Após a cura dos 28 dias, os corpos de prova de solo cimento sendo parte deles apresentados na Figura 4.12 foram submetidos ao ensaio de compressão simples conforme procedimentos da ABNT NBR 10836:2013, até a ruptura conforme Figura 4.13, resultados constantes das Tabelas 4.16 (7 golpes) e 4.17(6 golpes).

Figura 4.12 - Corpos de prova de solo cimento a serem capeados e submetidos ao ensaio de resistência à compressão



Fonte: Autor.

Figura 4.13 - Prensa ensaiando o corpo de prova de solo cimento



Fonte: Autor.

Tabela 4.16 - Resistência à compressão dos corpos de prova de 1 a 6 de solo cimento aos 28 dias – 7 golpes

Características	Corpos de Prova de solo cimento 1 a 6 – resistência à compressão simples aos 28 dias 7 golpes					
	1	2	3	4	5	6
Diâmetro médio (mm)	50	50	50	50	50	50
Área seção transversal (mm²)	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50
Força máxima (N)	5.453,20	6.816,50	5.858,50	7.074,40	6.705,90	4.089,90
Resistência compressão simples (MPa)	2,78	3,47	2,98	3,60	3,42	2,08
Resistência média à compressão simples aos 28 dias (MPa)						3,06
Menor resistência à compressão simples aos 28 (MPa)						2,08
Maior resistência à compressão simples aos 28 (MPa)						3,60

Fonte: Autor.

Tabela 4.17 - Resistência à compressão dos corpos de prova de 7 a 12 de solo cimento aos 28 dias – 6 golpes

Características	Corpos de Prova de solo cimento 7 a 12 – ensaio de compressão simples aos 28 dias 6 golpes					
	7	8	9	10	11	12
Diâmetro médio (mm)	50	50	50	50	50	50
Área seção transversal (mm²)	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50
Força máxima (N)	4.274,10	5.582,10	4.863,60	4.734,70	3.205,60	3.832,00
Resistência compressão simples (MPa)	2,18	2,84	2,48	2,41	1,63	1,95
Resistência média à compressão simples aos 28 dias (MPa)						2,25
Menor resistência à compressão simples aos 28 dias (MPa)						1,63
Maior resistência à compressão simples aos 28 dias (MPa)						2,84

Fonte: Autor.

A resistência média a compressão simples aos 28 dias, atende aos padrões normativos da ABNT NBR 10834:2012, sendo 2,25 MPa para compactação com 6 golpes e 3,06 MPa para compactação com 7 golpes. Quanto ao atendimento ao parâmetro da menor resistência, apenas a compactação com 7 golpes, atendeu, com resistência de 2,08 MPa, sendo que para a compactação com 6 golpes houve um valor de 1,63 MPa, abaixo do mínimo normativo de 1,7 MPa.

4.5 DOSAGENS INICIAIS DAS MISTURAS SOLO + CIMENTO + ART

Na composição do solo cimento da presente pesquisa foram estudadas dosagens compostas por solo natural, ART - agregado reciclado de telha, em proporções pré-determinadas, utilizando-se como referencial teórico o volume de solo compactado igual ao volume de vazios do agregado, para que possa atingir a maior compacidade possível, sendo que para isto foi aplicado o procedimento alternativo para otimizar misturas de solo-agregado, desenvolvido por (DIAS *et al.*, 2004).

Optou-se também, que além da utilização do índice de vazios do ART puro, por calcular o índice de vazios do ART + cimento, incluindo-o no estudo a mistura cujo volume de solo cimento compactado seria igual ao volume de vazios do ART + cimento.

Para facilitar os procedimentos, adotou-se para as misturas a serem definidas, a mesma taxa de cimento em massa utilizado na mistura solo cimento mais adequada escolhida, ou seja: a da mistura M4_{sc}, com 12,7 % de cimento em massa sobre a massa da mistura.

Para isto utilizou-se os índices de vazios médios já determinados, conforme resultados constantes das Tabelas 3.21 e 3.22 (E_v – índice de vazios do ART puro = 34,5458 %) e 3.25 (E_v do ART + cimento = 32,2740 %) e as massas unitárias médias já determinadas constantes das Tabelas 3.24 (massa unitária do solo cimento = 1,41 kg/dm³) e 3.25 (massa unitária do ART + cimento = 1,2258 kg/dm³), partindo-se do pressuposto teórico, para simplificação do processo, de que a MEAS máxima ideal que poderia atingir a mistura ART + (solo cimento compactado), e que atenderia a resistência à compressão e absorção de água, seria aquela observada quando da confecção na fábrica da Ação Moradia, do bloco vazado com a mistura M4_{sc}, constante da Tabela 4.5 ou seja 1,73 kg/dm³, com umidade de 7,44 %, ou 1,775 kg/dm³ conseguida com a elaboração do gráfico das umidades da fábrica e para a umidade ótima de 8,75 %, conforme Figura 4.9. Com esta simplificação, e imaginando que esta quantidade de solo cimento compactada seria a suficiente para preencher os vazios do ART, ou do ART cimento, fizemos os seguintes

raciocínios e cálculos em volume para os dois casos de índices de vazios ART e ART + cimento, considerando uma mistura solta de ART + cimento de 1000 litros:

(1) para Índice de vazios $E_v = 32,274 \%$ (ART+cimento); 1000 litros da mistura solta de (ART + cimento) gastariam 322,74 litros de solo cimento compactado para preencher os vazios, o que seria equivalente a: $322,74 \text{ litros} \times 1,73 \text{ (MEAS do bloco vazado)} / 1,41 \text{ (massa unitária do solo cimento)} = 395,98 \text{ litros de solo cimento solto}$, ou $395,98 \times 1,41 = 558,34 \text{ kg de solo cimento solto}$.

Os 1000 litros da mistura solta de ART + cimento pesariam $1000 \times 1,2258 = 1225,83 \text{ kg}$

Em massa esta mistura seria então expressa pela relação em massa: 1:2,195 (solo cimento solto : ART cimento solto = $1225,83/558,34$), resultando em termos percentuais: 31,2944 % de solo e 68,7056 % de ART e 12,7 % de cimento em massa calculado sobre a massa da mistura. Esta mistura foi denominada de M1.

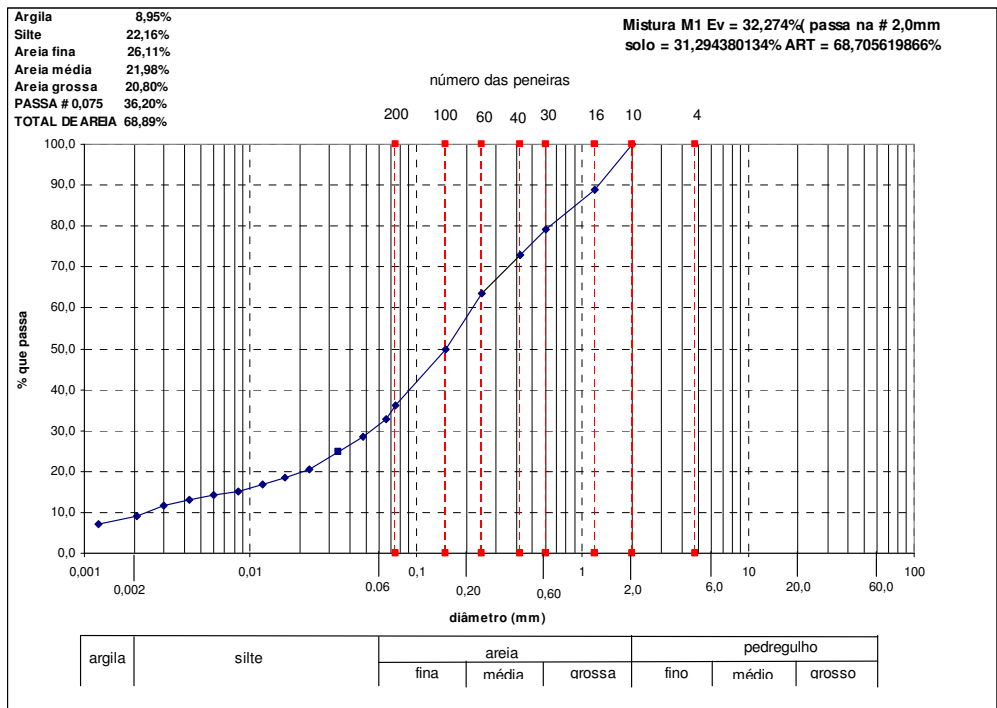
(2) para $E_v = 34,545 \%$ (ART puro); 1000 litros da mistura solta de (ART + cimento) gastariam 345,46 litros de solo cimento compactado para preencher os vazios, o que seria equivalente a: $345,46 \times 1,73 \text{ (MEAS do bloco vazado)} / 1,41 \text{ (massa unitária do solo cimento)} = 423,90 \text{ litros de solo cimento solto}$, ou $423,90 \times 1,41 = 597,6419 \text{ kg de solo cimento solto}$.

Os 1000 litros da mistura solta de ART + cimento pesariam $1000 \times 1,2258 = 1225,83 \text{ kg}$

Em massa esta mistura seria então: 1: 2,0511 (solo cimento solto : ART cimento solto = $1225,83/597,64$), resultando em termos percentuais: 32,7749 % de solo e 67,2251 % de ART. Esta mistura foi denominada de M2.

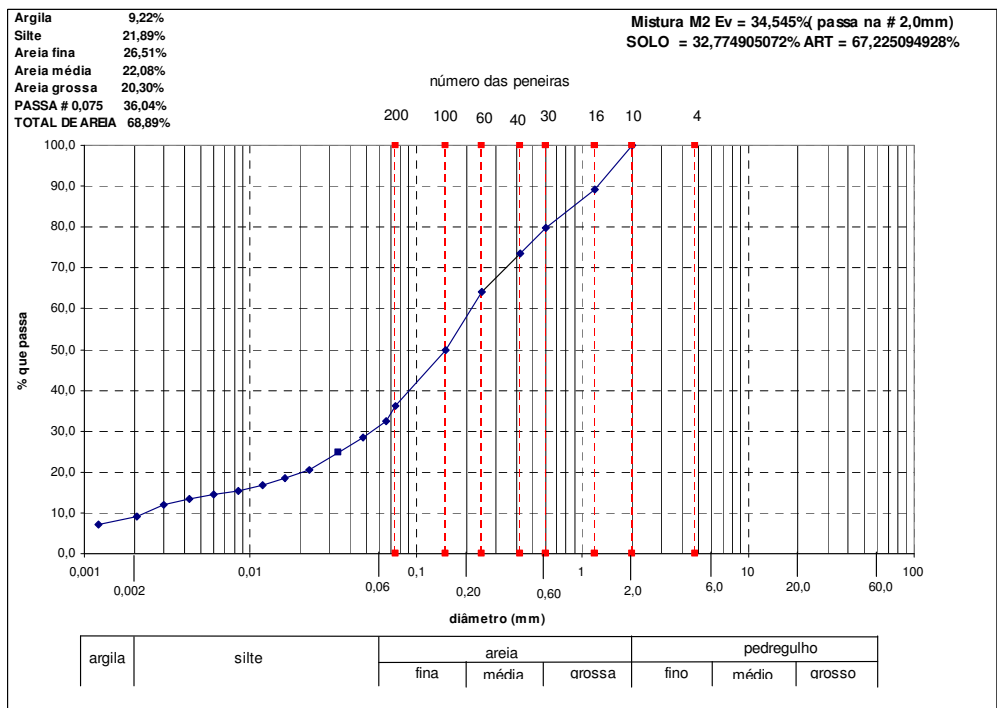
As curvas granulométricas das misturas, M1 e M2 encontram-se ilustradas nas figuras 4.14 e 4.15.

Figura 4.14 - Curva granulométrica da mistura solo+ ART usando as proporções da mistura M1



Fonte: Autor.

Figura 4.15 - Curva granulométrica da mistura solo+ ART usando as proporções da mistura M2



Fonte: Autor.

Apresenta-se a seguir na Tabela 4.18 o resumo dos valores extraídos das Figuras 3.8, 3.11, 4.14 e 4.15

Tabela 4.18 – Composição granulométrica e limites – solo, ART, M1 e M2

Material	Argila (%)	Silte (%)	Areia fina (%)	Areia média (%)	Areia grossa (%)	Passa ≠ 0,075 mm	Total de areia (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)
Solo	17,22	8,36	44,46	28,26	1,70	28,90	74,42	20,50	13,50	7,00
ART	4,74	28,42	18,42	19,02	29,40	39,50	66,84	41,00	36,00	5,00
M1 (solo + ART)	8,95	22,16	26,11	21,98	20,80	36,20	68,89	...	...	...
M2 (solo + ART)	9,22	21,89	26,51	22,08	20,30	36,04	68,89	...	...	...

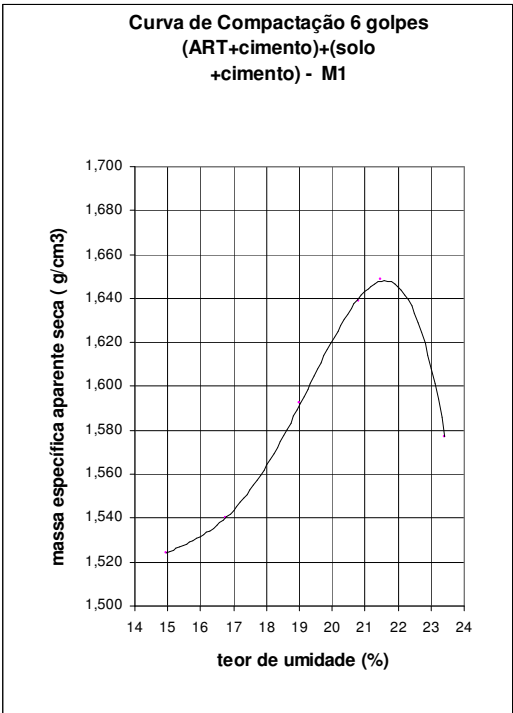
Fonte: Autor.

Constatou-se pelas composições granulométricas conforme Tabela 4.18, que as misturas M1 e M2 resultantes atendem as prescrições normativas do item 4.1.1 da ABNT NBR 10833:2012, transcritas na Tabela 3.1.

Após a definição destas primeiras misturas, M1 e M2 foram determinadas as umidades ótimas das misturas, sendo que a compactação foi feita com equipamento Mini-MCV, cilindro pequeno, método DNER-ME 258:1994, para verificar qual delas conseguiria atingir o MEAS máximo ideal pré-definido de 1,73 g/cm³ para 6 golpes ou 1,775 g/cm³ para 7 golpes, conforme se apresenta nas Figuras 4.16a, 4.16b, 4.17a e 4.17b.

Figura 4.16a - Curva de compactação MEAS x umidade - ensaio Mini-MCV com 6 golpes - mistura M1.

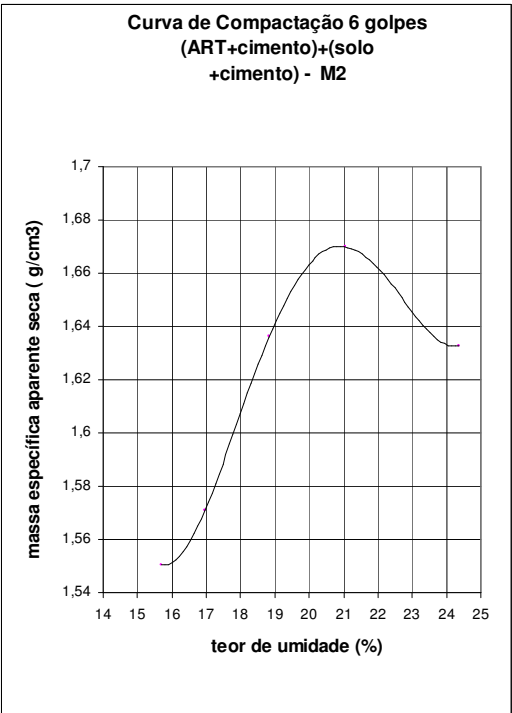
Umidade	14,96	16,76	19,02	20,80	21,45	23,42
MEAS	1,524	1,533	1,592	1,639	1,64875	1,577



Fonte: Autor.

Figura 4.16b - Curva de compactação MEAS x umidade - ensaio Mini-MCV com 6 golpes - mistura M2.

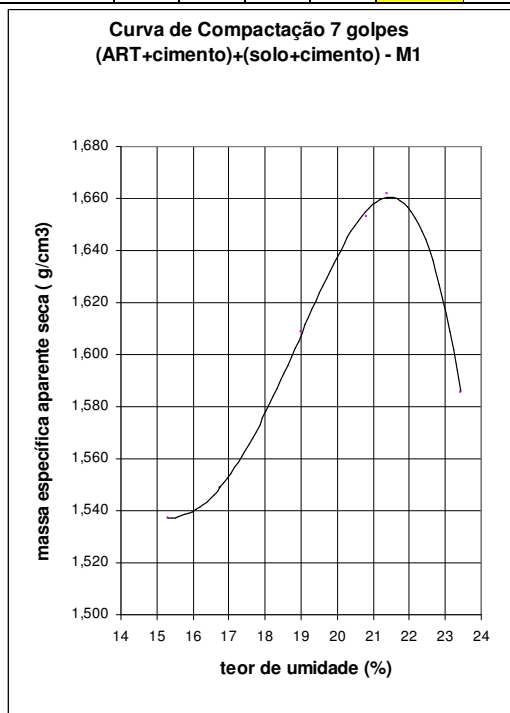
Umidade	14,90	16,96	18,84	21,04	24,36
MEAS	1,561	1,571	1,636	1,676	1,633



Fonte: Autor.

Figura 4.17a - Curva de compactação MEAS × umidade - ensaio Mini-MCV com 7 golpes - mistura M1.

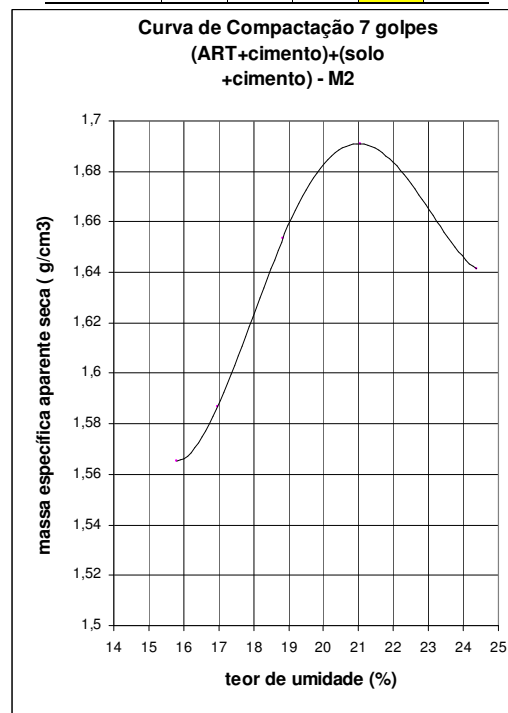
Umidade	14,96	16,76	19,02	20,80	21,39	23,42
MEAS	1,542	1,549	1,609	1,653	1,66191	1,586



Fonte: Autor.

Figura 4.17b -Curva de compactação MEAS × umidade - ensaio Mini-MCV com 7 golpes - mistura M2.

Umidade	14,90	16,96	18,84	21,04	24,36
MEAS	1,578	1,587	1,654	1,691	1,641



Fonte: Autor.

Como nenhuma das misturas M1 ou M2, após a compactação com 6 ou 7 golpes conseguiu atingir as MEAS teóricas máximas ideais, de 1,73 g/cm³ ou 1,775 g/cm³, observou-se pelas curvas de compactação, que com o acréscimo de percentagem de solo cimento compactado na mistura, ou seja de 32,2740 % para 34,5458 % houve um conseqüente aumento da MEAS em ambos os casos, permitindo uma avaliação e projeção de dados, conforme cálculos que se seguem:

- 1) para uma compactação com 6 golpes, mistura M1, umidade ótima de 21,45 % a MEAS foi de 1,64875 g/cm³, e para a mistura M2, umidade ótima de 21,04 % a MEAS máxima foi 1,676 g/cm³, havendo um acréscimo de 0,02725 g/cm³ na MEAS.
- 2) para uma compactação com 7 golpes, mistura M1, umidade ótima de 21,39 % a MEAS foi de 1,66191 g/cm³, e para a mistura M2, umidade ótima de 21,04 % a MEAS máxima foi 1,691 g/cm³, havendo um acréscimo de 0,02909 g/cm³ na MEAS.

De posse desses dados foi feita uma projeção percentual a ser acrescida para atingir um MEAS de 1,73 g/cm³ para 6 golpes e 1,775 g/cm³ para 7 golpes, ou seja: seria adicionar na percentagem de 34,545 % (maior MEAS do que a mistura M1) uma quantidade de solo cimento compactado necessária para tentar atingir os valores de MEAS esperados. Por regra de três calculou-se os valores a acrescentar de 4,50 % para 6 golpes e de 6,56 % para 7 golpes, que somados a percentagem da mistura M2 (34,545 %), que atingiu maior MEAS resultou nas percentagens de 39,046 % e 41,106 % para as próximas misturas a serem testadas, as quais foram denominadas de misturas M3 e M4 respectivamente.

As curvas granulométricas destas misturas, M3 e M4 encontram-se ilustradas nas Figuras 4.18 e 4.19.

Figura 4.18 - Curva granulométrica da mistura solo+ ART usando as proporções da mistura M3

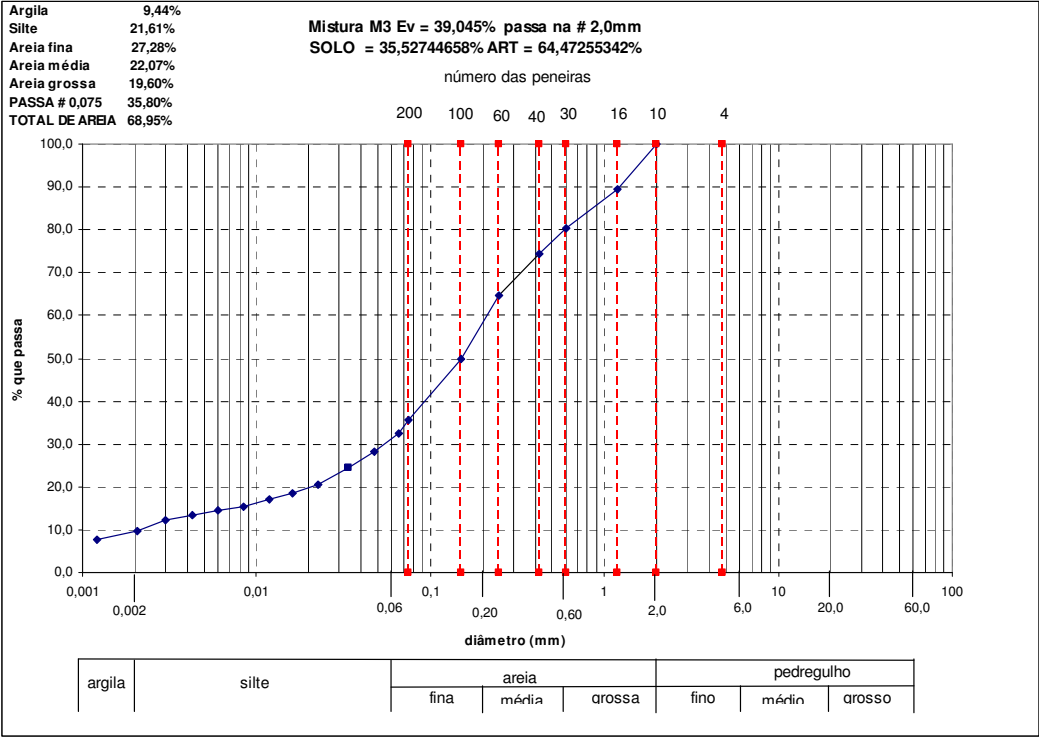
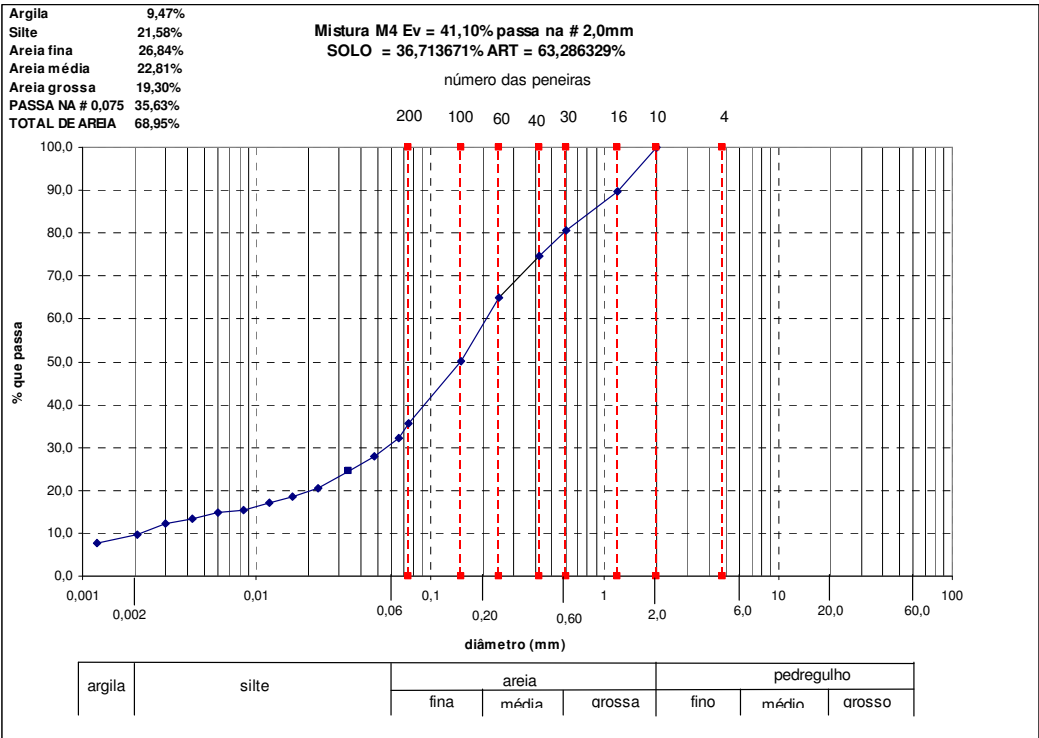


Figura 4.19 - Curva granulométrica da mistura solo+ ART usando as proporções da mistura M4



Fonte: Autor.

Apresenta-se a seguir a Tabela 4.19 resumo dos valores extraídos das Figuras 3.8, 3.11, 4.18 e 4.19

Tabela 4.19 – Composição granulométrica e limites – solo, ART, M3 e M4

Material	Argila (%)	Silte (%)	Areia fina (%)	Areia média (%)	Areia grossa (%)	Passa ≠ 0,075 mm	Total de areia (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)
Solo	17,22	8,36	44,46	28,26	1,70	28,90	74,42	20,50	13,50	7,00
ART	4,74	28,42	18,42	19,02	29,40	39,50	66,84	41,00	36,00	5,00
M3 (solo + ART)	9,44	21,61	27,28	22,07	19,60	35,80	68,95	...	...	...
M4 (solo + ART)	9,47	21,58	26,84	22,81	19,30	35,63	68,95	...	...	...

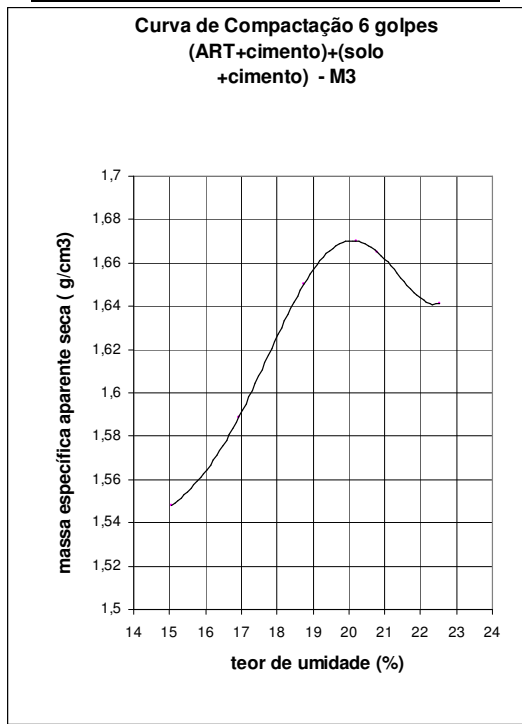
Fonte: Autor.

Constatou-se pelas composições granulométricas conforme Tabela 4.19, que as misturas M3 e M4 resultantes atendem as prescrições normativas do item 4.1.1 da ABNT NBR 10833:2012, transcritas na Tabela 3.1.

Para as misturas M3 e M4, foram também determinadas as umidades ótimas e MEAS máximos para 6 e 7 golpes, conforme Figuras 4.20a, 4.20b, 4.21a e 4.21b.

Figura 4.20a - Curva de compactação MEAS × umidade - ensaio Mini-MCV com 6 golpes - mistura M3.

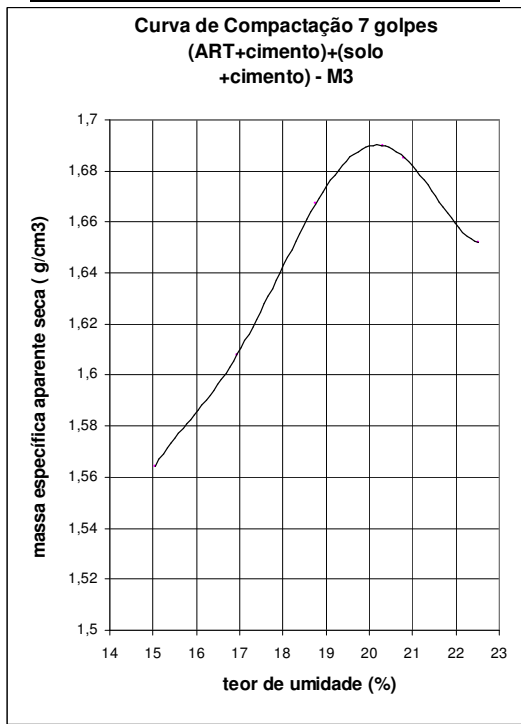
Umidade	15,06	16,93	18,76	20,21	20,81	22,52
MEAS	1,548	1,589	1,651	1,670	1,665	1,642



Fonte: Autor.

Figura 4.20b - Curva de compactação MEAS × umidade - ensaio Mini-MCV com 7 golpes - mistura M3.

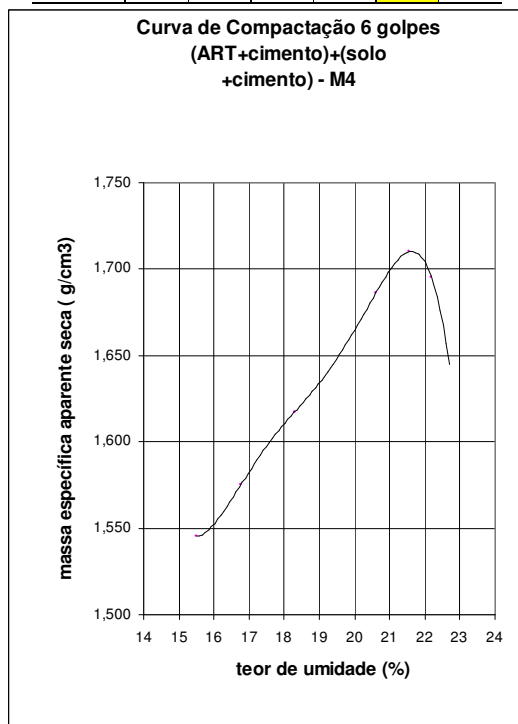
Umidade	15,06	16,93	18,76	20,30	20,81	22,52
MEAS	1,564	1,608	1,667	1,690	1,685	1,652



Fonte: Autor.

Figura 4.21a - Curva de compactação MEAS × umidade - ensaio Mini-MCV com 6 golpes - mistura M4.

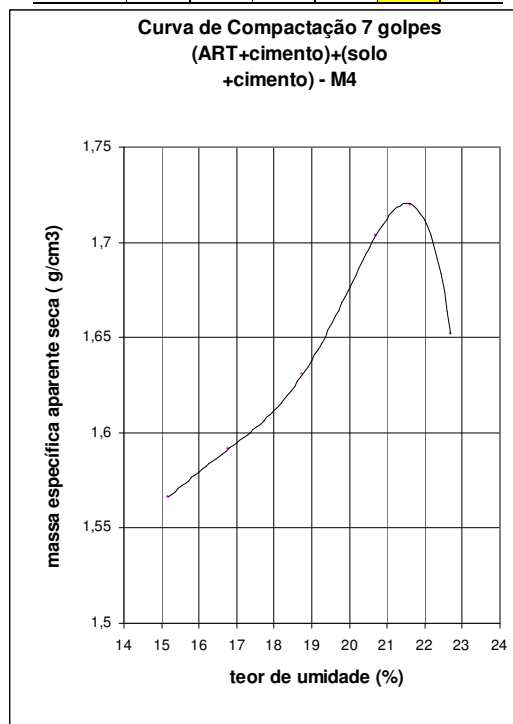
Umidade	15,18	16,78	18,92	20,78	21,54	22,20
MEAS	1,549	1,576	1,609	1,684	1,710	1,695



Fonte: Autor.

Figura 4.21b - Curva de compactação MEAS × umidade - ensaio Mini-MCV com 7 golpes - mistura M4.

Umidade	15,18	16,78	18,92	20,78	21,63	22,62
MEAS	1,566	1,591	1,628	1,702	1,720	1,653



Fonte: Autor.

Dos gráficos obtidos, concluiu-se que a mistura mais adequada seria a mistura M4, que com 6 golpes atingiu MEAS 1,71 g/cm³ e umidade ótima de 21,54 %, e com 7 golpes atingiu MEAS 1,72 g/cm³ e umidade ótima de 21,63 %. Portanto para os ensaios subsequentes adotaremos a mistura M4, umidade ótima de 21,63 %, tendo em vista atingir a maior MEAS possível.

Os corpos de prova provenientes dos ensaios de compactação para cálculo das umidades ótimas e MEAS máximas, com 7 golpes, das misturas M1, M2, M3 e M4 foram submetidos à cura submersa por 28 dias e foram feitos os ensaios de compressão simples, cujos resultados encontram-se nas Tabelas 4.20, 4.21, 4.22 e 4.23, que servirão como base para o estudo descrito no item 4.8 e Figura 4.28 à seguir, e para futuras referências e análises, quanto à resistência.

Tabela 4.20 - Resistência à compressão simples aos 28 dias dos corpos de prova resultantes do ensaio de umidade ótima da mistura M1

Características	Corpos de Prova Cilíndricos de 1 a 6					
	1	2	3	4	5	6
Diâmetro médio (mm)	50	50	50	50	50	50
Área seção transversal (mm ²)	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50
Força máxima (N)	4.329,40	3.850,40	5.140,00	7.590,20	9.340,40	9.616,70
Resistência compressão simples (MPa)	2,20	1,96	2,61	3,86	4,76	4,90
Resistência média à compressão simples (MPa)						3,38
Menor resistência à compressão simples (MPa)						1,96

Fonte: Autor.

Tabela 4.21 - Resistência à compressão simples aos 28 dias dos corpos de prova resultantes do ensaio de umidade ótima da mistura M2

Características	Corpos de Prova Cilíndricos de 1 a 5				
	1	2	3	4	5
Diâmetro médio (mm)	50	50	50	50	50
Área seção transversal (mm ²)	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50
Força máxima (N)	3.592,50	5.305,80	8.216,60	10.722,10	9.598,30
Resistência compressão simples (MPa)	1,83	2,70	4,18	5,46	4,89
Resistência média à compressão simples (MPa)					3,81
Menor resistência à compressão simples (MPa)					1,83

Fonte: Autor.

Tabela 4.22 - Resistência à compressão simples aos 28 dias dos corpos de prova resultantes do ensaio de umidade ótima da mistura M3

Características	Corpos de Prova Cilíndricos de 1 a 5				
	1	2	3	4	5
Diâmetro médio (mm)	50	50	50	50	50
Área seção transversal (mm ²)	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50
Força máxima (N)	3.371,40	5.490,00	6.558,50	8.695,60	8.695,60
Resistência compressão simples (MPa)	1,72	2,80	3,34	4,43	4,43
Resistência média à compressão simples (MPa)					3,34
Menor resistência à compressão simples (MPa)					1,72

Fonte: Autor.

Tabela 4.23 - Resistência à compressão simples aos 28 dias dos corpos de prova resultantes do ensaio de umidade ótima da mistura M4

Características	Corpos de Prova Cilíndricos de 1 a 7						
	1	2	3	4	5	6	7
Diâmetro médio (mm)	50	50	50	50	50	50	50
Área seção transversal (mm ²)	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50
Força máxima (N)	2.800,30	5.140,00	4.955,80	9.616,70	8.621,90	11.864,30	7.627,10
Resistência compressão simples (MPa)	1,43	2,62	2,52	4,90	4,39	6,04	3,88
Resistência média à compressão simples (MPa)							3,68
Menor resistência à compressão simples (MPa)							1,43

Fonte: Autor.

4.6 CORPOS DE PROVA DA MISTURA M4 NA UMIDADE ÓTIMA

Os corpos de prova cilíndricos confeccionados com a mistura M4, na umidade ótima de 21,63%, foram moldados em cilindros próprios conforme preconiza o método DNER-ME 258:1994 – Solos compactados em equipamento miniatura – Mini-MCV, sendo que para isto aplicou-se o número de golpes determinados nas análises já descritas, ou seja 6 ou 7 golpes.

Foram moldados e ensaiados 48 corpos de prova, sendo 24 com 6 golpes, numerados de 1 a 24 e 24 com 7 golpes, numerados de 25 a 48, Figura 4.22. Foram anotadas todas as leituras do equipamento para cada golpe aplicado e elaboradas as planilhas de cálculo das massas, dos volumes e respectivas MEAS dos corpos de prova, cujos resultados e sequência do processo encontram-se nas Tabelas 4.24 (6 golpes) e 4.25 (7 golpes).

Figura 4.22 - Corpos de prova de 1 a 48, moldados em equipamento Mini-MCV, mistura M4 umidade ótima.



Fonte: Autor.

Os corpos de prova depois de 6 horas foram submetidos à cura através da imersão em água, sendo que permaneceram nos recipientes por 28 dias, de onde foram retirados para realização dos ensaios de absorção de água conforme ABNT NBR 10836:2013 e balança hidrostática, conforme resultados constantes das Tabela 4.24 (6 golpes) e 4.25(7golpes).

OBS. Os modelos das Tabelas 4.24 e 4.25 referem-se ao processo de cálculo do procedimento Mini-MCV, do ensaio de balança hidrostática, do ensaio de absorção de água, que foram utilizados para determinação dos seguintes parâmetros principais: p_s = MEAS e absorção de água, e este tipo de Tabela foi também utilizado em todos os demais procedimentos de moldagem de corpos de prova das misturas subseqüentes e respectivos ensaios para determinação da MEAS e da absorção de água, cuja maioria encontra-se inserida no Apêndice C.

Tabela 4.24 - Mini-MCV; balança hidrostática, absorção, dos corpos de prova de solo + ART + cimento de 1 a 24 moldados com a mistura M4, 6 golpes, água 21,63 %

Dados	Corpo de prova							
	1	2	3	4	5	6	7	8
La	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
ka	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00
Massa inicial de solo (g)	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00
Umidade adicionada (%)	21,63	21,63	21,63	21,63	21,63	21,63	21,63	21,63
leitura golpe 1 (mm)	28,21	27,43	28,27	28,57	29,34	29,34	28,58	26,44
leitura golpe 2 (mm)	24,69	24,40	24,84	25,39	25,83	25,83	25,07	23,28
leitura golpe 3 (mm)	23,01	22,91	23,24	23,76	24,25	24,32	23,46	21,80
leitura golpe 4 (mm)	21,92	21,93	22,14	22,70	23,16	23,25	22,34	20,81
leitura golpe 5 (mm)	21,05	21,19	21,39	21,92	22,23	22,34	21,46	20,10
leitura golpe 6 (mm)	20,32	20,60	20,66	21,33	21,47	21,68	20,88	19,62
Hc1 (mm) calculado	58,21	57,43	58,27	58,57	59,34	59,34	58,58	56,44
Hc2 (mm) calculado	54,69	54,40	54,84	55,39	55,83	55,83	55,07	53,28
Hc3 (mm) calculado	53,01	52,91	53,24	53,76	54,25	54,32	53,46	51,80
Hc4 (mm) calculado	51,92	51,93	52,14	52,70	53,16	53,25	52,34	50,81
Hc5 (mm) calculado	51,05	51,19	51,39	51,92	52,23	52,34	51,46	50,10
Hc6 (mm) calculado	50,32	50,60	50,66	51,33	51,47	51,68	50,88	49,62
Volume CP (cm³)	98,80	99,35	99,47	100,79	101,06	101,47	99,90	97,43
Massa solo + molde (g)	1049,84	1059,35	1039,08	1077,15	1056,82	1066,92	1059,18	1049,83
Tara molde (g)	849,68	859,62	839,32	876,70	859,99	866,84	859,62	849,68
Massa final de solo(g)	200,16	199,73	199,76	200,45	196,83	200,08	199,56	200,15
ps1 (g/cm³)	1,44	1,46	1,44	1,43	1,41	1,41	1,43	1,48
ps2 (g/cm³)	1,53	1,54	1,53	1,51	1,50	1,50	1,52	1,57
ps3 (g/cm³)	1,58	1,58	1,57	1,56	1,54	1,54	1,57	1,62
ps4 (g/cm³)	1,61	1,61	1,61	1,59	1,58	1,57	1,60	1,65
ps5 (g/cm³)	1,64	1,64	1,63	1,61	1,60	1,60	1,63	1,67
ps6 (g/cm³)	1,67	1,65	1,65	1,64	1,60	1,62	1,64	1,69
MEAU (g/cm³)	2,03	2,01	2,01	1,99	1,95	1,97	2,00	2,05
MEAS (g/cm³)	1,67	1,65	1,65	1,64	1,60	1,62	1,64	1,69
Balança hidrostática	Massa saturada (g)	...	...	203,70	...	...	204,30	...
	Massa seca (g)	...	...	165,37	...	...	165,46	...
	Massa imersa (g)	...	...	102,60	...	...	102,07	...
	Volume (cm³)	...	...	101,10	...	...	102,23	...
	MEAS² (g/cm³)	...	...	1,64	...	...	1,62	...
Absorção	Massa úmida (g)	...	...	200,46	...	...	201,35	...
	Massa seca (g)	...	...	165,37	...	...	165,46	...
	Massa água (g)	...	...	35,09	...	...	35,89	...
	Absorção água (%)	...	...	21,22	...	...	21,69	...

(continua)

Dados		Corpo de prova							
		9	10	11	12	13	14	15	16
La		20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
Ka		30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00
Massa inicial de solo (g)		200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00
Umidade adicionada (%)		21,63	21,63	21,63	21,63	21,63	21,63	21,63	21,63
leitura golpe 1 (mm)		27,94	30,15	29,74	31,08	28,80	30,83	31,32	31,10
leitura golpe 2 (mm)		25,24	26,36	25,98	25,80	25,20	26,55	27,32	26,76
leitura golpe 3 (mm)		23,55	24,68	24,23	24,98	23,53	24,70	25,70	25,06
leitura golpe 4 (mm)		22,43	23,53	23,10	23,84	22,40	23,52	24,47	23,70
leitura golpe 5 (mm)		21,61	22,62	22,42	22,87	21,48	22,57	23,44	22,67
leitura golpe 6 (mm)		20,90	21,77	21,75	22,11	20,70	21,83	22,82	21,91
Hc1 (mm) calculado		57,94	60,15	59,74	61,08	58,80	60,83	61,32	61,10
Hc2 (mm) calculado		55,24	56,36	55,98	55,80	55,20	56,55	57,32	56,76
Hc3 (mm) calculado		53,55	54,68	54,23	54,98	53,53	54,70	55,70	55,06
Hc4 (mm) calculado		52,43	53,53	53,10	53,84	52,40	53,52	54,47	53,70
Hc5 (mm) calculado		51,61	52,62	52,42	52,87	51,48	52,57	53,44	52,67
Hc6 (mm) calculado		50,90	51,77	51,75	52,11	50,70	51,83	52,82	51,91
Volume CP (cm³)		99,94	101,65	101,61	102,32	99,55	101,77	103,71	101,93
Massa solo + molde (g)		1040,33	1067,59	1077,32	1057,12	1038,88	1067,04	1076,78	1048,77
Tara molde (g)		839,32	866,84	876,70	859,99	839,32	866,84	876,70	849,68
Massa final de solo(g)		201,01	200,75	200,62	197,13	199,56	200,20	200,08	199,09
ps1 (g/cm³)		1,45	1,39	1,40	1,37	1,42	1,38	1,37	1,37
ps2 (g/cm³)		1,52	1,49	1,50	1,50	1,52	1,48	1,46	1,48
ps3 (g/cm³)		1,56	1,53	1,54	1,52	1,56	1,53	1,50	1,52
ps4 (g/cm³)		1,60	1,56	1,58	1,56	1,60	1,56	1,54	1,56
ps5 (g/cm³)		1,62	1,59	1,60	1,58	1,63	1,59	1,57	1,59
ps6 (g/cm³)		1,65	1,62	1,62	1,58	1,65	1,62	1,59	1,61
MEAU (g/cm³)		2,01	1,97	1,97	1,93	2,00	1,97	1,93	1,95
MEAS (g/cm³)		1,65	1,62	1,62	1,58	1,65	1,62	1,59	1,61
Balança hidrostática	Massa saturada (g)	203,66	...	...	203,49	...	...	205,49	...
	Massa seca (g)	166,12	...	...	165,37	...	...	165,41	...
	Massa imersa (g)	102,56	...	...	102,10	...	...	102,07	...
	Volume (cm³)	101,10	...	...	101,39	...	...	103,42	...
	MEAS² (g/cm³)	1,64	...	...	1,63	...	...	1,60	...
Absorção	Massa úmida (g)	201,09	...	...	200,79	...	...	202,48	...
	Massa seca (g)	166,12	...	...	165,37	...	...	165,41	...
	Massa água (g)	34,97	...	...	35,42	...	...	37,07	...
	Absorção água (%)	21,05	...	...	21,42	...	...	22,41	...

(continuação)

Dados		Corpo de prova							
		17	18	19	20	21	22	23	24
La		20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
Ka		30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00
Massa inicial de solo (g)		200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00
Umidade adicionada (%)		21,63	21,63	21,63	21,63	21,63	21,63	21,63	21,63
leitura golpe 1 (mm)		28,66	30,16	31,87	31,02	32,26	31,65	32,90	33,34
leitura golpe 2 (mm)		25,67	26,56	27,83	26,69	28,13	27,72	28,57	28,50
leitura golpe 3 (mm)		24,23	25,08	25,95	25,05	26,37	25,93	26,72	26,64
leitura golpe 4 (mm)		23,30	23,88	24,71	23,76	25,14	24,67	25,47	25,21
leitura golpe 5 (mm)		22,37	22,99	23,60	22,84	24,12	23,78	24,58	24,25
leitura golpe 6 (mm)		21,48	22,24	22,84	22,16	23,45	23,02	23,74	23,48
Hc1 (mm) calculado		58,66	60,16	61,87	61,02	62,26	61,65	62,90	63,34
Hc2 (mm) calculado		55,67	56,56	57,83	56,69	58,13	57,72	58,57	58,50
Hc3 (mm) calculado		54,23	55,08	55,95	55,05	56,37	55,93	56,72	56,64
Hc4 (mm) calculado		53,30	53,88	54,71	53,76	55,14	54,67	55,47	55,21
Hc5 (mm) calculado		52,37	52,99	53,60	52,84	54,12	53,78	54,58	54,25
Hc6 (mm) calculado		51,48	52,24	52,84	52,16	53,45	53,02	53,74	53,48
Volume CP (cm³)		101,08	102,57	103,75	102,42	104,95	104,10	105,52	105,01
Massa solo + molde (g)		1059,26	1056,65	1050,06	1038,48	1076,87	1056,67	1067,08	1059,30
Tara molde (g)		859,62	859,99	849,68	839,32	876,70	859,99	866,84	859,62
Massa final de solo(g)		199,64	196,66	200,38	199,16	200,17	196,68	200,24	199,68
ps1 (g/cm³)		1,43	1,39	1,35	1,37	1,35	1,36	1,33	1,32
ps2 (g/cm³)		1,50	1,48	1,45	1,48	1,44	1,45	1,43	1,43
ps3 (g/cm³)		1,54	1,52	1,50	1,52	1,49	1,50	1,48	1,48
ps4 (g/cm³)		1,57	1,55	1,53	1,56	1,52	1,53	1,51	1,52
ps5 (g/cm³)		1,60	1,58	1,56	1,58	1,55	1,56	1,53	1,54
ps6 (g/cm³)		1,62	1,58	1,59	1,60	1,57	1,55	1,56	1,56
MEAU (g/cm³)		1,98	1,92	1,93	1,94	1,91	1,89	1,90	1,90
MEAS (g/cm³)		1,62	1,58	1,59	1,60	1,57	1,55	1,56	1,56
ps média CPs 1 a 24 (g/cm³)		1,61							
Maior ps CPs 1 a 24 (g/cm³)		1,69							
Menor ps 1 a 24 (g/cm³)		1,55							
Variação ps 1 a 24 (g/cm³)		0,04							
Balança hidrostática	Massa saturada (g)		205,3			207,09			207,88
	Massa seca (g)		165,06			164,99			165,06
	Massa imersa (g)		101,96			101,86			101,91
	Volume (cm³)		103,34			105,23			105,97
	MEAS² (g/cm³)		1,60			1,57			1,56
psbh média (g/cm³)		1,61							
Maior psbh (g/cm³)		1,64							
Menor psbh (g/cm³)		1,56							
Variação psbh (g/cm³)		0,08							
Absorção	Massa úmida (g)	...	202,61	...	...	203,73	...	...	204,30
	Massa seca (g)	...	165,06	...	...	164,99	...	...	165,06
	Massa água (g)	...	37,55	...	...	38,74	...	...	39,24
	Absorção água (%)	...	22,75	...	...	23,48	...	...	23,77
Absorção média (%)		22,22							
Maior absorção (%)		23,77							

(conclusão)

Fonte: Autor.

Tabela 4.25 - Mini-MCV; balança hidrostática, absorção, dos corpos de prova de solo + ART + cimento de 24 a 48 moldados com a mistura M4, 7 golpes, água 21,63 %

Dados	Corpo de prova							
	25	26	27	28	29	30	31	32
La	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
Ka	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00
Massa inicial de solo (g)	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00
Umidade adicionada (%)	21,63	21,63	21,63	21,63	21,63	21,63	21,63	21,63
leitura golpe 1 (mm)	29,61	29,61	30,75	29,25	29,18	30,36	29,82	28,82
leitura golpe 2 (mm)	25,74	26,13	26,87	25,95	25,37	26,61	25,82	25,31
leitura golpe 3 (mm)	24,29	24,50	25,09	24,34	23,76	24,93	24,01	23,64
leitura golpe 4 (mm)	23,19	23,4	23,95	23,14	22,62	23,72	23,1	22,43
leitura golpe 5 (mm)	22,25	22,45	23,03	22,29	21,64	22,8	22,35	21,54
leitura golpe 6 (mm)	21,37	21,77	22,25	21,57	20,99	22,06	21,66	20,87
leitura golpe 7 (mm)	20,86	21,11	21,67	21,00	20,35	21,33	21,07	20,04
Hc1 (mm) calculado	59,61	59,61	60,75	59,25	59,18	60,36	59,82	58,82
Hc2 (mm) calculado	55,74	56,13	56,87	55,95	55,37	56,61	55,82	55,31
Hc3 (mm) calculado	54,29	54,50	55,09	54,34	53,76	54,93	54,01	53,64
Hc4 (mm) calculado	53,19	53,40	53,95	53,14	52,62	53,72	53,10	52,43
Hc5 (mm) calculado	52,25	52,45	53,03	52,29	51,64	52,80	52,35	51,54
Hc6 (mm) calculado	51,37	51,77	52,25	51,57	50,99	52,06	51,66	50,87
Hc7 (mm) calculado	50,86	51,11	51,67	51,00	50,35	51,33	51,07	50,04
Volume CP (cm³)	99,86	100,35	101,45	100,14	98,86	100,79	100,28	98,25
Massa solo + molde (g)	1066,99	1049,59	1077,01	1059,18	1038,36	1056,36	1045,90	1055,37
Tara molde (g)	866,84	849,68	876,70	859,62	839,32	859,99	849,68	859,62
Massa final de solo(g)	200,15	199,91	200,31	199,56	199,04	196,37	196,22	195,75
ρs1 (g/cm³)	1,40	1,40	1,38	1,41	1,42	1,39	1,40	1,42
ρs2 (g/cm³)	1,50	1,49	1,47	1,50	1,51	1,48	1,50	1,51
ρs3 (g/cm³)	1,54	1,54	1,52	1,54	1,56	1,52	1,55	1,56
ρs4 (g/cm³)	1,57	1,57	1,55	1,58	1,59	1,56	1,58	1,60
ρs5 (g/cm³)	1,60	1,60	1,58	1,60	1,62	1,59	1,60	1,62
ρs6 (g/cm³)	1,63	1,62	1,60	1,62	1,64	1,61	1,62	1,65
ρs7 (g/cm³)	1,65	1,64	1,62	1,64	1,66	1,60	1,61	1,64
MEAU (g/cm³)	2,00	1,99	1,97	1,99	2,01	1,95	1,96	1,99
MEAS (g/cm³)	1,65	1,64	1,62	1,64	1,66	1,60	1,61	1,64
Balança hidrostática	Massa saturada (g)	...	...	204,80	...	...	204,17	...
	Massa seca (g)	...	...	166,04	...	...	165,30	...
	Massa imersa (g)	...	...	102,17	...	...	102,26	...
	Volume (cm³)	...	...	102,63	...	...	101,91	...
	MEAS² (g/cm³)	...	...	1,62	...	...	1,62	...
Absorção	Massa úmida (g)	...	...	201,67	...	...	200,83	...
	Massa seca (g)	...	...	166,04	...	...	165,30	...
	Massa água (g)	...	...	35,63	...	...	35,53	...
	Absorção de água (%)	...	...	21,46	...	...	21,49	...

(continua)

Dados	Corpo de prova							
	33	34	35	36	37	38	39	40
La	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
Ka	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00
Massa inicial de solo (g)	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00
Umidade adicionada (%)	21,63	21,63	21,63	21,63	21,63	21,63	21,63	21,63
leitura golpe 1 (mm)	30,07	29,58	29,83	28,74	28,73	29,65	30,31	29,09
leitura golpe 2 (mm)	26,01	25,97	26,39	25,21	25,21	25,95	26,46	26,00
leitura golpe 3 (mm)	24,27	24,33	24,82	23,68	23,59	24,55	24,69	24,50
leitura golpe 4 (mm)	23,04	23,21	23,71	22,51	22,14	23,19	23,52	23,48
leitura golpe 5 (mm)	22,08	22,37	22,79	21,64	21,2	22,26	22,63	22,66
leitura golpe 6 (mm)	21,4	21,55	22,14	20,93	20,57	21,51	21,90	22,01
leitura golpe 7 (mm)	20,78	21,09	21,49	20,33	20,01	20,01	21,30	21,43
Hc1 (mm) calculado	60,07	59,58	59,83	58,74	58,73	59,65	60,31	59,09
Hc2 (mm) calculado	56,01	55,97	56,39	55,21	55,21	55,95	56,46	56,00
Hc3 (mm) calculado	54,27	54,33	54,82	53,68	53,59	54,55	54,69	54,50
Hc4 (mm) calculado	53,04	53,21	53,71	52,51	52,14	53,19	53,52	53,48
Hc5 (mm) calculado	52,08	52,37	52,79	51,64	51,20	52,26	52,63	52,66
Hc6 (mm) calculado	51,40	51,55	52,14	50,93	50,57	51,51	51,90	52,01
Hc7 (mm) calculado	50,78	51,09	51,49	50,33	50,01	50,01	51,30	51,43
Volume CP (cm³)	99,71	100,32	101,10	98,82	98,19	98,19	100,73	100,98
Massa solo + molde (g)	1053,15	1073,10	1063,73	1035,15	1037,26	1037,26	1066,92	1059,47
Tara molde (g)	859,99	876,70	866,84	839,32	839,32	839,32	866,84	859,62
Massa final de solo(g)	193,16	196,40	196,89	195,83	197,94	197,94	200,08	199,85
ps1 (g/cm³)	1,39	1,41	1,40	1,43	1,43	1,40	1,39	1,42
ps2 (g/cm³)	1,50	1,50	1,49	1,52	1,52	1,50	1,48	1,50
ps3 (g/cm³)	1,54	1,54	1,53	1,56	1,56	1,54	1,53	1,54
ps4 (g/cm³)	1,58	1,57	1,56	1,59	1,61	1,57	1,56	1,57
ps5 (g/cm³)	1,61	1,60	1,59	1,62	1,64	1,60	1,59	1,59
ps6 (g/cm³)	1,63	1,62	1,61	1,64	1,66	1,63	1,61	1,61
ps7 (g/cm³)	1,59	1,61	1,60	1,63	1,66	1,66	1,63	1,63
MEAU (g/cm³)	1,94	1,96	1,95	1,98	2,02	2,02	1,99	1,98
MEAS (g/cm³)	1,59	1,61	1,60	1,63	1,66	1,66	1,63	1,63
Balança hidrostática	Massa saturada (g)	202,94	...	...	203,3	...	...	203,24
	Massa seca (g)	165,38	...	...	165,36	...	...	165,18
	Massa imersa (g)	101,72	...	...	102,23	...	...	101,88
	Volume (cm³)	101,22	...	...	101,07	...	...	101,36
	MEAS² (g/cm³)	1,63	...	...	1,64	...	...	1,63
Absorção	Massa úmida (g)	199,96	...	...	200,73	...	...	200,61
	Massa seca (g)	165,38	...	...	165,36	...	...	165,18
	Massa água (g)	34,58	...	...	35,37	...	...	35,43
	Absorção água (%)	20,91	...	...	21,39	...	...	21,45

(continua)

Dados		Corpo de prova							
		41	42	43	44	45	46	47	48
La		20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
Ka		30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00
Massa inicial de solo (g)		200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00
Umidade adicionada (%)		21,63	21,63	21,63	21,63	21,63	21,63	21,63	21,63
leitura golpe 1 (mm)		30,98	30,54	27,04	26,37	28,86	27,95	28,96	29,04
leitura golpe 2 (mm)		26,99	26,79	24,13	23,69	25,21	24,57	25,31	25,08
leitura golpe 3 (mm)		25,28	25,08	22,78	22,25	23,37	22,95	23,61	23,50
leitura golpe 4 (mm)		24,08	23,83	21,74	21,27	22,30	21,90	22,55	22,40
leitura golpe 5 (mm)		23,11	23,04	20,97	20,50	21,45	21,07	21,72	21,51
leitura golpe 6 (mm)		22,26	22,28	20,54	19,91	20,86	20,45	21,05	20,84
leitura golpe 7 (mm)		21,58	21,77	20,07	19,50	20,37	19,99	20,51	20,30
Hc1 (mm) calculado		60,98	60,54	57,04	56,37	58,86	57,95	58,96	59,04
Hc2 (mm) calculado		56,99	56,79	54,13	53,69	55,21	54,57	55,31	55,08
Hc3 (mm) calculado		55,28	55,08	52,78	52,25	53,37	52,95	53,61	53,50
Hc4 (mm) calculado		54,08	53,83	51,74	51,27	52,30	51,90	52,55	52,40
Hc5 (mm) calculado		53,11	53,04	50,97	50,50	51,45	51,07	51,72	51,51
Hc6 (mm) calculado		52,26	52,28	50,54	49,91	50,86	50,45	51,05	50,84
Hc7 (mm) calculado		51,58	51,77	50,07	49,50	50,37	49,99	50,51	50,30
Volume CP (cm³)		101,28	101,65	98,31	97,19	98,90	98,16	99,18	98,76
Massa solo + molde (g)		1076,86	1056,49	1076,86	1036,67	1065,91	1059,46	1049,68	1056,55
Tara molde (g)		876,70	859,99	876,70	839,32	866,84	859,62	849,68	859,99
Massa final de solo(g)		200,16	196,50	200,16	197,35	199,07	199,84	200,00	196,56
ps1 (g/cm³)		1,37	1,38	1,47	1,49	1,42	1,45	1,42	1,42
ps2 (g/cm³)		1,47	1,47	1,55	1,56	1,52	1,53	1,51	1,52
ps3 (g/cm³)		1,51	1,52	1,59	1,60	1,57	1,58	1,56	1,57
ps4 (g/cm³)		1,55	1,56	1,62	1,63	1,60	1,61	1,59	1,60
ps5 (g/cm³)		1,58	1,58	1,64	1,66	1,63	1,64	1,62	1,63
ps6 (g/cm³)		1,60	1,60	1,66	1,68	1,65	1,66	1,64	1,65
ps7 (g/cm³)		1,62	1,59	1,67	1,67	1,65	1,67	1,66	1,64
MEAU (g/cm³)		1,98	1,93	2,04	2,03	2,01	2,04	2,02	1,99
MEAS (g/cm³)		1,62	1,59	1,67	1,67	1,65	1,67	1,66	1,64
ps média CPs 1 a 24 (g/cm³)		1,63							
Maior ps CPs 1 a 24 (g/cm³)		1,67							
Menor ps 1 a 24 (g/cm³)		1,59							
Variação ps 1 a 24 (g/cm³)		0,08							
Balança hidrostática	Massa saturada (g)	...	204,47	...	...	200,36	...	...	201,15
	Massa seca (g)	...	165,14	...	...	164,11	...	...	164,53
	Massa imersa (g)	...	101,94	...	...	100,85	...	...	101,7
	Volume (cm³)	...	102,53	...	...	99,51	...	...	99,45
	MEAS² (g/cm³)	...	1,61	...	...	1,65	...	...	1,65
psbh média (g/cm³)		1,63							
Maior psbh (g/cm³)		1,65							
Menor psbh (g/cm³)		1,61							
Variação psbh (g/cm³)		0,04							
Absorção	Massa úmida (g)	...	201,53	...	...	197,93	...	...	198,85
	Massa seca (g)	...	165,14	...	...	164,11	...	...	164,53
	Massa água (g)	...	36,39	...	...	33,82	...	...	34,32
	Absorção água (%)	...	22,04	...	...	20,61	...	...	20,86
Absorção média (%)		21,28							
Maior absorção (%)		22,04							

(conclusão)

Fonte: Autor.

Após a cura dos 7 dias os corpos de prova foram submetidos ao ensaio de compressão simples até a ruptura, conforme resultados constantes das Tabelas 4.26 (6 golpes) e 4.27 (7 golpes) e aos 28 dias, Tabelas 4.28 (6 golpes) e 4.29 (7 golpes).

Tabela 4.26 - Resistência à compressão aos 7 dias dos corpos de prova mistura M4, 6 golpes umidade ótima 21,63 %

Características	Corpos de Prova Cilíndricos							
	2	5	8	11	14	17	20	23
Diâmetro médio (mm)	50	50	50	50	50	50	50	50
Área seção transversal (mm²)	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50
Força máxima (N)	6.070,60	5.342,60	8.879,80	3.776,70	3.279,30	3.960,90	3.316,10	1.492,23
Resistência compressão simples (MPa)	3,09	2,72	4,52	1,92	1,67	2,02	1,69	0,76
Resistência média à compressão simples aos 7 dias (MPa)								2,30
Menor resistência à compressão simples aos 7 dias (MPa)								0,76

Fonte: Autor.

Tabela 4.27 - Resistência à compressão aos 7 dias dos corpos de prova mistura M4, 7 golpes umidade ótima 21,63 %

Características	Corpos de Prova Cilíndricos							
	25	28	31	34	37	40	43	46
Diâmetro médio (mm)	50	50	50	50	50	50	50	50
Área seção transversal (mm²)	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50
Força máxima (N)	6.890,20	6.429,60	6.282,20	3.905,70	6.429,60	5.029,40	7.645,50	6.853,30
Resistência compressão simples (MPa)	3,51	3,27	3,20	1,99	3,27	2,56	3,89	3,49
Resistência média à compressão simples aos 7 dias (MPa)								3,15
Menor resistência à compressão simples aos 7 dias (MPa)								1,99

Fonte: Autor.

Tabela 4.28 - Resistência à compressão aos 28 dias dos corpos de prova mistura M4, 6 golpes umidade ótima 21,63 %

Características	Corpos de Prova Cilíndricos							
	1	4	7	10	13	16	19	22
Diâmetro médio (mm)	50	50	50	50	50	50	50	50
Área seção transversal (mm²)	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50
Força máxima (N)	7.958,70	6.484,90	7.571,80	6.024,30	7.903,40	4.900,50	4.605,70	4.089,90
Resistência compressão simples (MPa)	4,05	3,30	3,86	3,07	4,03	2,50	2,35	2,08
Resistência média à compressão simples aos 28 dias (MPa)								3,15
Menor resistência à compressão simples aos 28 dias (MPa)								2,08

Fonte: Autor.

Tabela 4.29 - Resistência à compressão aos 28 dias dos corpos de prova mistura M4, 7 golpes umidade ótima 21,63 %

Características	Corpos de Prova Cilíndricos							
	26	29	32	35	38	41	44	47
Diâmetro médio (mm)	50	50	50	50	50	50	50	50
Área seção transversal (mm ²)	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50
Força máxima (N)	6.761,20	6.687,50	7.848,20	6.226,90	4.071,50	6.190,10	8.327,10	6.595,40
Resistência compressão simples (MPa)	3,44	3,41	4,00	3,17	2,07	3,15	4,24	3,36
Resistência média à compressão simples aos 28 dias (MPa)								3,36
Menor resistência à compressão simples aos 28 dias (MPa)								2,07

Fonte: Autor.

OBS. Os modelos das Tabelas 4.26 à 4.29 referem-se ao processo de cálculo das resistências à compressão simples médias e mínimas, que foi utilizado e será repetido para todos os corpos de prova das misturas subsequentes, cuja maioria encontra-se inserida no apêndice D.

Em análise às Tabelas 4.28 e 4.29, verificou-se que a resistência média a compressão simples aos 28 dias, atende aos padrões normativos do item 5.2 da ABNT NBR 10834:2012, sendo 3,15 MPa para compactação com 6 golpes e 3,36 MPa para compactação com 7 golpes, valores maiores do que 2,00 MPa. Quanto ao atendimento ao parâmetro da menor resistência, a compactação com 6 golpes, atendeu, com resistência de 2,08 MPa, e a compactação com 7 golpes atendeu com 2,07 MPa, todas acima do mínimo normativo de 1,7 MPa.

Quanto ao atendimento ao item 5.3, absorção de água, não foi possível, tanto quanto à compactação com 6 golpes quanto com 7 golpes, cujos valores médios foram 22,22 % e 21,28 % respectivamente, maiores do que o valor médio de 20% preconizados pela norma. Quanto ao valor máximo individual admitido pela norma, de 22%, também não foi atendido, pois os maiores valores foram 23,77 % para compactação com 6 golpes e 22,04 para 7 golpes.

Reportando-se à análise acima se confirma que de 6 para 7 golpes, a compactação aumentou, e consequentemente aumentaram a resistência média à compressão e diminuiu a absorção de água.

4.7 BLOCOS VAZADOS DA MISTURA M4

Os blocos vazados foram fabricados com a mistura M4, em dois lotes, em dois dias, espaçados de uma semana, sendo que o primeiro lote de 27 blocos vazados aproveitáveis (parte deles apresentados na Figura 4.23), foi produzido com o solo, peneirado na peneira industrial malha 2 mm existente na fábrica da ONG Ação Moradia e com o ART peneirado na peneira com abertura de malha 2 mm do laboratório de materiais e técnicas de construção civil da FECIV. Utilizou-se para isto os mesmos equipamentos que foram empregados na fabricação dos blocos vazados de solo cimento. As dimensões nominais dos blocos vazados foram as determinadas pela matriz da prensa, ou seja: 25,0 cm de comprimento, 12,5 cm de largura e 7 cm de altura.

Figura 4.23 – Parte dos blocos vazados fabricados do 1º lote



Fonte: Autor.

Inicialmente, os materiais, solo e ART, foram secos em estufa até atingir massa constante. O cimento adicionado foi o retirado diretamente dos sacos lacrados, novo, teoricamente sem umidade, tipo CP IV 40 RS, SUPER, secagem rápida, marca Liz, resistente a sulfatos.

Para a produção do 1º lote de blocos vazados foi utilizada a proporção em massa calculada para a mistura M4 (36,7137 % de solo + 63,2863 % de ART ou seja 1:1,7238, m/m) e preparadas 98.230,45 gramas de mistura (ART + solo + cimento), suficientes para a confecção dos 27 blocos vazados e mais aqueles necessários para os testes iniciais de umidade. A mistura seca inicialmente foi colocada em uma masseira de chapa metálica do laboratório de materiais e técnicas de construção civil e misturada com enxada, a seco até adquirir coloração uniforme. Em seguida a mistura seca foi transportada em tambores lacrados para a fábrica da Ação Moradia. Utilizou-se então uma betoneira da fábrica para o amassamento, sendo então adicionada à mistura seca água na proporção de 20 %, para um primeiro teste, percentagem esta menor do que a umidade ótima calculada em 21,63 %, previamente determinada em laboratório para a mistura M4. Os materiais foram misturados até atingir coloração uniforme e homogeneidade.

A mistura M4 convertida em relação de volumes calculada utilizando-se as massas unitárias calculadas neste estudo foi definida como 1: 2,20:4,05 (cimento, solo, ART).

A umidade de 20 % da mistura preparada na betoneira foi avaliada através do hand test, e considerada como satisfatória para a confecção dos blocos vazados.

Foi testada inicialmente a confecção de um bloco vazado com esta mistura, sendo que como era a primeira vez que a funcionária da fábrica trabalhava com uma mistura que não fosse apenas solo + cimento, teve dificuldade em transportar manualmente o bloco vazado após a moldagem, para a mesa em ardósia, que serve de depósito inicial do mesmo, fazendo com que o mesmo apresentasse deformações e se rompesse, ou se rompesse logo na retirada do molde da prensa. Depois de mais dois testes a funcionária conseguir acertar a forma de manusear o bloco vazado e conseguiu-se então produzir os 27 blocos vazados. Observou-se que com esta umidade, o local onde estavam sendo depositados os blocos vazados, ou seja, a mesa de ardósia ficava um pouco úmida, indicando que a umidade de 20 % estava acima daquela necessária para se moldar os blocos vazados na prensa hidráulica, bem como alguns deles tiveram de retornar a prensa para serem moldados novamente, pois apresentaram defeitos ou altura excessiva.

Esta mesma observação também foi feita no trabalho de Lima (2013, p.65), relatando que a primeira constatação feita na moldagem dos blocos foi que, em função do equipamento utilizado, o teor de umidade da mistura necessário para a obtenção de boa qualidade dos blocos é inferior ao teor de umidade ótima verificada no ensaio de compactação normal Proctor. Por exemplo, nas tentativas de se moldar blocos no traço SCR60, de umidade ótima fixada em 16,1% conforme teor obtido pelo ensaio de compactação, os blocos, embora apresentassem boa condição na moldagem, não permitiram sua manipulação durante a retirada do compartimento de moldagem da prensa: destorroavam-se ou quebravam-se facilmente.

Os blocos vazados do 1º lote, moldados inicialmente foram retirados da prensa e depositados em uma mesa de ardósia polida, em área coberta, para posteriormente serem retirados e colocados após no mínimo 6 horas em um reservatório de água de plástico, para proceder-se à cura, que foi feita durante os primeiros 7 dias na fábrica. Depois de 7 dias os blocos vazados foram transportados para o laboratório de materiais e técnicas de construção civil, sendo que 8 blocos vazados foram ensaiados à compressão simples aos 7 dias, com resultados satisfatórios, resistência média de 2,53 MPa e nenhum valor abaixo de 1,7 MPa, como mostra a Tabela 4.30, já atendendo às prescrições mínimas de resistência à compressão simples estabelecidas pelo item 5.2 da norma ABNT NBR 10834:2012.

Tabela 4.30 - Resistência à compressão do 1º lote de blocos vazados da mistura M4, aos 7 dias

Características	Blocos Vazados							
	2	3	4	5	6	7	8	9
Largura média (mm)	125,62	126,09	126,00	126,06	126,06	125,99	125,99	126,01
Comprimento médio (mm)	251,37	251,27	251,33	251,20	251,00	251,43	251,20	251,30
Área seção transversal (mm²)	31.577,10	31.682,63	31.667,58	31.666,27	31.641,06	31.677,67	31.648,69	31.666,31
Força máxima (N)	78.780	79.350	76.570	85.740	77.080	76.420	83.920	82.900
Resistência à compressão simples(MPa)	2,49	2,50	2,42	2,71	2,44	2,41	2,65	2,62
Resistência média à compressão simples aos 7 dias (MPa)								2,53
Menor resistência à compressão simples aos 7 dias (MPa)								2,41

Fonte: Autor.

O restante dos blocos vazados do 1º lote foi submetido à cura submersa até atingir os 28 dias por imersão em reservatório de água de cimento amianto, no laboratório de estruturas da FECIV.

Foram feitas as determinações das MEAS dos blocos vazados do 1º lote através da balança hidrostática e também o ensaio de absorção de água em 10 blocos vazados, cujos dados encontram-se na Tabela 4.31. A MEAS média foi de 1,56 g/cm³. A absorção de água média de 22,17 %, e a maior absorção foi 22,83 %, que não atenderam aos requisitos do item 5.3 da ABNT NBR 10834:2012, que especifica absorção de água média, menor ou igual a 20 % e nenhum valor individual acima de 22%.

Tabela 4.31 - Ensaio de balança hidrostática – MEAS e de absorção de água do 1º lote de blocos vazados da mistura M4

Bloco	Massa saturada (g)	Massa imersa (g)	Massa seca (g)	Massa úmida 24 hs (g)	Massa água (g)	Volume (cm³)	absorção (%)	MEAS (g/cm³)
01	3.499,48	1.704,60	2.817,04	3.444,82	627,78	1.794,88	22,29	1,57
14	3.511,65	1.718,70	2.781,56	3.407,52	625,96	1.792,95	22,50	1,55
20	3.538,14	1.734,65	2.818,04	3.437,06	619,02	1.803,49	21,97	1,56
21	3.503,65	1.716,18	2.781,11	3.397,66	616,55	1.787,47	22,17	1,56
22	3.522,63	1.725,54	2.846,47	3.448,25	601,78	1.797,09	21,14	1,58
23	3.495,04	1.702,64	2.797,61	3.420,06	622,45	1.792,40	22,25	1,56
24	3.455,21	1.671,75	2.746,46	3.373,48	627,02	1.783,46	22,83	1,54
25	3.460,22	1.677,75	2.755,91	3.366,15	610,24	1.782,47	22,14	1,55
26	3.519,66	1.725,70	2.805,39	3.424,45	619,06	1.793,96	22,07	1,56
27	3.481,17	1.697,88	2.757,89	3.374,15	616,26	1.783,29	22,35	1,55
Média	3.498,69	1.707,54	2.790,75	3.409,36	618,61	1.791,15	22,17	1,56
Maior absorção de água (%)								22,83

Fonte: Autor.

Determinou-se ainda as dimensões reais dos blocos vazados do 1º lote, que se encontram na Tabela B1 do Apêndice B, para consultas caso necessárias.

Os resultados dos ensaios de compressão e a determinação da força máxima aplicada nos blocos vazados do 1º lote aos 28 dias foram executados através de uma prensa EMIC, mostrada na Figura 4.24 e encontram-se demonstrados na Tabela 4.32, sendo que a resistência média à compressão foi de 3,60 MPa, e o menor valor foi de 3,26 MPa, acima de 1,7 MPa, atendendo às prescrições do item 5.2 da norma ABNT NBR 10834:2012.

Figura 4.24 - Ensaio de compressão aos 28 dias de um bloco vazado do 1º lote



Fonte: Autor.

Tabela 4.32 – Resistência à compressão aos 28 dias do 1º lote de blocos vazados da mistura M4

Características	Blocos Vazados								
	10	11	12	13	15	16	17	18	19
Largura média	126,11	126,12	126,1	126,05	126,04	126,05	126,11	126,35	126,04
Comprimento	250,83	250,57	250,87	251,27	251,1	251,07	251,17	251,27	250,9
Área seção	31.632,17	31.601,89	31.634,71	31.672,58	31.648,64	31.647,37	31.675,05	31.747,96	31.623,44
Força máxima (N)	111.570	103.540	113.410	120.840	121.780	103.190	118.500	120.780	113.040
Resist. à comp. simples (MPa)	3,53	3,28	3,58	3,82	3,85	3,26	3,74	3,80	3,57
Resistência média à compressão simples aos 28 dias (MPa)									3,60
Menor resistência à compressão simples aos 28 dias (MPa)									3,26

Fonte: Autor.

Como a aparência dos blocos vazados do 1º lote não foi satisfatória, para serem utilizados como blocos vazados aparentes, como mostram as Figuras 4.25 e 4.26, pois se verificou a existência de uma textura bem granulada, resolveu-se analisar o solo utilizado, e detectou-se que o mesmo, passado na peneira industrial, com abertura de malha 2 mm existente na fábrica tinha uma granulação um pouco diferente, ou seja mais grossa do que a do solo passado na peneira com abertura de malha 2 mm do laboratório. Decidiu-se portanto fabricar um 2º lote de blocos, com a mistura M4, com o solo peneirado com a peneira com abertura de malha 2,00 mm do laboratório de geotecnia da FECIV.

Figura 4.25 - Textura granulada dos blocos vazados secos do 1º lote



Fonte: Autor.

Figura 4.26 - Detalhe da textura granulada de um bloco vazado molhado do 1º lote



Fonte: Autor.

Depois de 7 dias da fabricação do primeiro lote de blocos vazados, fabricou-se o 2º lote com 32 blocos vazados, utilizando a mistura M4, com o solo, passado na peneira com abertura de malha 2 mm do laboratório de geotecnia da FECIV, utilizando-se o mesmo procedimento do 1º lote, mas empregando uma umidade de amassamento menor, devido à observação feita anteriormente em que a umidade nos parecia excessiva. Iniciou-se com

uma proporção de água de 17 %, mas a mistura apresentou-se seca, não atendendo ao Hand Test. Acrescentou-se mais 1 % de água, sendo ainda um pouco seca, mas satisfatório o Hand Test. Desta forma foram fabricados os novos blocos vazados, que apresentaram uma textura melhor do que os primeiros blocos vazados, podendo ser utilizados como aparentes, como mostra a Figura 4.27.

Figura 4.27 - 2º Lote de blocos vazados fabricados



Fonte: Autor.

Baseando-se nesta experiência verificou-se que a umidade ideal de fábrica está em torno de 19%, que deverá ser utilizada para as próximas etapas deste estudo.

Foram feitos procedimentos e ensaios iguais aos blocos vazados do 1º lote, sendo que os resultados para 13 blocos vazados foram: MEAS média 1,51 g/cm³ e a absorção média de água de 23,21 % e a maior 23,93 %, conforme Tabela 4.33. As absorções média e máxima de água não atenderam aos requisitos do item 5.3 da ABNT NBR 10.834:2012.

Tabela 4.33 - Ensaio de balança hidrostática – MEAS e de absorção de água do 2º lote de blocos vazados da mistura M4

BLO-CO	MASSA SATURADA (g)	MASSA IMERSA (g)	MASSA SECA (g)	MASSA ÚMIDA 24 hs (g)	MASSA ÁGUA (g)	VOLUME (cm³)	ABSORÇÃO (%)	MEAS (g/cm³)
BL21	3.374,68	1.586,04	2.697,32	3.315,86	618,54	1.788,64	22,93	1,51
BL22	3.332,40	1.550,60	2.656,59	3.292,30	635,71	1.781,80	23,93	1,49
BL23	3.353,03	1.568,37	2.683,70	3.319,09	635,39	1.784,66	23,68	1,50
BL24	3.398,40	1.603,84	2.722,88	3.354,52	631,64	1.794,56	23,20	1,52
BL25	3.395,89	1.602,92	2.706,57	3.331,50	624,93	1.792,97	23,09	1,51
BL26	3.426,06	1.630,19	2.713,66	3.343,02	629,36	1.795,87	23,19	1,51
BL27	3.433,67	1.631,77	2.734,20	3.353,69	619,49	1.801,90	22,66	1,52
BL28	3.411,76	1.628,88	2.682,42	3.312,10	629,68	1.782,88	23,47	1,50
BL29	3.335,05	1.559,35	2.643,74	3.261,52	617,78	1.775,70	23,37	1,49
BL30	3.322,48	1.549,18	2.645,30	3.268,54	623,24	1.773,30	23,56	1,49
BL31	3.404,25	1.613,21	2.700,39	3.333,40	633,01	1.791,04	23,44	1,51
BL32	3.443,40	1.640,80	2.768,25	3.373,43	605,18	1.802,60	21,86	1,54
BL33	3.384,48	1.596,56	2.708,54	3.340,09	631,55	1.787,92	23,32	1,51
Média	3.385,81	1.597,05	2.697,20	3.323,00	625,81	1.788,76	23,21	1,51
Maior absorção água (%)								23,93

Fonte: Autor.

Determinou-se ainda as dimensões reais dos blocos vazados do 2º lote, que se encontram na Tabela B2, do Apêndice B para consultas.

A média da resistência a compressão aos 7 dias para 10 blocos vazados foi de 1,87 MPa, sendo que há um valor abaixo de 1,7 MPa, conforme Tabela 4.34.

Tabela 4.34 - Resistência à compressão do 2º lote de blocos vazados da mistura M4, aos 7 dias

Características	Blocos Vazados									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Largura média (mm)	126,28	126,10	126,02	126,10	126,08	126,12	126,01	125,96	126,04	126,04
Comprimento médio (mm)	251,22	251,22	251,13	251,25	250,65	251,22	251,10	250,97	251,18	251,23
Área seção transversal (mm²)	31.724,06	31.678,84	31.647,40	31.682,63	31.601,95	31.683,87	31.641,11	31.612,18	31.658,73	31.665,03
Força máxima (N)	60.980	58.330	52.970	66.930	64.740	64.650	57060	50.500	55.490	60.300
Resist. compressão simples (MPa)	1,92	1,84	1,67	2,11	2,05	2,04	1,80	1,60	1,75	1,90
Resistência média à compressão simples aos 7 dias (MPa)										1,87
Menor resistência à compressão simples aos 7 dias (MPa)										1,60

Fonte: Autor.

A média da resistência a compressão simples aos 28 dias para 10 blocos vazados foi de 2,62 MPa, sendo que não há valores abaixo de 1,7 MPa, conforme Tabela 4.35, atendendo às prescrições do item 5.2 da ABNT NBR 10834:2012.

Tabela 4.35 - Resistência à compressão do 2º lote de blocos vazados da mistura M4, aos 28 dias

Características	Blocos Vazados									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Largura média (mm)	126,03	126,00	126,08	126,06	126,11	125,90	126,08	126,11	126,10	126,06
Comprimento médio (mm)	251,12	251,18	251,20	251,07	250,50	251,08	251,23	250,85	251,13	251,18
Área seção transversal (mm²)	31.648,65	31.648,68	31.671,30	31.649,88	31.590,56	31.610,97	31.675,08	31.634,69	31.667,49	31.663,75
Força máxima (N)	91.560	84.210	69.440	78.980	87.510	78.080	87.440	87.490	81.370	83.180
Resist. compressão simples (MPa)	2,89	2,66	2,19	2,50	2,77	2,47	2,76	2,77	2,57	2,63
Resistência média à compressão simples aos 28 dias (MPa)										2,62
Menor resistência à compressão simples aos 28 dias (MPa)										2,19

Fonte: Autor.

Constatou-se, que apesar da melhor aparência dos blocos vazados do 2º lote, Figura 4.27, que o valor de 3,60 MPa da resistência média à compressão simples aos 28 dias dos blocos vazados do 1º lote, foi 37,40 % maior do que o valor de 2,62 MPa da resistência dos blocos vazados do 2º lote, mas ainda assim atendeu plenamente a prescrição normativa.

Observou-se também, que a MEAS média de 1,56 g/cm³ dos blocos vazados do 1º lote foi maior 3,31% do que o valor de 1,51 g/cm³ do 2º lote e em consequência a absorção média de água do 2º lote cujo valor foi de 23,21 % aumentou numericamente em 1,04 % em relação ao valor médio de 22,17 % do 1º lote.

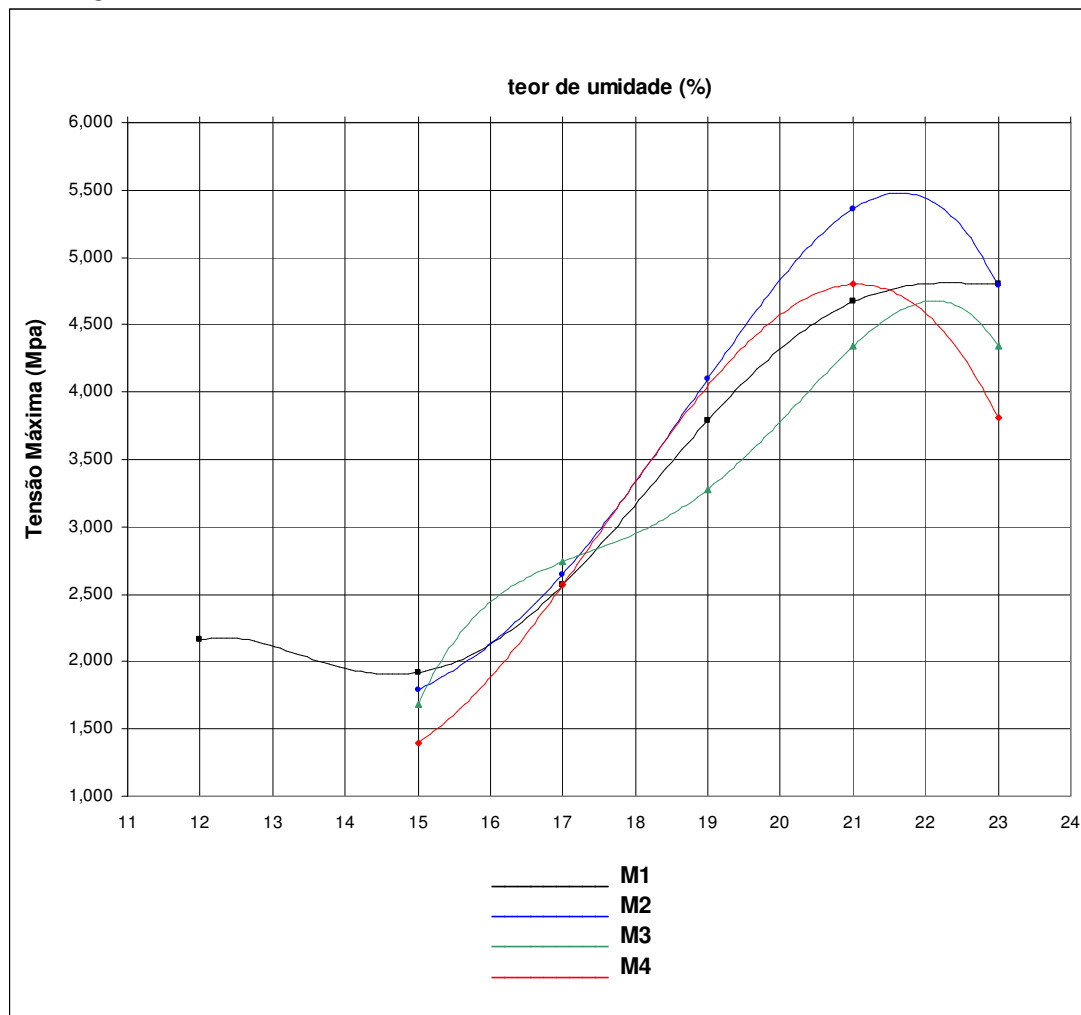
Os corpos de prova moldados no laboratório e os blocos vazados fabricados com a mistura M4 não atenderam ao item 5.3 da norma ABNT NBR 10834:2012 quanto à absorção de água, o que provavelmente foi devido à compactação, tanto de laboratório, como na fábrica, que não foi suficiente para que os mesmos atingissem a MEAS máxima calculada e desejada. No laboratório é possível uma melhor compactação aumentando-se o número de golpes aplicados através do equipamento Mini-MCV, mas na fábrica, a prensa existente tem uma compactação hidráulica máxima controlada, informada pelo fabricante, que é de 6 toneladas, havendo portanto necessidade de novos estudos de misturas que atendam aos requisitos normativos.

A eficiência da compactação está ligada a vários fatores, como no caso da fábrica que é através da prensa hidráulica que é do tipo estática e em laboratório feita com equipamento miniatura Mini-MCV que é dinâmica. A forma do molde exerce também influência no processo, pois o molde do equipamento Mini-MCV é de aço e cilíndrico e o da fábrica paralelepípedo, além do que no laboratório é feita uma lubrificação do molde com vaselina. A forma lamelar do ART também exerce influência na compactação dos grãos da mistura. Ficou então claro que há um efeito parede diferenciado em cada uma das situações, mas mesmo assim é possível uma comparação dos dois processos pela análise da MEAS.

4.8 NOVAS DOSAGENS DAS MISTURAS DE SOLO + CIMENTO + ART

Como os resultados de absorção de água não atenderam aos valores estabelecidos conforme item 5.3 da ABNT NBR 10834:2012 e que a umidade ideal da fábrica, em torno de 19 % estava abaixo da umidade ótima de 21,63 %, o que teoricamente prejudica a compactação ideal dos corpos de prova e dos blocos vazados, bem como resulta em valores menores para a MEAS, mais vazios entre os grãos e consequentemente uma maior absorção de água, verificou-se os resultados dos ensaios de tensão máxima dos corpos de prova moldados com as misturas iniciais M1, M2, M3 e M4 para obtenção das umidades ótimas, e através dos gráficos tensão máxima \times umidade, constantes da Figura 4.28, comparou-se as misturas, e com a umidade de 19 %, verificou-se no gráfico, que a mistura que poderia teoricamente produzir corpos de prova para atingir a maior tensão máxima seria a mistura M2, e que apresentava maior sensibilidade com a umidade, sendo necessário portanto verificar se esta mistura atenderia aos requisitos normativos de melhor forma do que a mistura M4.

Figura 4.28 - Tensão máxima × teor de umidade das misturas M1, M2, M3 e M4



Fonte: Autor.

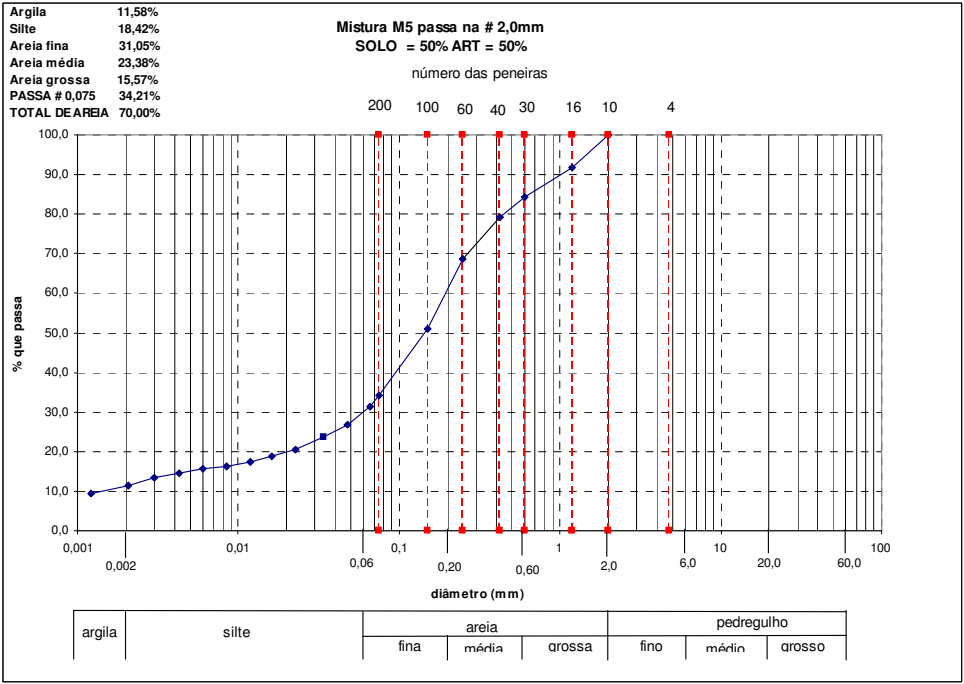
Além disso, foram estabelecidas, para estudo uma quinta mistura, aleatória, denominada de M5, com 50 % de ART e 50 % de solo, ambos em massa, sendo 19 % a umidade da mistura e 12,7 % o teor de cimento em massa sobre a mistura e uma sexta mistura, denominada de M6 semelhante a M4, alterando-se apenas a proporção do cimento, ou seja: na mistura M6 foi adicionado cimento na proporção de 12,7 % sobre a massa do solo e 15,075 % sobre a massa do ART.

O aumento da percentagem de cimento em relação ao ART, da mistura M6, foi proposto, tendo em vista que para a fabricação de blocos vazados de solo cimento, cuja massa seca média é observada neste estudo foi de 3.068,29 gramas, o consumo seria de 345,76 gramas de cimento ($= 3068,29 / 1,127 \times 12,7 \%$) e sendo que os blocos vazados de solo ART

cimento, mistura M4 do 1º lote alcançaram massa seca média de 2.790,75 gramas e do 2º lote, mistura M4 alcançaram massa seca média de 2.697,20 gramas, calculou-se o consumo de cimento para o bloco vazado de solo ART cimento, que resultou em 309,21 gramas $[(2.790,75+2.697,20)/2 \times 1,127 \times 12,7\%]$, ou seja 36,55 gramas a menos do que o consumo de cimento do bloco vazado de solo cimento. Esta percentagem em relação ao ART resultou em 15,075% de cimento sobre a massa do ART.

A curva granulométrica da nova mistura M5 encontra-se ilustrada na Figura 4.29, sendo que a da mistura M6 é igual à da mistura M4, já apresentada na Figura 4.19.

Figura 4.29 - Curva granulométrica da mistura solo + ART usando as proporções da mistura M5



Fonte: Autor.

Tabela 4.36 – Composição granulométrica e limites – solo, ART, M5 e M6

Material	Argila (%)	Silte (%)	Areia fina (%)	Areia média (%)	Areia grossa (%)	Passa ≠ 0,075 mm	Total de areia (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)
Solo	17,22	8,36	44,46	28,26	1,70	28,90	74,42	20,50	13,50	7,00
ART	4,74	28,42	18,42	19,02	29,40	39,50	66,84	41,00	36,00	5,00
M5 (solo + ART)	11,58	18,42	31,05	23,38	15,57	34,21	70,00	...	...	...
M6 (solo + ART)	9,47	21,58	26,84	22,81	19,30	35,63	68,95	...	...	...

Fonte: Autor.

Constatou-se pelas composições granulométricas da Tabela 4.36, que as novas misturas M5 e M6(derivada da M4) atendem as prescrições normativas do item 4.1.1 da ABNT NBR 10833:2012.

Foram também feitos novos ensaios com a mistura M4, mas com a umidade de 19 %, para comparações com as novas misturas e com as já estudadas, para verificarmos as tendências e correlações entre elas.

A compactação foi definida para o ensaio de Mini-MCV em sete golpes, para termos homogeneidade nas comparações dos ensaios.

4.9 CORPOS DE PROVA DAS MISTURAS M2, M4, M5, E M6

Foram preparadas 5300 gramas de cada mistura e moldados 24 corpos de prova de cada uma das misturas M2, M4, M5 e M6, com umidade da mistura de 19%, compactadas com equipamento Mini-MCV, com 7 golpes, sendo que os procedimentos e ensaios foram feitos da mesma forma que os corpos de prova da mistura M4 na umidade ótima. Foram anotadas todas as leituras do equipamento para cada golpe individual aplicado e elaboradas as planilhas de cálculo das massas, dos volumes e respectivas MEAS dos corpos de prova, cujos parâmetros e resultados encontram-se respectivamente nas Tabelas C1, C2, C3 e C4 do Apêndice C, para consultas, mas cujos principais resultados de interesse para análise encontram-se resumidos na Tabela 4.37

Os ensaios de balança hidrostática e de absorção de água foram realizados após a cura de 28 dias.

Nas Figuras 4.30 à 4.33 apresentam-se os corpos de prova de cada uma das misturas estudadas neste item.

Figura 4.30 - Corpos de prova moldados com a mistura M2



Fonte: Autor.

Figura 4.31 - Corpos de prova moldados com a mistura M4



Fonte: Autor.

Figura 4.32 - Corpos de prova moldados com a mistura M5



Fonte: Autor.

Figura 4.33 - Corpos de prova recém moldados com a mistura M6



Fonte: Autor.

Os corpos de prova das misturas M2, M4, M5 e M6, permaneceram, após no mínimo 6 horas depois de moldados, mergulhados na água até a data da realização dos ensaios de compressão simples aos 07 e 28 dias, que foi realizado, seguindo-se as prescrições da ABNT NBR 10836:2013, cujos parâmetros e resultados encontram-se respectivamente nas Tabelas de D1 à D8 do apêndice D, para consultas, mas cujos principais resultados de interesse para análise encontram-se resumidos na Tabela 4.37.

Após a análise dos resultados dos ensaios dos corpos de prova moldados com as misturas M2, M4, M5 e M6, constantes da Tabela 4.37, verificou-se que apenas as misturas M4 e M6 atenderam ao item 5.2 da norma ABNT NBR 10834:2012, quanto à resistência à compressão simples. Quanto ao item 5.3 da mesma norma que define a absorção média de água de 20 % e nenhum valor acima de 22 %, continua o não atendimento de nenhuma das misturas estudadas. Portanto, apesar da mistura M6 ter atendido ao critério de resistência, e sua absorção de água ser um pouco menor do que a mistura M4, a mistura M4 continua sendo a mais adequada, pois atingiu resistências mais homogêneas com um menor consumo de cimento do que a mistura M6.

Tabela 4.37 - Resumo das propriedades dos corpos de prova moldados com as misturas M2, M4, M5 e M6

Características	Misturas			
	M2	M4	M5	M6
MEAS média (kg/dm ³)	1,53	1,54	1,58	1,55
Resistência média à compressão simples aos 7 dias (MPa)	2,01	2,09	1,90	1,92
Resistência mínima à compressão simples aos 7 dias (MPa)	1,77	2,02	1,74	1,29
Resistência média à compressão simples aos 28 dias (MPa)	1,93	2,90	1,77	2,61
Resistência mínima à compressão simples aos 28 dias (MPa)	1,78	2,44	1,49	1,78
Absorção média de água (%)	22,77	23,17	22,34	22,92
Absorção máxima de água (%)	24,63	25,17	22,56	24,05

Fonte: Autor.

De posse desses dados, passou-se a verificar qual seria a melhor forma de reduzir a permeabilidade e consequentemente a absorção de água utilizando-se produtos existentes no mercado da construção civil. Optou-se por utilizar individualmente o aditivo Sika 1 em diversas dosagens, o estabilizante Ecolopavi conforme recomendação do fabricante e o extrato de Aloe vera conforme pesquisa estudada, citada anteriormente, que poderiam contribuir para reduzir a absorção de água, cujos procedimentos encontram-se a seguir.

4.10 CORPOS DE PROVA DA MISTURA M4 COM ADIÇÃO DE SIKAS 1 OU ECOLOPAVI

Foram moldados 3 lotes de corpos de prova, compactados com o equipamento Mini-MCV, 7 golpes, sendo 24 corpos de prova da mistura M4, umidade de 19 %, com adição de Sika 1 na proporção de 1 % sobre a massa de cimento, que foi denominada M4S1; 24 corpos de prova da mistura M4, umidade de 19 %, com adição de Sika 1 na proporção de 4 % sobre a massa de cimento, que foi denominada M4S4, sendo que as duas proporções constam do catálogo do fabricante, e mais 24 corpos de prova da mistura M4, umidade de 19 % com adição de Ecolopavi na proporção recomendada pelo fabricante de 1 litro para cada 1000 kg de mistura solo cimento, que foi denominada de M4E. Os procedimentos e ensaios foram feitos da mesma forma que foi feita para os corpos de prova da mistura M4 na umidade ótima, bem como para as demais misturas de itens anteriores.

As proporções do aditivo Sika 1, foram definidas em função das recomendações do fabricante para preparo de concreto não armado (1 % de Sika 1 sobre a massa de cimento ou seja 0,5 litros para cada saco de cimento de 50 quilogramas) e para o preparo de argamassas (4 % de Sika 1 sobre a massa de cimento ou seja 2 litros para cada saco de cimento de 50 quilogramas).

Foram anotadas todas as leituras do equipamento Mini-MCV para cada golpe aplicado e elaboradas as planilhas de cálculo das massas, dos volumes e respectivas MEAS dos corpos de prova, cujos parâmetros e resultados encontram-se respectivamente nas Tabelas C5 à C7 do Apêndice C, para consultas, mas cujos principais resultados de interesse para análise encontram-se resumidos na Tabela 4.38

Os ensaios de balança hidrostática e de absorção de água foram realizados após a cura de 28 dias.

Os corpos de prova permaneceram, após no mínimo 6 horas depois de moldados, mergulhados na água até a data da realização dos ensaios de compressão simples aos 07 e aos 28 dias, que foi realizado, seguindo-se as prescrições da ABNT NBR 10836:2013, cujos parâmetros e resultados encontram-se respectivamente nas Tabelas de D9 à D14 do apêndice D, para consultas, mas cujos principais resultados de interesse para análise encontram-se resumidos na Tabela 4.38.

Tabela 4.38 - Resumo das propriedades dos corpos de prova moldados com as misturas M4 e M4 com aditivo Sika 1 ou Ecolopavi

Características	Misturas			
	M4	M4S1	M4S4	M4E
MEAS média (kg/dm ³)	1,540	1,545	1,605	1,585
Resistência média à compressão simples aos 7 dias (MPa)	2,09	1,87	2,91	2,04
Resistência mínima à compressão simples aos 7 dias (MPa)	2,02	1,71	2,60	1,76
Resistência média à compressão simples aos 28 dias (MPa)	2,90	2,66	3,87	2,45
Resistência mínima à compressão simples aos 28 dias (MPa)	2,44	2,34	3,23	2,05
Absorção média de água (%)	23,17	21,69	19,01	19,06
Absorção máxima de água (%)	25,17	23,78	19,81	19,41

Fonte: Autor.

Em análise a Tabela 4.38 pode-se concluir que a adição do aditivo Sika 1 na mistura M4, na percentagem de 1 % reduziu 1,5 % na absorção média de água e 1,39 % na absorção máxima, mas não melhorou a resistência à compressão simples, ao contrário diminuiu em 8,27 % a resistência média à compressão simples e em 4,10 % a resistência mínima à compressão simples em relação à mistura original M4. A adição de 4 % de Sika 1 reduziu 4,16 % na absorção média de água e 5,36 % na absorção máxima, aumentando também 0,97 MPa na resistência média à compressão simples, ou seja 33,45 % e 0,79 MPa na menor resistência à compressão simples, ou seja 32,38 % em relação à mistura original M4. A adição de Ecolopavi na proporção de um litro para 1000 kg de mistura solo + ART, reduziu numericamente 4,11 % na absorção média de água e 5,76 % na absorção máxima, mas não aumentou a resistência à compressão, ao contrário diminuiu 0,45 MPa na resistência média à compressão simples, ou seja 15,51 % e 0,39 MPa na menor resistência à compressão simples, ou ainda 15,98 % em relação à mistura original M4.

Concluiu-se, portanto, pela análise da Tabela 4.38, que as misturas M4S4 e M4E foram as que apresentaram o melhor comportamento em termos de resistência à compressão simples e absorção de água, sendo que estes valores atendem aos valores estabelecidos pela ABNT NBR 10834:2012 itens 5.2 e 5.3 respectivamente, mas a mistura M4S4 foi a única das duas que contribuiu para um sensível aumento na resistência à compressão simples em relação à mistura original sem adições.

Quanto aos custos adicionais para a utilização dos aditivos estudados, verificou-se que o tambor de Sika 1 com 190 litros custa R\$550,00, e o tambor com 200 litros de Ecolopavi custa R\$2.750,00, e que calculando os gastos para cada bloco vazado de cada uma das misturas M4S4 e M4E, haveria um acréscimo de R\$0,036 por bloco confeccionado com a mistura M4S4 e R\$0,033 por bloco confeccionado com a mistura M4E.

Mesmo com a pequena diferença de valor monetário entre os dois casos, seria prudente utilizar o aditivo Sika 1, pois as resistências conseguidas com o aditivo Ecolopavi ficaram muito perto dos limites normativos, e na confecção do bloco, com a prensa hidráulica da fábrica da Ação Moradia, modelo Eco Premium 2600 CH MA, capacidade para 6 toneladas não se conseguiu uma compactação compatível com os 7 golpes aplicados

através do equipamento Mini-MCV, pois haverá uma conseqüente diminuição destes valores. Mesmo com esta análise não se deve descartar a possibilidade de utilizar-se o estabilizante Ecolopavi, tendo em vista que no mercado existem outras prensas com maior capacidade de compactação do que a Eco Premium utilizada nesta pesquisa e que poderão atender a uma compactação compatível.

Face ao exposto, foi escolhido fabricar blocos vazados apenas com a mistura M4 com 4% de aditivo Sika 1.

4.11 BLOCOS VAZADOS DA MISTURA M4 COM ADIÇÃO DE 4% DE SIKAS 1

Foram fabricados 28 blocos vazados, com a mistura M4 com adição de 4% de Sika 1, em relação ao cimento, conforme recomendação do catálogo do fabricante, sendo na proporção de 2 litros de Sika 1 para 50 quilogramas de cimento. Os materiais solo e ART foram preparados no laboratório, secados em estufa, misturados com o cimento e levados secos a fábrica, onde adicionou-se a água de amassamento e o aditivo.

Utilizou-se para isto os mesmos equipamentos e procedimentos que foram empregados na confecção dos blocos vazados com a mistura M4. As dimensões nominais dos blocos vazados foram as determinadas pela característica da matriz da prensa, ou seja: 25,00 cm de comprimento, 12,50 cm de largura e 7,00 cm de altura. A água adicionada foi na proporção estudada e definida para fábrica, de 19 %.

Os blocos vazados foram retirados da prensa e depositados em uma mesa de ardósia polida, em área coberta, conforme mostra a Figura 4.34, para após no mínimo 6 horas serem submersos em um reservatório de água, de plástico, para proceder-se à cura, que foi feita durante os primeiros 7 dias na fábrica. Depois de 7 dias os blocos vazados foram transportados para o laboratório de materiais e técnicas de construção civil da FECIV, sendo que 8 blocos vazados foram ensaiados à compressão simples aos 7 dias, resultando o valor de 1,65 MPa para a resistência média e 1,24 MPa para resistência mínima, como mostra a Tabela 4.39, não atendendo aos 7 dias às prescrições mínimas de resistência à compressão simples estabelecidas pelo item 5.2 da norma ABNT NBR 10834:2012.

Figura 4.34 - Blocos vazados M4 + 4% Sika 1 após moldagem



Fonte: Autor.

Tabela 4.39 - Resistência à compressão aos 7 dias dos blocos vazados da mistura M4S4

Características	Blocos Vazados							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Largura média (mm)	125,00	125,00	125,00	125,00	125,00	125,00	125,00	125,00
Comprimento médio (mm)	250,00	250,00	250,00	250,00	250,00	250,00	250,00	250,00
Área seção transversal (mm²)	31.250,00	31.250,00	31.250,00	31.250,00	31.250,00	31.250,00	31.250,00	31.250,00
Força máxima (N)	38.800	53.460	52.190	55.510	48.890	57.480	55.530	50.900
Resist. compressão simples (MPa)	1,24	1,71	1,67	1,78	1,56	1,84	1,78	1,63
Resistência média à compressão simples aos 7 dias (MPa)								1,65
Menor resistência à compressão simples aos 7 dias (MPa)								1,24

Fonte: Autor.

Após a cura submersa de 28 dias os blocos foram ensaiados à compressão simples, conforme resultados constantes da Tabela 4.40, sendo que a resistência média à compressão simples foi de 2,30 MPa e a menor resistência foi de 2,08 MPa, valores que atendem ao item 5.2 da ABNT NBR 10834:2012.

Tabela 4.40 - Resistência à compressão aos 28 dias dos blocos vazados da mistura M4S4

Características	Blocos Vazados							
	9	10	11	12	13	14	15	16
Largura média (mm)	125,00	125,00	125,00	125,00	125,00	125,00	125,00	125,00
Comprimento médio (mm)	250,00	250,00	250,00	250,00	250,00	250,00	250,00	250,00
Área seção transversal (mm²)	31.250,00	31.250,00	31.250,00	31.250,00	31.250,00	31.250,00	31.250,00	31.250,00
Força máxima (N)	71.410	66.640	65.490	65.010	68.960	84.030	76.100	76.660
Resist. compressão simples (MPa)	2,29	2,13	2,10	2,08	2,21	2,69	2,44	2,45
Resistência média à compressão simples aos 28 dias (MPa)								2,30
Menor resistência à compressão simples aos 28 dias (MPa)								2,08

Fonte: Autor.

Foram feitas também as determinações das MEAS de 8 blocos vazados através da balança hidrostática e também o ensaio de absorção de água nos mesmos blocos vazados, cujos dados encontram-se na Tabela 4.41. A MEAS média foi de 1,55 g/cm³, a absorção de água média foi de 21,64 % e a maior absorção de água foi de 22,60 %, valores que não atendem ao item 5.3 da ABNT NBR 10834:2012, que especifica absorção média de água menor ou igual a 20 % e valores individuais iguais ou menores do que 22 %.

Tabela 4.41 - Ensaios de balança hidrostática – MEAS e de absorção de água de 8 blocos vazados da mistura M4S4

Bloco	Massa saturada (g)	Massa imersa (g)	Massa seca (g)	Massa úmida 24 hs (g)	Massa água (g)	Volume (cm ³)	Absorção (%)	MEAS (g/cm ³)
17	3.464,08	1.644,11	2.784,20	3.411,10	626,90	1.819,97	22,52	1,53
18	3.461,00	1.650,99	2.805,30	3.400,20	594,90	1.810,01	21,21	1,55
19	3.500,95	1.674,20	2.849,00	3.469,90	620,90	1.826,75	21,79	1,56
20	3.522,83	1.702,95	2.849,70	3.414,90	565,20	1.819,88	19,83	1,57
21	3.503,35	1.681,30	2.878,50	3.482,60	604,10	1.822,05	20,99	1,58
22	3.462,65	1.654,85	2.763,80	3.388,30	624,50	1.807,80	22,60	1,53
23	3.426,90	1.625,05	2.771,10	3.386,70	615,60	1.801,85	22,22	1,54
24	3.494,78	1.670,20	2.824,80	3.444,80	620,00	1.824,58	21,95	1,55
Média	3.479,57	1.662,96	2.815,80	3.424,81	609,01	1.816,61	21,64	1,55
Maior absorção de água (%)							22,60	...

Fonte: Autor.

Tabela 4.42 - Resumo das propriedades dos blocos vazados fabricados com as misturas M4_{sc}, M4 (1º e 2º lotes) e M4 com 4 % de aditivo Sika 1

Características	Blocos			
	Blocos M4 _{sc}	1º lote M4	2º lote M4	3º lote M4S4
MEAS média (kg/dm ³)	1,73	1,56	1,51	1,55
Resistência média à compressão simples aos 7 dias (MPa)	...	2,53	1,87	1,65
Resistência mínima à compressão simples aos 7 dias (MPa)	...	2,41	1,60	1,24
Resistência média à compressão simples aos 28 dias (MPa)	2,80	3,60	2,62	2,30
Resistência mínima à compressão simples aos 28 dias (MPa)	2,36	3,26	2,19	2,08
Absorção média de água (%)	14,98	22,17	23,21	21,64
Absorção máxima de água (%)	16,33	22,83	23,93	22,60

Fonte: Autor.

Em análise a Tabela 4.42 verifica-se que a mistura que produziu blocos vazados com a maior resistência foi a M4 sem aditivo ou estabilizante, e que vale a pena a fabricação destes blocos com uma prensa de grande capacidade de compactação, para verificar-se se atenderia ao critério de absorção, pois existem no mercado diversas opções, tais como a prensa hidráulica automática da JC Metal, que tem uma pressão de trabalho de 12.500 kg e máxima de 19.000 kg; prensa Man com capacidade de prensagem de 8 toneladas; prensa Monteiro Construções com capacidade de prensagem de 40.000 kg com dupla compactação.

Como os blocos vazados fabricados nesta etapa, apesar da absorção de água ter diminuído, não atenderam aos valores normativos, definiu-se para prosseguimento da pesquisa que seriam moldados 2 novos lotes de corpos de prova para testes, sendo um lote com adição de 8% de Sika 1 e outro com adição de 5% de extrato de Aloe vera, planta popularmente denominada babosa.

A proposta para adição de Aloe vera deve-se ao fato de que foi comprovada a atuação do extrato de Aloe vera para diminuir a absorção de água, conforme já descrito em 3.1.7, bem como também em estudos feitos por Rebouças et al (2011) e Buson (2009), conforme item 2.6.

4.12 CORPOS DE PROVA DA MISTURA M4 COM ADIÇÃO DE 8% DE SIKA 1 OU 5% DE EXTRATO DE ALOE VERA

Foram moldados 2 lotes de corpos de prova, compactados com o equipamento Mini-MCV, 7 golpes, sendo 24 corpos de prova da mistura M4, umidade de 19 %, com adição de Sika 1 na proporção de 8 % sobre a massa de cimento, que foi denominada M4S8 e 24 corpos de prova da mistura M4, umidade de 19 %, com adição de extrato de Aloe vera na proporção de 5 % sobre o consumo de água, que foi denominada de M4AV5.

A proporção de Aloe vera foi definida em função do gráfico da Figura 3.4 apresentado na seção 3.1.7.

Os procedimentos e ensaios foram iguais aos aplicados aos corpos de prova da mistura M4 com aditivo Sika 1 e com Ecolopavi.

Anotou-se todas as leituras do equipamento Mini-MCV para cada golpe aplicado e elaborou-se as planilhas de cálculo das massas, dos volumes e MEAS dos corpos de prova, cujos parâmetros e resultados encontram-se respectivamente nas Tabelas C8 e C9 do Apêndice C, para consultas, mas cujos principais resultados de interesse para análise encontram-se resumidos na Tabela 4.43.

Os ensaios de balança hidrostática e de absorção de água foram realizados após a cura de 28 dias.

Os corpos de prova permaneceram, após no mínimo 6 horas depois de moldados, mergulhados na água até a data da realização dos ensaios de compressão simples aos 07 e aos 28 dias, que foi realizado, seguindo-se as prescrições da ABNT NBR 10836:2013, cujos parâmetros e resultados encontram-se respectivamente nas Tabelas de D15 à D18 do apêndice D, para consultas, mas cujos principais resultados de interesse para análise encontram-se resumidos na Tabela 4.43

Apresenta-se a seguir na Tabela 4.43 o resumo das propriedades dos corpos de prova moldados com as misturas M4_{sc}; M4; M4 com aditivo Sika 1; M4 com Ecolopavi e M4 com Aloe vera com 7 golpes, para a análise final dos resultados.

Tabela 4.43 - Resumo das propriedades dos corpos de prova moldados com as misturas M4_{sc}, M4, M4 com aditivo Sika 1, M4 com Ecolopavi e M4 com Aloe vera com 7 golpes

Características	Misturas						
	M4 _{sc}	M4	M4S1	M4S4	M4S8	M4E	M4AV5
MEAS média (kg/dm³)	1,77	1,540	1,545	1,605	1,537	1,585	1,556
Resistência média à compressão simples aos 7 dias (MPa)	...	2,09	1,87	2,91		2,04	2,47
Resistência mínima de ruptura compressão simples aos 7 dias (MPa)	...	2,02	1,71	2,60		1,76	1,94
Resistência média à compressão simples aos 28 dias (MPa)	3,06	2,90	2,66	3,87	2,45	2,45	2,89
Resistência mínima de ruptura à compressão simples aos 28 dias (MPa)	2,08	2,44	2,34	3,23	1,86	2,05	2,19
Absorção média de água (%)	13,21	23,17	21,69	19,01	22,76	19,06	20,86
Absorção máxima de água (%)	14,81	25,17	23,78	19,81	23,77	19,41	22,07

Fonte: Autor.

Em análise a Tabela 4.43, concluiu-se que os corpos de prova de solo cimento apresentaram valores de absorção (13,21 % e 14,81 %) bem mais baixos do que as misturas solo cimento agregado, isto devido ao fato da grande capacidade de absorção do ART.

Em relação à mistura solo cimento agregado, a adição do aditivo Sika 1 na mistura M4, na percentagem de 1 % reduziu 1,5 % na absorção média de água e 1,39 % na absorção máxima, mas não melhorou a resistência à compressão simples, ao contrário diminuiu em 8,27 % a resistência média à compressão simples e em 4,10 % a resistência mínima à compressão simples em relação à mistura original M4.

A adição de 4 % de Sika 1 reduziu 4,16 % na absorção média de água e 5,36 % na absorção máxima, aumentando também 0,97 MPa na resistência média à compressão simples, ou seja 33,45 % e 0,79 MPa na menor resistência à compressão simples, ou ainda 32,38 % em relação à mistura original M4.

A adição de 8 % de Sika 1 reduziu 0,41 % na absorção média de água e 1,40 % na absorção máxima, mas não melhorou a resistência à compressão simples, ao contrário diminuiu 0,45 MPa na resistência média à compressão simples, ou seja em 15,52 % e 0,58 MPa na resistência mínima à compressão simples, ou ainda 23,77 % em relação à mistura original M4.

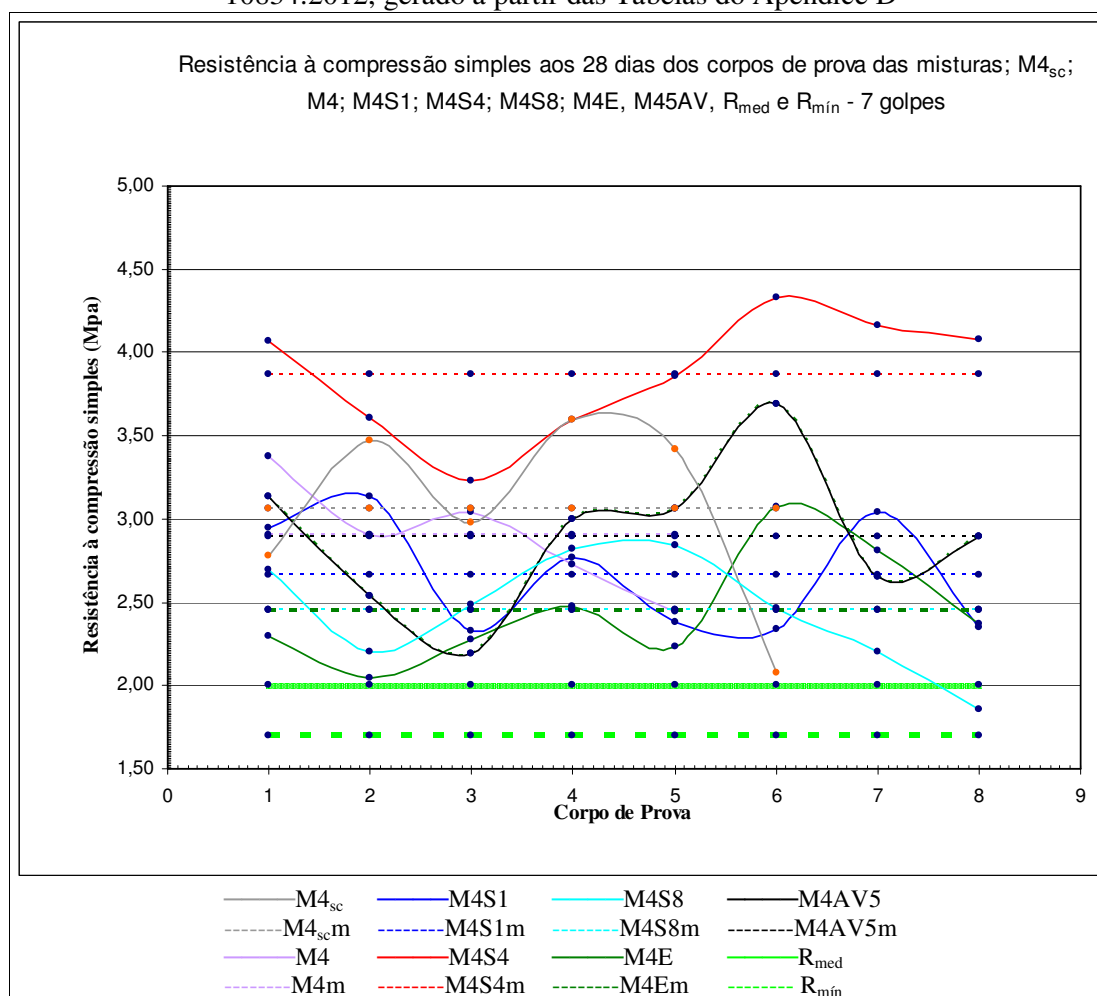
A adição de Ecolopavi na proporção de um litro para 1000 quilogramas de solo reduziu 4,11 % na absorção média de água e 5,76 % na absorção máxima, mas não aumentou a resistência à compressão, ao contrário diminuiu 0,45 MPa na resistência média à compressão simples, ou seja 15,51 % e 0,39 MPa na menor resistência à compressão simples, ou ainda 15,98 % em relação à mistura original M4.

A adição de 5% de extrato de Aloe vera reduziu 2,31 % na absorção média de água e 3,10 % na absorção máxima, mas não aumentou a resistência à compressão, ao contrário diminuiu 0,01 MPa na resistência média à compressão simples, ou seja 0,34 % e 0,25 MPa

na menor resistência à compressão simples, ou ainda 10,24 % em relação à mistura original M4.

A Figura 4.35 ilustra através do gráfico, a evolução das resistências máximas ($M4_{sc}$, M4, M4S1, M4S4, M4S8, M4E, M4AV5), as resistências médias ($M4_{scm}$, M4m, M4S1m, M4S4m, M4S8m, M4Em, M4AV5m) dos corpos de prova moldados com as misturas solo cimento e solo cimento agregado e as resistências mínima (R_{min}) e média (R_{med}) admitidas conforme item 5.2 da ABNT NBR 10834:2012.

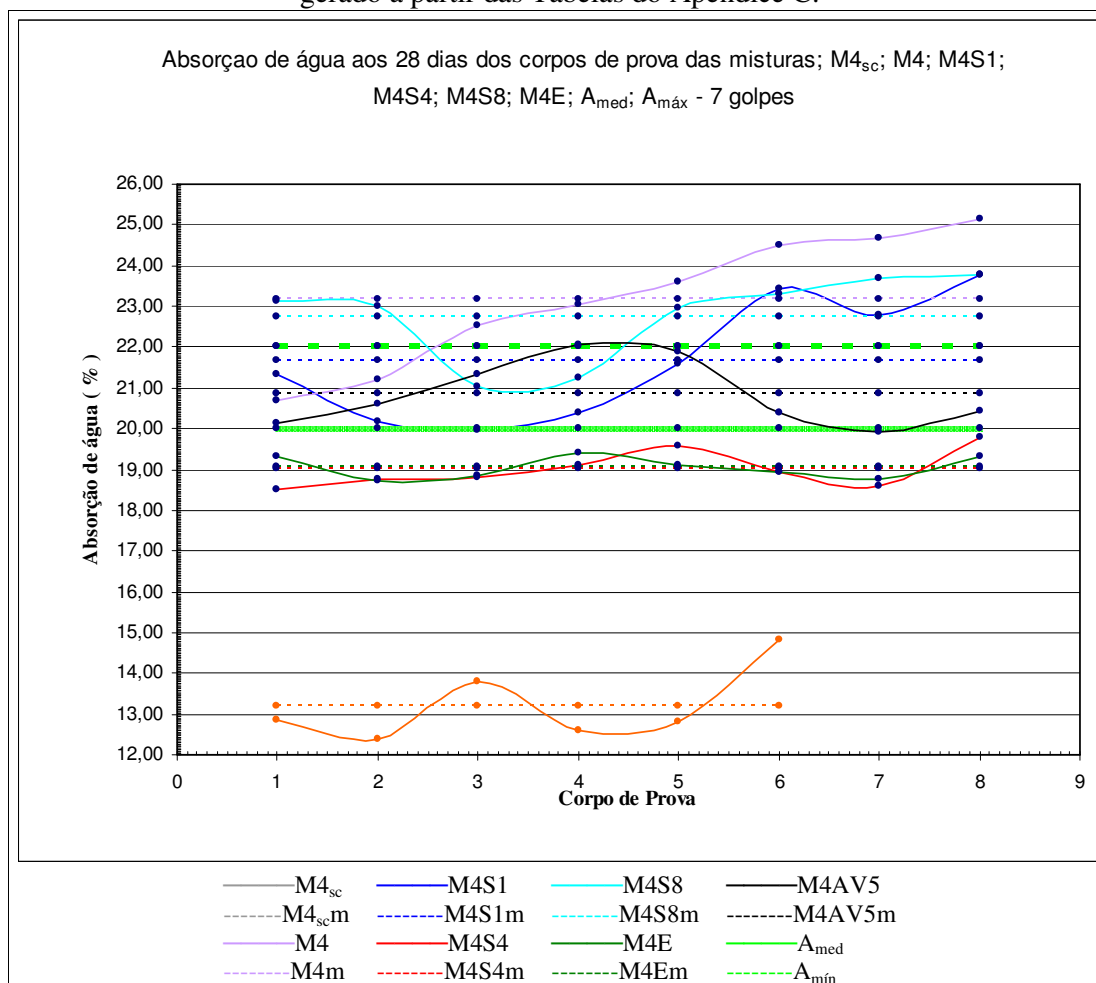
Figura 4.35 – Resistências à compressão simples dos corpos de prova das misturas $M4_{sc}$, M4, M4 S1, M4S4, M4S8, M4E, M4AV5, R_{min} , R_{med} admitidas pela ABNT NBR 10834:2012, gerado a partir das Tabelas do Apêndice D



Fonte: Autor.

A Figura 4.36 mostra através do gráfico, a evolução das absorções de água ($M4_{sc}$, $M4$, $M4S1$, $M4S4$, $M4S8$, $M4E$, $M4AV5$), as absorções médias ($M4_{sc}m$, $M4m$, $M4S1m$, $M4S4m$, $M4S8m$, $M4Em$, $M4AV5m$) dos corpos de prova moldados com as misturas solo cimento e solo cimento agregado e as absorções máxima ($A_{máx}$) e média (A_{med}) admitidas conforme item 5.3 da ABNT NBR 10834:2012.

Figura 4.36 - Absorções de água dos corpos de prova das misturas $M4_{sc}$, $M4$, $M4S1$, $M4S4$, $M4S8$, $M4E$, $M4AV5$, A_{med} e A_{min} admitidas pela norma ABNT NBR 10834:2012, gerado a partir das Tabelas do Apêndice C.



Conclui-se, portanto, pela análise da Tabela 4.43 e pelos gráficos das Figuras 4.35 e 4.36 que além da mistura pura de solo cimento $M4_{sc}$, as misturas $M4S4$ e $M4E$ foram as únicas que atenderam aos valores estabelecidos pela norma ABNT NBR 10834:2012 itens 5.2 e 5.3 para resistência à compressão simples e para absorção de água respectivamente.

4.13 CORPOS DE PROVA DA MISTURA M4 COM ADIÇÃO DE 4% DE SIKA 1, 4 GOLPES

Para se estabelecer a correlação entre a energia de compactação aplicada em laboratório através do equipamento Mini-MCV com a da prensa hidráulica da fábrica, para comprovação da possibilidade da utilização desse método, objeto deste estudo, foi analisada a Tabela C6 do Apêndice C e o número de golpes compatível foi definido em 4 golpes, em função da leitura da linha em que a MEAS média dos 24 corpos de prova foi de 1,55 g/cm³, igual à MEAS média dos blocos fabricados com a mesma mistura M4S4.

Foram moldados 24 corpos de prova, compactados com o equipamento Mini-MCV, 4 golpes com a mistura M4S4, ou seja com umidade de 19 %, com adição de Sika 1 na proporção de 4 % sobre a massa de cimento.

Os procedimentos e ensaios foram feitos da mesma forma que foi feita para os corpos de prova da mistura M4 com aditivo Sika 1 em outras proporções.

Foram anotadas todas as leituras do equipamento Mini-MCV para cada golpe aplicado e elaboradas as planilhas de cálculo das massas, dos volumes e respectivas MEAS dos corpos de prova, cujos resultados encontram-se respectivamente na Tabela 4.44, tabelas estas que contêm também os resultados dos ensaios de balança hidrostática e de absorção de água realizados após a cura de 28 dias.

A MEAS média geral entre a obtida pelo equipamento Mini-MVC (1,52 g/cm³) e pela balança hidrostática (1,56 g/cm³) foi de 1,54 g/cm³, compatível com a do bloco vazado que foi de 1,55 g/cm³. A absorção de água média foi de 20,85 % e a maior absorção de água foi de 22,63 %, valores que não atendem ao item 5.3 da ABNT NBR 10834:2012, que especifica absorção média de água menor ou igual a 20 % e valores individuais iguais ou menores do que 22 %.

Se compararmos apenas pelo equipamento Mini-MCV obteve-se para a MEAS média o valor de 1,52 g/cm³, que é menor apenas 0,03 g/cm³ do que a do bloco vazado, ou seja apenas 1,93% menor. Sendo que os valores máximos e mínimos obtidos pelo equipamento

nos 24 corpos de prova foram 1,55 g/cm³ e 1,48 g/cm³, variação de 0,07 g/cm³, portanto consideramos como compatível.

Tabela 4.44 - Mini-MCV, balança hidrostática, absorção de água, dos corpos de prova de solo + ART + cimento moldados com a mistura M4 com adição de 4% de Sika 1 – 4 golpes, água 19,00 %

Dados	Corpo de prova							
	1	2	3	4	5	6	7	8
La	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00
Ka	29,00	29,00	29,00	29,00	29,00	29,00	29,00	29,00
Massa inicial de solo (g)	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00
Umidade adicionada (%)	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00
leitura golpe 1 (mm)	37,22	34,69	34,32	35,33	36,21	37,58	36,59	36,23
leitura golpe 2 (mm)	31,46	30,07	29,95	30,79	31,5	32,53	31,8	31,85
leitura golpe 3 (mm)	29,20	28,18	28,11	28,68	29,58	30,00	29,62	29,75
leitura golpe 4 (mm)	27,86	26,72	26,63	27,37	27,91	28,73	28,09	28,17
Hc1 (mm) calculado	66,22	63,69	63,32	64,33	65,21	66,58	65,59	65,23
Hc2 (mm) calculado	60,46	59,07	58,95	59,79	60,50	61,53	60,80	60,85
Hc3 (mm) calculado	58,20	57,18	57,11	57,68	58,58	59,00	58,62	58,75
Hc4 (mm) calculado	56,86	55,72	55,63	56,37	56,91	57,73	57,09	57,17
Volume CP (cm ³)	111,64	109,41	109,23	110,68	111,74	113,35	112,10	112,25
Massa solo + molde (g)	1068,52	1049,91	1038,15	1049,79	1056,77	1077,42	1060,51	1049,60
Tara molde (g)	868,72	850,23	838,11	849,69	856,95	877,52	860,01	849,58
Massa final de solo(g)	199,80	199,68	200,04	200,10	199,82	199,90	200,50	200,02
ps1 (g/cm ³)	1,29	1,34	1,35	1,33	1,31	1,29	1,31	1,31
ps2 (g/cm ³)	1,42	1,45	1,45	1,43	1,41	1,39	1,41	1,41
ps3 (g/cm ³)	1,47	1,50	1,50	1,48	1,46	1,45	1,46	1,46
ps4 (g/cm ³)	1,50	1,53	1,54	1,52	1,50	1,48	1,50	1,50
MEAU (g/cm ³)	1,79	1,83	1,83	1,81	1,79	1,76	1,79	1,78
MEAS (g/cm ³)	1,50	1,53	1,54	1,52	1,50	1,48	1,50	1,50
Balança hidrostática	Massa saturada (g)	...	...	210,34	...	...	215,07	...
	Massa seca (g)	...	...	168,71	...	...	169,11	...
	Massa imersa (g)	...	...	101,83	...	...	105,23	...
	Volume (cm ³)	...	...	108,51	...	...	109,84	...
	MEAS ² (g/cm ³)	...	...	1,55	...	...	1,54	...
Absorção	Massa úmida (g)	...	...	201,38	...	...	203,66	...
	Massa seca (g)	...	...	168,71	...	...	169,11	...
	Massa água (g)	...	...	32,67	...	...	34,55	...
	Absorção água (%)	...	...	19,36	...	...	20,43	...

(continua)

Dados		Corpo de prova							
		9	10	11	12	13	14	15	16
La		21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00
Ka		29,00	29,00	29,00	29,00	29,00	29,00	29,00	29,00
Massa inicial de solo (g)		200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00
Umidade adicionada (%)		19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00
leitura golpe 1 (mm)		35,05	33,55	33,83	36,58	35,41	36,82	35,61	35,72
leitura golpe 2 (mm)		29,88	29,49	29,69	30,97	30,67	31,28	31,00	30,91
leitura golpe 3 (mm)		27,81	27,54	27,82	28,84	28,63	28,98	28,82	28,57
leitura golpe 4 (mm)		26,38	26,11	26,36	27,33	27,01	27,40	27,4	27,16
Hc1 (mm) calculado		64,05	62,55	62,83	65,58	64,41	65,82	64,61	64,72
Hc2 (mm) calculado		58,88	58,49	58,69	59,97	59,67	60,28	60,00	59,91
Hc3 (mm) calculado		56,81	56,54	56,82	57,84	57,63	57,98	57,82	57,57
Hc4 (mm) calculado		55,38	55,11	55,36	56,33	56,01	56,40	56,40	56,16
Volume CP (cm³)		108,74	108,21	108,70	110,60	109,98	110,74	110,74	110,27
Massa solo + molde (g)		1069,16	1050,22	1037,97	1049,97	1056,76	1077,80	1060,18	1049,88
Tara molde (g)		868,72	850,23	838,11	849,69	856,95	877,52	860,01	849,58
Massa final de solo(g)		200,44	199,99	199,86	200,28	199,81	200,28	200,17	200,30
ps1 (g/cm³)		1,34	1,37	1,36	1,31	1,33	1,30	1,32	1,32
ps2 (g/cm³)		1,45	1,46	1,46	1,43	1,43	1,42	1,43	1,43
ps3 (g/cm³)		1,51	1,51	1,51	1,48	1,49	1,48	1,48	1,49
ps4 (g/cm³)		1,55	1,55	1,55	1,52	1,53	1,52	1,52	1,53
MEAU (g/cm³)		1,84	1,85	1,84	1,81	1,82	1,81	1,81	1,82
MEAS (g/cm³)		1,55	1,55	1,55	1,52	1,53	1,52	1,52	1,53
Balança hidrostática	Massa saturada (g)	213,87	...	...	211,15	...	...	214,16	...
	Massa seca (g)	169,10	...	...	168,62	...	...	168,55	...
	Massa imersa (g)	106,21	...	...	103,30	...	...	105,15	...
	Volume (cm³)	107,66	...	...	107,85	...	...	109,01	...
	MEAS² (g/cm³)	1,57	...	...	1,56	...	...	1,55	...
Absorção	Massa úmida (g)	205,81	...	...	203,10	...	...	205,66	...
	Massa seca (g)	169,10	...	...	168,62	...	...	168,55	...
	Massa água (g)	36,71	...	...	34,48	...	...	37,11	...
	Absorção água (%)	21,71	...	...	20,45	...	...	22,02	...

(continuação)

Dados		Corpo de prova							
		17	18	19	20	21	22	23	24
La		21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00
Ka		29,00	29,00	29,00	29,00	29,00	29,00	29,00	29,00
Massa inicial de solo (g)		200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00
Umidade adicionada (%)		19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00
leitura golpe 1 (mm)		35,60	34,64	35,18	35,79	36,36	37,75	36,29	36,26
leitura golpe 2 (mm)		30,57	30,05	30,42	30,84	31,10	31,71	31,41	31,39
leitura golpe 3 (mm)		28,55	28,05	28,23	28,75	28,93	29,55	29,44	29,12
leitura golpe 4 (mm)		27,14	26,91	26,8	27,28	27,68	27,89	27,88	27,74
Hc1 (mm) calculado		64,60	63,64	64,18	64,79	65,36	66,75	65,29	65,26
Hc2 (mm) calculado		59,57	59,05	59,42	59,84	60,10	60,71	60,41	60,39
Hc3 (mm) calculado		57,55	57,05	57,23	57,75	57,93	58,55	58,44	58,12
Hc4 (mm) calculado		56,14	55,91	55,80	56,28	56,68	56,89	56,88	56,74
Volume CP (cm³)		110,23	109,78	109,56	110,51	111,29	111,70	111,68	111,41
Massa solo + molde (g)		1069,25	1050,69	1038,53	1049,91	1057,03	1077,04	1059,89	1049,57
Tara molde (g)		868,72	850,23	838,11	849,69	856,95	877,52	860,01	849,58
Massa final de solo(g)		200,53	200,46	200,42	200,22	200,08	199,52	199,88	199,99
ps1 (g/cm³)		1,33	1,34	1,33	1,32	1,31	1,28	1,31	1,31
ps2 (g/cm³)		1,44	1,45	1,44	1,43	1,42	1,41	1,42	1,42
ps3 (g/cm³)		1,49	1,50	1,50	1,48	1,48	1,46	1,46	1,47
ps4 (g/cm³)		1,53	1,53	1,54	1,52	1,51	1,50	1,50	1,51
MEAU (g/cm³)		1,82	1,83	1,83	1,81	1,80	1,79	1,79	1,80
MEAS (g/cm³)		1,53	1,53	1,54	1,52	1,51	1,50	1,50	1,51
ps média CP 1 a 24 (g/cm³)		1,52							
Maior ps CP 1 a 24 (g/cm³)		1,55							
Menor ps CP1 a 24 (g/cm³)		1,48							
Variação ps CP1 a 24 (g/cm³)		0,07							
Balança hidrostática	Massa saturada (g)	...	209,65	...	...	213,41	...	...	214,21
	Massa seca (g)	...	167,78	...	...	168,57	...	...	168,28
	Massa imersa (g)	...	103,45	...	...	105,02	...	...	104,89
	Volume (cm³)	...	106,20	...	...	108,39	...	...	109,32
	MEAS² (g/cm³)	...	1,58	...	...	1,56	...	...	1,54
psbh média (g/cm³)		1,56							
Maior psbh (g/cm³)		1,58							
Menor psbh (g/cm³)		1,54							
Variação psbh (g/cm³)		0,04							
Absorção	Massa úmida (g)	...	200,75	...	...	206,72	...	...	202,88
	Massa seca (g)	...	167,78	...	...	168,57	...	...	168,28
	Massa água (g)	...	32,97	...	...	38,15	...	...	34,60
	Absorção água (%)	...	19,65	...	...	22,63	...	...	20,56
Absorção média (%)		20,85							
Maior absorção (%)		22,63							

(conclusão)

Fonte: Autor.

Os corpos de prova permaneceram, após no mínimo 6 horas depois de moldados, mergulhados na água até a data da realização dos ensaios de compressão simples aos 07 dias, resultados conforme Tabelas 4.45 e aos 28 dias, resultados conforme Tabelas 4.46, seguindo-se as prescrições da ABNT NBR 10836:2013.

A resistência à compressão média aos 28 dias foi de 3,04 MPa, e a menor foi de 2,66 MPa, conforme Tabela 4.46, valores que atendem ao item 5.2 da ABNT NBR 10834:2012.

Tabela 4.45 - Ensaio de compressão aos 7 dias de 8 corpos de prova da mistura M4 com adição de 4% de Sika 1, 4 golpes, água 19 %

Características	Corpos de Prova Cilíndricos							
	1	4	7	10	13	16	19	22
Diâmetro médio (mm)	50	50	50	50	50	50	50	50
Área seção transversal (mm²)	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50
Força máxima (N)	4.734,70	4.495,20	4.108,3	5.195,30	4.163,60	3.131,90	5.140,00	4.311,00
Resistência compressão simples (MPa)	2,41	2,29	2,09	2,65	2,12	1,60	2,62	2,20
Resistência média à compressão simples aos 7 dias (MPa)								2,25
Menor resistência à compressão simples aos 7 dias (MPa)								1,60

Fonte: Autor.

Tabela 4.46 - Resistência à compressão aos 28 dias de 8 corpos de prova da mistura M4 com adição de 4% de Sika 1, 4 golpes, água 19 %

Características	Corpos de Prova Cilíndricos							
	2	5	8	11	14	17	20	23
Diâmetro médio (mm)	50	50	50	50	50	50	50	50
Área seção transversal (mm²)	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50
Força máxima (N)	5.821,60	6.190,10	5.232,10	7.111,20	6.042,70	5.508,40	5.674,30	6.171,70
Resistência compressão simples (MPa)	2,96	3,15	2,66	3,62	3,08	2,81	2,89	3,14
Resistência média à compressão simples aos 28 dias (MPa)								3,04
Menor resistência à compressão simples aos 28 dias (MPa)								2,66

Fonte: Autor.

4.14 OBSERVAÇÕES SOBRE A EXECUÇÃO DOS ENSAIOS

4.14.1 Ensaios de resistência à compressão

Com relação aos ensaios de resistência à compressão dos corpos de prova, iniciou-se o estudo realizando os ensaios com os mesmos sendo capeados com enxofre. No decorrer dos trabalhos, verificou-se que o acabamento do corpo de prova nas superfícies de contato com a prensa era bastante regular e plano, devido ao tipo de compactação promovida pelo equipamento Mini-MCV, bem como a prensa para ensaios de resistência consegue absorver pequenos desníveis, que não alteram consideravelmente os resultados finais. Portanto, face a isto passou-se a realizar os ensaios dos corpos de prova sem o capeamento.

Para os blocos vazados, iniciou-se realizando os ensaios com capeamento com argamassa, conforme já descrito, mas havia uma dificuldade de realização deste procedimento, pois tinha a necessidade de esperar a cura da argamassa ou que a mesma atingisse resistência necessária para não se romper antes dos blocos vazados, prejudicando o tempo de cura dos blocos vazados, pois os blocos vazados tinham de ser retirados da água antes do prazo final de cura, para o capeamento. A argamassa teve de ser substituída por uma com cimento ARI CPV para diminuir este tempo de cura, mas mesmo assim haviam prejuízos.

Por sugestão do encarregado da fábrica da ONG Ação Moradia, Sr, Oscar, fizemos um teste de ensaio de compressão dos blocos vazados, utilizando como uma capa dos blocos as próprias matrizes da prensa, que produz os blocos vazados, que são confeccionadas em aço e se encaixavam perfeitamente no bloco, havendo uma melhoria no processo e facilitação do trabalho.

4.14.2 Ensaio Mini-MCV

O ensaio deve ser realizado preferencialmente por um só técnico, pois pode haver diferenças de leituras, na fase inicial, quando o material é colocado no cilindro e procede-se a primeira acomodação do material no interior do cilindro.

Deve-se também tomar o cuidado de aferir a calibração do extensômetro em intervalos de leitura, pois podem haver variações.

4.14.3 Ensaio de durabilidade

Os ensaios de durabilidade não foram realizados nos corpos de prova, tendo em vista que a norma ABNT NBR 13354:2012, prescreve este ensaio para corpos cilíndricos fabricados segundo a ABNT NBR 12024:2012 com diâmetro de 100 mm, diferente do diâmetro do corpo de prova moldado através do equipamento Mini-MCV, que é de 50 mm, bem como as alturas também são diferentes, portanto não se aplica.

4.15 OBSERVAÇÕES GERAIS

A recomendação da ABNT NBR 15116:2004, em seu item 7.2.3, para a pré-molhagem dos agregados em torno de 80 % do teor de absorção de água do agregado reciclado, apesar de ser para o preparo do concreto, nos parece pertinente também para o caso em estudo, mas surge como uma recomendação difícil de ser atendida, tendo em vista o lado prático da fabricação do bloco vazado, pois na fábrica este controle é praticamente impossível de ser realizado, tendo em vista que a umidade necessária à moldagem na prensa hidráulica não é a umidade ótima e sim um pouco abaixo, para possibilitar a retirada do bloco da prensa sem avarias. Haveria necessidade ou de secar o agregado até massa constante e acrescentar os 80% de água sugeridos pela norma ou em todos os lotes determinar a absorção do agregado a ser utilizado e acrescentar a quantidade de água para completar os 80%, o que oneraria tremendamente o processo de produção, tanto em prazo de execução, diminuindo a produtividade, como em pessoal técnico, inviabilizando a utilização do agregado, pois, além disso, a determinação da absorção do agregado requer metodologia apropriada, que foi desenvolvida por Dias e Agopyan (2004) que é de difícil execução na fábrica. Tendo em vista estas dificuldades, esse processo estaria contrariando o objetivo deste estudo que seria o desenvolvimento de uma mistura de fácil execução prática na fábrica.

Para verificarmos se a água utilizada nos experimentos foi necessária para a hidratação do cimento, fizemos as seguintes considerações: partimos de uma mistura M4, composta de 1000 kg de solo + ART (632,86 kg de ART + 367,14 kg de solo), que gastaria 127 kg de cimento para sua estabilização; total da mistura 1.127 kg, o que demandaria 19 % de água para amassamento que seriam 214,13 litros. A absorção do ART, levantada por Dias (2004) foi de $17,5 \% \pm 0,7 \%$, que calculando pelo máximo valor seria $632,86 \text{ kg} \times 18,2 \% = 115,18$ litros de água para saturar o ART. Temos disponíveis 214,13 litros, sobrando, portanto $214,13 - 115,18 = 98,95$ litros para reagir com o cimento. Para a reação com o cimento gasta-se entre 23 % e 24 % da água total, portanto a quantidade a ser gasta seria $0,24 \times 214,73 = 51,53$ litros que é menor do que o valor de 98,95 litros que sobrou e está disponível. Portanto pelos cálculos, a água adicionada é suficiente para a reação com o cimento. Resultaria então, teoricamente, um fator água cimento de $98,95/127 = 0,78$.

Constatou-se nos experimentos realizados, que a quantidade de água para amassamento das misturas solo cimento agregado é bem maior do que aquela requerida para a mistura solo cimento, fato este devido à elevada absorção do ART, confirmando os relatos da literatura consultada. Este fato deve ser levado em conta, para prevenir a dificuldade de se obter misturas homogêneas, tomando-se o cuidado de misturar bem os componentes da mistura, pois como já foi dito há uma dificuldade prática muito grande de ser executada a pré-molhagem dos agregados.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES

5.1 CONCLUSÕES FINAIS.

O objetivo deste trabalho foi estudar a incorporação de resíduos de telhas cerâmicas britados, na mistura solo cimento, para fabricação de blocos vazados. Justificou-se a proposta de pesquisa baseada na quantidade desses resíduos gerados pelas indústrias de telhas cerâmicas, após queima, cujo potencial para reciclagem, foi comprovado em trabalhos já publicados. A dificuldade de se estudar os blocos vazados de solo cimento e de solo cimento agregado no chão da fábrica justificava o estudo da compatibilização da energia fábrica \times laboratório. Os experimentos realizados inicialmente demonstraram não ser adequado utilizar-se a compactação através do cilindro de Proctor, pois a compactação é dinâmica, não abrange toda a superfície a compactar do corpo de prova, além do efeito parede existente na superfície do cilindro diferente do molde do bloco, ou seja, não foi possível compatibilizar as energias na fábrica e no laboratório quando se utilizou esse procedimento. Partindo-se para o ensaio Mini-MCV, detectou-se que pode ser mais bem empregado nesse caso, pois encontrou-se uma faixa de energia empregada no procedimento que foi compatível com a energia que a prensa hidráulica disponibiliza.

Estima-se que dentre as dificuldades para se compatibilizar as energias se incluem a geometria das peças que são moldadas e o efeito parede. Encontrada a faixa de energia inicial para ser utilizada no laboratório, partiu-se para o estudo das misturas do solo cimento com agregado reciclado de telha cerâmica utilizando-se o método de otimização dos volumes dos materiais desenvolvido por Dias et. al. (2001), baseando-se no índice de vazios do agregado e do agregado cimento e o procedimento Mini-MCV.

Considerando os resultados obtidos, concluiu-se que:

- A metodologia de compactação através do procedimento feito pelo método DNER-ME 258:1994 – Solos compactados em equipamento miniatura – Mini-MCV e comparação das MEAS dos blocos vazados e dos corpos de prova para definir o nível de compactação através do número de golpes atingiu a expectativa esperada, gerando energias de compactação compatíveis entre blocos vazados e corpos de prova, e pode ser utilizado, desde que nas mesmas condições, ou seja: mesma mistura, mesma umidade, bem como atendendo ou que preceitua o método, para material passante na peneira com abertura de malha 2,00 mm, permitindo desta forma moldar no laboratório corpos de prova com MEAS compatível com a dos blocos vazados produzidos na fábrica. A utilização desse procedimento em laboratório facilitará estudos diversos sobre misturas de materiais granulares ao solo cimento contribuindo para o aproveitamento de resíduos minerais.
- Para se otimizar a utilização do processo de compactação Mini-MCV a compactação e leitura do extensômetro, devem ser feitas golpe a golpe e não seguindo a sequência padrão proposta pelo método, de forma a ter uma maior precisão e controle da MEAS a ser atingida. O número de golpes a ser utilizado para a moldagem dos corpos de prova deve ser padronizado maior do que o calculado e ou estimado para a moldagem, de forma a atingir a variação das MEAS máxima e mínima observadas no estudo. No caso deste estudo a MEAS da mistura solo cimento agregado, é menor do que a da mistura solo cimento, pois o ART é mais leve do que o solo. Razão pela qual o número de golpes estimado inicialmente tornou-se compatível. Cada tipo de agregado deve merecer um estudo à parte desse número de golpes.
- O método Mini-MCV mostrou grandes vantagens e facilidades em relação ao ensaio de Proctor, tais como: permite avaliar golpe à golpe a MEAS, sem a necessidade de concluir todo o ensaio; molda o corpo de prova com superfícies bem regulares, planas e niveladas, facilitando o ensaio de compressão, pois não necessita de capeamento; consome uma quantidade bem menor de materiais; devido ao tipo

de soquete, que na compactação abrange toda a superfície do corpo de prova, é plano e nivelado, permite uma avaliação mais precisa da altura do corpo de prova para os cálculos da MEAS.

- A utilização da técnica desenvolvida por Dias et. al (2004) para se efetivar a mistura solo-agregado, utilizando-se uma metodologia de otimização dos volumes dos materiais para a mistura, visando obter melhor ocupação do volume compactado, com conseqüente melhor distribuição das tensões nos grãos do agregado para prevenir a quebra, levantando-se a hipótese de que esta condição seria alcançada quando a quantidade de solo cimento compactado em volume, fosse igual à porosidade (vazios entre os grãos) do agregado, possibilitou estabelecer as misturas iniciais, sem ter a necessidade de se lidar com misturas aleatórias e empíricas, muitas vezes sem possibilidade de êxito. A mistura final, mais adequada mostrou que foi necessário um acréscimo de solo cimento compactado de 6,56 % sobre o índice de vazios do ART e 8,83 % sobre o índice de vazios do ART + cimento.
- Os corpos de prova e os blocos vazados produzidos com as misturas solo + cimento + agregado reciclado de telha, mostraram uma maior homogeneidade nas misturas, bem como nas características de resistência e absorção de água, além de serem mais leves do que os de solo cimento, possibilitando a diminuição das cargas nas estruturas e fundações.
- Houve uma queda no consumo de cimento, pois para fabricar um bloco vazado de solo cimento houve um gasto médio de 345,76 gramas de cimento e para fabricar um bloco de solo cimento agregado com a mistura M4, o gasto médio de cimento foi 309,22 gramas, ou seja 10,56% menor.
- O consumo de água em massa para amassamento da mistura aumentou dos 8,75 % gastos no caso da mistura solo cimento para 21,63 % sobre a mistura seca de solo + cimento + agregado reciclado de telha, considerando-se a umidade ótima das misturas, e de 8,75 % para 19 % considerando-se a umidade real de moldagem dos blocos

vazados de solo cimento ART, fato este devido a grande capacidade de absorção do ART, que deve ser levado em consideração, quando o mesmo for utilizado.

- A adição do aditivo impermeabilizante Sika 1 nas percentagens estudadas (1 %, 4 % e 8 %) possibilitou reduzir a absorção de água dos corpos de prova, mas apenas na percentagem de 4 % é que foram atendidos os requisitos normativos, sendo que neste caso, possibilitou também um aumento significativo de 33,45 % na resistência média à compressão e 32,38 % na menor resistência à compressão aos 28 dias de idade em comparação com a mistura original sem aditivo.
- A adição do estabilizante Ecolopavi, na dosagem de 1 litro para cada 1000 quilogramas de mistura possibilitou reduzir a absorção de água dos corpos de prova e atendeu ao limites normativos, bem como também para a resistência a compressão simples, mas a resistência média à compressão aos 28 dias caiu 15,51 %, e a mínima caiu 15,98 % em relação a mistura sem estabilizante. Mas mesmo assim esta mistura não pode ser descartada, e deve ser objeto de estudos, fabricando o bloco vazado e analisando os resultados.
- A adição do extrato da planta Aloe vera, na dosagem de 5 % provocou uma redução na absorção de água dos corpos de prova, mas ainda assim não atendeu aos limites normativos; já a resistência média à compressão aos 28 dias ficou praticamente estável com uma pequena queda de 0,34 % e o valor mínimo caiu 10,24 % em relação à mistura original sem adição.
- A possibilidade da utilização dos agregados reciclados de telhas cerâmicas vermelhas em misturas para produção de blocos de solo cimento agregado é uma alternativa sustentável e ecologicamente correta, pois permite o aproveitamento de um resíduo industrial, agregando valor a ele, e contribuindo para a diminuição dos impactos na natureza, preservando desta forma o meio ambiente, além de reduzir a extração de solo da natureza.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

1) Outras pesquisas poderão seguir o mesmo roteiro com a utilização do agregado reciclado de telha de cerâmica vermelha (ART) passante na peneira com abertura de malha 2,0 mm, de forma a melhorar e ou confirmar os resultados obtidos, principalmente no que tange a absorção de água, tais como:

- Utilizar para a fabricação dos blocos vazados uma prensa com capacidade de prensagem maior do que a utilizada no estudo, que foi de 6 toneladas, de forma a conseguir uma MEAS maior do que a alcançada nessa pesquisa, e consequentemente a absorção deverá diminuir atingindo os níveis normativos. Em face disso a resistência à compressão que já está de acordo com a norma, também deverá aumentar. Com uma prensa com maior capacidade de prensagem, aditivos e ou estabilizantes talvez não serão necessários na mistura solo cimento agregado.
- Utilizar aditivo plastificante, que já foi objeto de estudo em Rodrigues (2008), indicando efeito positivo na absorção de água em determinadas dosagens com resíduos.
- Variar a dosagem do estabilizante Ecolopavi para verificar as tendências das variáveis resistência à compressão e absorção de água.
- Variar a dosagem do extrato de Aloe vera, tendo em vista que os estudos feitos por Rebouças et al (2011), utilizando os resultados dos testes feitos por Buson (2009), mostraram que a adição de 15 % de seiva de babosa ao tijolo ecológico krafterra comum, fez cair em 6 % a absorção de água em relação ao bloco de tijolo comum - BTC, que nos testes com água apresentava antes da adição da babosa, cerca de 7,6 % mais absorção que o BTC, para verificar as tendências das variáveis resistência à compressão e absorção de água.
- Proceder o mesmo estudo, substituindo o solo arenoso que foi utilizado nesta pesquisa por um do tipo argiloso, desde que a mistura final solo agregado atenda as normas da ABNT.
- Efetuar a mesma pesquisa, utilizando outros aditivos e estabilizantes existentes no mercado, tomando-se o devido cuidado com a apuração dos custos finais.
- Aumentar a quantidade de cimento a ser adicionado, tomando o devido cuidado de avaliar os custos, tendo em vista que a mistura M6, com uma quantidade de

cimento maior do que a da pesquisa, mas igual à do bloco vazado de solo cimento teve comportamento satisfatório, inclusive com absorção de água menor do que a mistura M4.

2) Em relação aos métodos utilizados nesta pesquisa, no que tange a otimização dos volumes dos materiais (DIAS, 2004), de forma a preencher os vazios do agregado com solo cimento compactado e o método de compactação Mini-MCV, poderão ser estudadas misturas com outros resíduos utilizando estes procedimentos, para confirmar a possibilidade de se obter resultados compatíveis com os mesmos, de forma a tentar padronizar estes métodos, pois isto facilitaria bastante as pesquisas nesta área, conforme já foi relatado.

3) Outras sugestões para pesquisas futuras:

- Utilizar o ART, como componente de argamassas, já que o mesmo possui uma quantidade razoável de areia, 74,42 %.
- Pesquisar a incorporação do ART na composição do solo cimento para fabricação de blocos não aparentes, com a fração que passa na peneira com abertura de malha 4,75 mm, tomando-se o cuidado de não utilizar o método de compactação Mini MCV, pois ele se aplica apenas para a fração que passa na peneira com abertura de malha 2,0 mm.
- Desenvolver uma metodologia específica para o ensaio de durabilidade a ser aplicado nos corpos de prova modados através do método Mini-MCV.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AÇÃO MORADIA. **Construção com tijolos ecológicos**, Uberlândia 2014. Disponível em <<http://www.acaomoradia.org.br>>. Acesso em: 05 fev. 2014.

AGOPYAN, V.; JOHN, V. M. **Reciclagem de resíduos da construção**. São Paulo: EPUSP, 2001. 13p.

ANEPAC – Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção Civil. 2015. Disponível em <<http://anepac.org.br/wp/mercado/informe-estatistico/>>. Acesso em 20 de fev. 2015

ARAÚJO, L. N. P. Construbusiness: a locomotiva do desenvolvimento. **Revista Trevisan**. São Paulo, ano XII, n. 135. 1999. p. 8-15.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Cimento – Aplicações**. 2009. Disponível em <<http://www.abcp.org.br/conteudo/basico-sobre-cimento/aplicacoes/aplicacoes#.VOyNwbFEPEo>>. Acesso em 24 fev. 2015

_____. **Solo-cimento na habitação popular**. São Paulo-SP, ABCP, Boletim Técnico n. 129, 16p., 1998.

_____. **Dosagem das misturas de solo-cimento; normas de dosagem e métodos de ensaio**. 3. ed. atual. Revisada pelo Engº Márcio Rocha Pitta. São Paulo-SP, 1986. 57p. (ET-35).

_____. **Dosagem de solo-cimento em traços de um saco de cimento.** São Paulo-SP, ABCP, 1985. Estudo Técnico n. 57, 27 p., 1985.

_____. **Fabricação de tijolos e blocos de solo-cimento com a utilização de prensas hidráulicas.** São Paulo-SP, ABCP, Boletim Técnico n. 112, 5p., 1985.

_____. **Retração de solo-cimento.** Estudo Técnico. Engº Márcio Rocha Pitta. São Paulo-SP, 1985. 63p. (ET-74).

_____. **Evolução das pesquisas de laboratório sobre solo-cimento.** 4. ed. São Paulo, ABCP, 1980. 22p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5732:** Cimento Portland comum. Rio de Janeiro, 1991.

_____. **NBR 5736:** Cimento Portland pozolânico. Rio de Janeiro, 1991.

_____. **NBR 6457:** Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 1986.

_____. **NBR 6459:** Solo - Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 1984.

_____. **NBR 6502:** Rochas e solos. Rio de Janeiro, 1995.

_____. **NBR 6508:** Grãos de solo que passam na peneira com abertura de malha de 4,8 mm - Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 1984.

_____. **NBR 8491:** Tijolo maciços de solo-cimento. Rio de Janeiro, 1984.

_____. **NBR 8492:** Tijolo maciço de solo-cimento— Determinação da resistência à compressão e da absorção d'água. Rio de Janeiro, 1984.

_____. **NBR 7180:** Solo - Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 1984 versão corrigida: 1988.

_____. **NBR 7181:** Solo - Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 1984 Versão corrigida: 1988.

_____. **NBR 7182:** Solo - Ensaio de compactação. Rio de Janeiro, 1986 Versão corrigida: 1988.

_____. **NBR 10004:** Resíduos sólidos - Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR 10833:** Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica. Rio de Janeiro, 2012.

_____. **NBR 10834:** Bloco de solo-cimento sem função estrutural - requisitos. Rio de Janeiro, 2012.

_____. **NBR 10834:** Bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural. Rio de Janeiro, 1994.

_____. **NBR 10836:** Bloco de solo-cimento sem função estrutural – análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água – método de ensaio. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 10838:** Solo - Determinação da massa específica aparente de amostras indeformadas, com emprego de balança hidrostática - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1988. Confirmada em 10 de jan. 2014.

_____. **NBR 12023:** Solo-cimento – Ensaio de compactação. Rio de Janeiro, 2012.

_____. **NBR 12024:** Solo-cimento - Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1992.

_____. **NBR 12025**: Solo-cimento - Ensaio de compressão simples de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1990.

_____. **NBR 12253**: Solo-cimento – Dosagem para emprego como camada de pavimento. Rio de Janeiro, 2012.

_____. **NBR 12254**: Solo-cimento – Execução de base de solo-cimento - procedimento. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 13354**: Solo-cimento – Ensaio de durabilidade por molhagem e secagem – método de ensaio. Rio de Janeiro, 2012.

_____. **NBR 15116**: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural - Requisitos. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR 16097**: Solo – Determinação do teor de umidade — Métodos expeditos de ensaio. Rio de Janeiro, 2012.

_____. **NBR NM 23**: Cimento portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2001.

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

_____. **NBR NM 49**: Agregado miúdo – Determinação de impurezas inorgânicas. Rio de Janeiro, 2001.

_____. **NBR NM-ISO 3310-1**: Peneiras de ensaio – Requisitos técnicos e verificação - Parte 1: Peneiras de ensaio com tela de tecido metálico. Rio de Janeiro, 1997.

BACH, D. B.; LOPES, M. A. Estudo da viabilidade econômica do cultivo da babosa (*Aloe vera* L.). **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 4, p. 1136-1144, 2007.

BRASIL. Instrução Normativa 01, de 19 de janeiro de 2010. Dispõe sobre os critérios de sustentabilidade ambiental na aquisição de bens, contratação de serviços ou obras pela Administração Pública Federal direta, autárquica e fundacional e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 20 de jan. 2010. Disponível em <http://ftp.tjmg.jus.br/sustentabilidade/biblioteca/criterios_sustentabilidade.pdf>. Acesso em 20 de jan. de 2014.

BRAZETTI, R. **Considerações sobre a influência de distintos aditivos orgânicos nas características micromorfológicas, mineralógicas, físicas, mecânicas e hidráulicas de um solo laterítico**. 1998. Tese de Doutorado. Escola Politécnica. Universidade de São Paulo. 275 p. 1998.

BUENO, B.S.; VILAR, O. M.; **Mecânica dos Solos – Vol. 1**. Universidade de São Paulo - Escola de Engenharia de São Carlos – Departamento de Geotecnia – Viçosa/São Carlos 1979.132p.

BUSON, M. A. **KRAFTTERRA: Desenvolvimento e análise preliminar do desempenho técnico de componentes de terra com a incorporação de fibras de papel Kraft provenientes da reciclagem de sacos de cimento para vedação vertical**. 2009. ~135p.: 64 il. Tese (Doutorado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

CALMON, J. L., et al. **Aproveitamento do resíduo de corte de granito para produção de tijolos de solo cimento**. In: ENTAC 98 - QUALIDADE NO PROCESSO CONSTRUTIVO, 1998, Florianópolis. *Anais...* Florianópolis- NPC/ECV/CPC/UESC, 1998. p.899-907.

CARNEIRO, A.P.; CASSA, J.C.S.; BRUM, I.A.S. (Org.). **Reciclagem de Entulho para a Produção de Materiais de Construção**: Salvador; EDUFBA, 2001. 312 p. Projeto Entulho Bom.

CASTRO, S. F. **Incorporação de resíduos de caulim em solo-cimento para construções civis** – 2008. 112 f.il. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2008.

CENTRO DE PESQUISAS E DESENVOLVIMENTO - CEPED. **Manual de construção com solo-cimento**. Camaçari: CEPED/ABCP, 1984. 116 p.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 307 de 5 de julho de 2002. Dispõe sobre gestão dos resíduos da construção civil. 2002. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=307>>. Acesso em 30 mar. 2014

CREA, P. **Aloe Sabila manual práctico y clínico: terapias e medicinas alternativas**. Buenos Aires: Continente, 1995. 128 p.

CIMENTOS LIZ. Tipos de cimento. Ensaio Cimento. 2015. Disponível em <<http://www.cimentosliz.com.br/cimento/ensaioCimento>>. Acesso em 26 fev. 2015.

CYTRYN, S. **Soil construction: its principle and application for housing**. State of Israel –Ministry of Labor – House Division. The Weizmann Science Press of Israel. Jerusalém, 1957.

DALLACORT, R. et al. Resistência à compressão do solo cimento com substituição parcial co cimento Portland por resíduo cerâmico moído. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.6, n.3, p.511-518, 29 abr. 2002 - <<http://www.agriambi.com.br>>.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM – DNER – **Solos compactados em equipamento miniatura – Mini-MCV** – Norma Rodoviária - Método de Ensaio – DNER-ME 258/94 14p. 1994.

DIAS, J.F.; TOFOLLI, S.M.; AGOPYAN, V. Absorção de telhas de cerâmica vermelha. In: Congresso Brasileiro de Cerâmica, Curitiba, 2004. **48º CBC**. São Paulo: ABC, 2004. ref.5-64. 10p.1 CD-ROM.

DIAS, J.F. e AGOPYAN, V. Determinação da absorção de agregados reciclados porosos. In: claDS'04 ENTAC'04, São Paulo, 2004. **claDS'04 ENTAC'04**. São Paulo: ANTAC, 2004. cód.1094. 10p.1 CD-ROM.

DIAS, J. F. **Avaliação de resíduos da fabricação de telhas de cerâmica vermelha para seu emprego em camadas de pavimento de baixo custo**. 2004. 251p. Tese (Doutorado em Engenharia) - Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

DIAS, J.F. et. al. Procedimento alternativo para otimizar misturas de solo-agregado. In: 35a. Reunião Anual de Pavimentação, Rio de Janeiro, RJ, 2004. **35a. RAPv**: Rio de Janeiro, 2001. [no prelo]

DIAS, R. F. **Avaliação técnica da fabricação de blocos de solo-cimento**. 2013. Trabalho de Conclusão de curso. Faculdade de Engenharia Civil. Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2013.

ECOLOPAVI. 2015. Disponível em <<http://www.ecolopavi.com.br/1.atecnologia.html> e <http://www.ecolopavi.com.br/4.aplicacoes.html>>. Acesso em 16/01/2015.

ECOMAQUINAS. Matriz coluna jogo completo. 2015. Disponível em <<http://ecomaquinas.com.br/produtos/102>>. Acesso em 25 fev. 2015.

ECOMAQUINAS. Modelos de blocos e tijolos ecológicos. 2015. Disponível em <<http://ecomaquinas.com.br/modelos-de-blocos-e-tijolos-ecologicos>>. Acesso em 18 de mar. 2014.

ENTEICHE, A. A. **Suelo-cemento, su aplicacion em la edificacion**. Bogotá, CINVA, 1963.

FABBRI, G. T. P. **Caracterização da fração fina de solos tropicais através da adsorção de azul de metileno**. 1994. Tese de Doutorado. Departamento de Transportes. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, 1994.

FERRAZ, A. L. N.; DA SEGANTINI, A. A. S. Estudo da aplicação de resíduo de argamassa de cimento nas propriedades de tijolos de solo-cimento. **Holos Environment-Revista Científica do Centro de Estudos Ambientais CEA/UNESP. São Paulo**, 2003.

FERRAZ, A. L. N. **Análise da adição de resíduos de argamassa de cimento em tijolos prensados de solo-cimento**. 2004. 97 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2004.

FERRAZ, A. L. N.; SEGANTINI, A. A. S. **Engenharia Sustentável: aproveitamento de resíduos de construção na composição de tijolos de solo-cimento**. 2004. Encontro de Energia no meio rural, 2004, Campinas, 2004. disponível em <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022004000100052&script=sci_arttext>. Acesso em 04 abr. 2014.

FERRAZ, R. L.; BELICANTA, A. ; GUTIERREZ, N. H. M. **Estudo comparativo de alguns métodos de dosagem de misturas solo-cimento**. In: I Encontro Tecnológico da Engenharia Civil e Arquitetura de Maringá, 2000, Maringá PR. ENTECA 2000. Maringá : Universidade Estadual de Maringá, 2000. v. 1. p. 173-181.

FERREIRA, R. C.; GOBO, J. C. C.; CUNHA, A. HN. Incorporação de casca de arroz e de braquiária e seus efeitos nas propriedades físicas e mecânicas de tijolos de solo-cimento. **Engenharia Agrícola, Jaboticabal**, v. 28, n. 1, p. 1-11, 2008.

FLICKR. Convento de San Francisco – argentina. Disponível em <<https://www.flickr.com/photos/andresbueno/3117828971/>>. Acesso em 18 dez. 2014

FONSECA, A. P. . **Estudo comparativo de concretos com agregado graúdo reciclado de telha cerâmica e agregado graúdo natural**. 2006. 200 f. Dissertação de mestrado – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2006.

FREIRE, W. J. **Tratamento prévio do solo com aditivos químicos e seu efeito sobre a qualidade do solo-cimento.** 1976. 142 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1976.

GRANDE, F. M. **Fabricação de tijolos molares de solo-cimento por prensagem manual com e sem adição de sílica ativa.** São Carlos, 2003.165p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA - IPEA. **Estudo aponta redução no déficit habitacional no país.** 2013. Disponível em <http://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=20656&catid=1&Itemid=7>. Acesso em: 05 fev. 2014

JARDIM, N. S. **Lixo municipal:** manual de gerenciamento integrado. São Paulo-SP: 1995. (IPT, 2163).

JIMÉNEZ, Y. G. A.; DOMÍNGUEZ, E. J. S.. Efecto de la impermeabilidad del Mucílago de Nopal en bloques de tierra comprimidos. **Nova Scientia**, v. 6, n. 11, p. 311-323, 2013.

JIMÉNEZ, Y. G. A. Utilización de savias vegetales para La fabricacion de BTC. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARQUITETURA E CONSTRUÇÃO COM TERRA - Terra Brasil 2008, 2., 3 à 8 nov. 2008, São Luis.

JOHN, V. M. **Aproveitamento de resíduos como materiais de construção.** Reciclagem de entulho para produção de materiais de construção. Salvador: EDURFA, 2001. p.28-45. (Projeto entulho bom).

JOHN, V.M. **Reciclagem de resíduos na construção civil – contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento.** São Paulo, 2000. 102p. Tese (livre docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

JOHN, V. M. **Aproveitamento de resíduos na construção civil.** In: SEMINÁRIO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL,

2, 1999, São Paulo: Anais...São Paulo: IBRACON.

JOHN V. M.; ÂNGULO, S. C. **Metodologia para desenvolvimento de reciclagem de resíduos**. 2003. Coletânea Habitare. v. 4, Utilização de resíduos na construção habitacional Associação Nacional de tecnologia do Ambiente Construído – ANTAC, Porto Alegre, 2003.

KORMANN A. C. M. et al. Comportamento de solos siltosos quando melhorados com aditivos químicos e orgânicos. **Revista Engenharia**, São Paulo, 2011. Disponível em <<http://www.brasilengenharia.com.br/ed/605/605ArtConsCivil2.pdf>>. Acesso em 30 jan. 2015.

LEVY, S. M. **Reciclagem do entulho da construção civil, para utilização como agregado para argamassas e concretos**. São Paulo: 1997, 147f. Dissertação (Mestrado) EPUSP.

LIMA, F. X. R. F. **Blocos de terra compactada de solo-cimento com resíduo de argamassa de assentamento e revestimento: caracterização para uso em edificações**. 2013. 114 f. Doutorado (Tese). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

LIMA, R. C. O. **Estudo da durabilidade de paredes monolíticas e tijolos de solo-cimento incorporados com resíduo de granito**. 2010. 107 p. Centro de Tecnologia de Recursos Naturais. Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2010.

LIZ CIMENTOS. **Ensaio de cimento**. Vespasiano, 2014. Disponível em <<http://www.cimentosliz.com.br/cimento/ensaioCimento>>. Acesso em: 10 jun. 2014.

MERCADO, M. C. **Solo-cimento: alguns aspectos referentes a sua produção e utilização em estudo de caso**, 1990. Dissertação de Mestrado FAU/USP, São Paulo, 1990.

MERRIL, A.F. (1949). **Casas de tierra apisonada y suelo-cemento**. Buenos Aires, Windsor.

MILANI, A. P. S.; FREIRE, W. J. **Características físicas e mecânicas de misturas de solo, cimento e casca de arroz**. Engenharia Agrícola – Artigos científicos construções rurais e ambiência, Jaboticabal, vol.26, n. 1, p. 2, Jan./abr. 2006.

MINAS GERAIS. Decreto nº 45.181, de 25 de setembro de 2009. Regulamenta a Lei nº 18.031, de 12 de janeiro de 2009, e dá outras providências. Minas Gerais **Diário do Executivo** – 26 de setembro de 2009 pág. 1 col. 1 – disponível em <<http://www.almg.gov.br/consulte/legislacao/completa/completa.html?tipo=Dec&num=45181&comp=&ano=2009>>. Acesso em 24 de junho de 2014.

MINAS GERAIS. Lei 18.031, de 12 de janeiro de 2009. Dispõe sobre a Política Estadual de Resíduos Sólidos. Minas Gerais **Diário do Executivo** – 13 de janeiro de 2009 – disponível em <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=9272>>. Acesso em 24 de junho de 2014.

NEVES, C. M. M et al. Seleção de solos e métodos de controle em construção com terra – práticas de campo. **PROTERRA/CYTED, IV SIACOT/III ATP**, 2005.

NEVES, C. M. M. et al. **Uso do agregado reciclado em tijolos de solo estabilizado com cimento**. In. Reciclagem de entulho para a produção de materiais de Construção. EDUFBA; Caixa Econômica Federal. Brasil, 2001, p. 228-261.

NOGAMI, J.S., VILLIBOR, D.F. Caracterização e Classificação Gerais de Solos para Pavimentação: Limitações do Método Tradicional, Apresentação de uma Nova Sistemática. In: 15ª Reunião Anual de Pavimentação, 1980, Belo Horizonte. **Anais...RAPv**, 1980. 38p

OLIVEIRA, Tales Moreira de. **Caracterização de misturas de rejeitos de minério de ferro melhoradas com adição de cimento com vistas à aplicação em estradas e aterros**. 2013. 71 fl. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013.

PARSONS, A. W.; Bolden, J. B. - **The Moisture Conduction Test and its Potential Application in Earthworks**. Transport and Research Board - Supplementary Report N° 522. 1979.

PARSONS, A. W. **The Rapid Measurement of the Moisture Conduction of Earthwork Material**. Transport and Road Research Laboratory, Report N° 750. 1976.

PEDRO, R. Propriedades da babosa. - **Revista H&C – Household & Cosméticos**, São Paulo, 2015. Disponível em: <http://www.freedom.inf.br/artigos_tecnicos/hc54/ricardopedro.asp>. Acesso em: 30 jan. 2015.

PENTEADO, P. T; MARINHO, R. C. **Análise comparativa de custo e produtividade dos sistemas construtivos: Solo-Cimento, Alvenaria Convencional e Alvenaria Estrutural**. 2011. 64 f. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia de Produção Civil- Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2011

PEREIRA, E. G. **Aproveitamento do resíduo da estação de tratamento de água de Cubatão para fabricação de elementos construtivos estruturais**. 2008. 100 p. Pós Graduação de Engenharia. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

PISANI, M. A. J. **Um material de construção de baixo impacto ambiental: o tijolo de solo-cimento**. 2005. CEFET, São Paulo, 2005. Sinergia, São Paulo, v.6, n. 1, p. 53-59, jan/jun. 2005.

PROJETOS & PRODUTOS ECOLÓGICOS. 2014. Disponível em <<http://www.ecol-tijol.com.br,comparação>>. Acesso em 30/03/2014.

REBOUÇAS, A. S. et al. **KRAFTERRA: TIJOLO ECOLÓGICO**. e-Xacta, Belo Horizonte, v. 4, n. 2, 2011. Disponível em <<http://revistas.unibh.br/index.php/dcet/article/view/355>>. Acesso em 30 jul 2014.

REVISTA AREIA E BRITA. São Paulo. ANEPAC – Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção Civil, v. 54, p. 27, jul./ago./set. 2011. 44 p. Disponível em <<http://anepac.org.br/wp/mercado/informe-estatistico/>>. Acesso em 30 de jan. 2015.

RIGHI, Geovane Venturini. **Estudos dos sistemas de impermeabilização: patologias, prevenções e correções–análise de casos**. 2009. Pós-graduação em Engenharia Civil - Centro de Tecnologia – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009, 94 p. Dissertação de Mestrado.

RODRIGUES, M. L. A. **Adição de resíduo de argamassas mistas na produção de tijolos modulares de solo-cimento**. 2008. Escola de Engenharia Civil – UFG, Goiânia, 2008, 106 p. Dissertação (Mestrado)

SANTIAGO, Cybèle Celestino. O solo como material de construção. **Editora de UFBA. 2a Edição. Salvador-Bahia**, 2001.

SEGANTINI, A. A. S. **Utilização de solo-cimento plástico em estacas escavadas com trado mecânico em Ilha Solteira (SP)**. 2000. 176 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de

SENÇO, W. (1997). **Manual de técnicas de pavimentação**. Editora Pini Ltda. São Paulo, SP. 746p.

SIKA. 2015. Sika 1. Disponível em <<http://bra.sika.com/pt/solucoes-produtos/construcao/impermeabilizacao/fundacoes-e-subsolos/grupos-de-produtos-fundacoes-e-subsolos/aditivos-impermeabilizantes.html>>. Acesso em 16/01/2015.

SILVA, S. R. **Tijolos de solo-cimento reforçado com serragem de madeira**. 1005. 202 p. Dissertação de mestrado - Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte 2005.

SILVA, W. G. **Avaliação de concreto auto-adensável produzido com agregado reciclado de telha**. 2012. 134 p. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2012.

SILVEIRA, A. **Estabilização de solos com cimento**. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1966, 45p. (Notas de Aula).

SJOSTROM, E. Service life of the building. In: **Application of the performance concept in building**. CIB: Tel Aviv, 1996, v.2, p.6-1;6-11.

SÓRIA, M.H.A; FABBRI, G.T.P. O Ensaio Mini-MCV – um ensaio de MCV, Moisture Condition Value, com corpos de prova de dimensões reduzidas. In: **REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 15a.**, p. 01-22, 1980. Belo Horizonte, MG, 1980.

SOUZA, M. I. B. **Análise da Adição de resíduos de concreto em tijolos prensados de solo-cimento**. 2006. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2006, 116 p. Dissertação (Mestrado).

SOUZA JÚNIOR. J. D. **O Efeito da Energia de Compactação em Propriedades dos Solos Utilizados na Pavimentação do Estado do Ceará**. 2005. 211 fl., Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2005.

TAVEIRA, E. S. N. O solo-cimento no campo e na cidade: construir, morar, habitar. **Coleção Brasil Agrícola, Ícone editora. 2ª edição**. São Paulo, SP, 1987. 120 p.

WATANABE, Mário. **O desafio de privatizar a moradia popular**. Qualidade na construção, São Paulo, n. 22, p.12-20, 2000. (Habitação).

WIKIPÉDIA. Muralha da China, 2014. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Muralha_da_China>. Acesso em 05 fev. 2014.

APÊNDICE A

RESULTADOS DAS MEDIÇÕES DAS MISTURAS E DOS ENSAIOS DOS BLOCOS VAZADOS DE SOLO CIMENTO

Neste apêndice apresentam-se os resultados das medições e cálculos relativos aos materiais componentes das misturas M1_{sc}, M2_{sc}, M3_{sc} e M4_{sc}, bem como das respectivas misturas e os resultados dos ensaios de balança hidrostática para determinação da MEAS, resistência à compressão simples e absorção de água dos blocos confeccionados com estas misturas.

Ap-A1. Resultados da Mistura M1_{sc} e dos blocos vazados

Tabela A1 - Cálculo da umidade do solo – amostra 1 que passa na peneira com abertura de malha 2,00 mm

Material - solo - amostra 1 – mistura M1 _{sc}			
Propriedades	Cápsula		
	89	134	157
Massa úmida (g)	71,71	74,99	66,06
Tara (g)	15,48	18,64	15,58
Massa seca (g)	68,12	71,37	62,85
Umidade (%)	6,82	6,87	6,79
Umidade média (%)	6,83		

Fonte: Autor.

Tabela A2 - Cálculo da umidade do solo – amostra 2 que passa na peneira com abertura de malha 2,00 mm

Material - solo - amostra 2 – mistura M1 _{sc}			
Propriedades	Cápsula		
	138	55	90
Massa úmida (g)	75,63	66,69	65,94
Tara (g)	18,64	18,55	15,84
Massa seca (g)	71,94	63,56	62,63
Umidade (%)	6,92	6,95	7,07
Umidade média (%)	6,98		

Fonte: Autor.

Tabela A3 - Cálculo da umidade do solo – amostra 3 que passa na peneira com abertura de malha 2,00 mm

Material - solo - amostra 3 – mistura M1 _{sc}			
Propriedades	Cápsula		
	53	179	83
Massa úmida (g)	74,30	77,29	68,46
Tara (g)	15,67	18,14	16,23
Massa seca (g)	70,21	73,13	64,92
Umidade (%)	7,50	7,57	7,27
Umidade média (%)	7,44		
Umidade média das amostras 1, 2 e 3 (%)	7,08		

Fonte: Autor.

Tabela A4 - Cálculo da umidade do cimento

Material - Cimento – mistura M1 _{sc}			
Propriedades	Cápsula		
	119	108	124
Massa úmida (g)	86,75	91,93	85,11
Tara (g)	18,91	18,12	15,58
Massa seca (g)	86,52	91,51	84,72
Umidade (%)	0,34	0,57	0,56
Umidade média (%)	0,49		

Fonte: Autor.

Tabela A5 - Massas dos materiais utilizados no mistura M1_{sc} e cálculo da mistura

Mistura M1 _{sc}						
Material	Nº Rmps	Tara (t) Rmps (kg)	Parâmetros			
			(mh + t) (kg)	mh (kg)	h (%)	ms (kg)
Solo	1	3,320	14,875	11,555	7,085	10,790
Solo	2	3,320	15,160	11,840	7,085	11,057
Solo	3	3,335	14,970	11,635	7,085	10,865
Solo	4	3,325	15,490	12,165	7,085	11,360
Solo	5	3,330	15,640	12,310	7,085	11,496
Solo	6	3,330	15,430	12,100	7,085	11,299
Solo	7	3,315	15,265	11,950	7,085	11,159
Solo	8	3,320	15,615	12,295	7,085	11,482
Solo	9	3,325	15,120	11,795	7,085	11,015
Solo	10	3,335	15,020	11,685	7,085	10,912
Solo	11	3,335	15,285	11,950	7,085	11,159
Solo	12	3,245	15,020	11,775	7,085	10,996
Total massa seca de solo						133,590
Cimento	C	4,190	22,325	18,135	0,492	18,046
Total massa seca de cimento						18,046
Mistura massa seca	1	Cimento	Portanto 13,51 % de cimento em massa			
	7,403	Solo				

Fonte: Autor.

Tabela A6 - Cálculo da umidade da mistura solo cimento – amostra 1 para Mini-MCV

Material – solo cimento - amostra 1 – mistura M1 _{sc}			
Propriedades	Cápsula		
	75	190	57
Massa úmida (g)	73,38	76,73	88,65
Tara (g)	14,18	18,87	18,52
Massa seca (g)	68,70	72,24	83,10
Umidade (%)	8,58	8,41	8,59
Umidade média (%)	8,53		

Fonte: Autor.

Tabela A7 - Cálculo da umidade da mistura solo cimento – amostra 2 para Mini-MCV

Material – solo cimento - amostra 2 – mistura M1 _{sc}			
Propriedades	Cápsula		
	34	101	162
Massa úmida (g)	82,86	76,14	96,16
Tara (g)	17,38	18,29	18,27
Massa seca (g)	77,86	71,65	90,08
Umidade (%)	8,27	8,41	8,47
Umidade média (%)	8,38		
Umidade média amostras 1 e 2 (%)	8,45		

Fonte: Autor.

Tabela A8 - Ensaio com balança hidrostática para determinação do MEAS dos blocos vazados da mistura M1_{sc}

Blocos vazados – mistura M1 _{sc}					
Corpo de prova	Massa Saturada (g)	Massa seca (g)	Massa Imersa (g)	Volume (cm ³)	MEAS (g/cm ³)
BL1	3.579,56	3.113,06	1.827,07	1.752,49	1,78
BL2	3.630,50	3.121,47	1.874,95	1.755,55	1,78
BL3	3.596,22	3.081,22	1.848,16	1.748,06	1,76
BL4	3.589,73	3.074,62	1.844,21	1.745,52	1,76
BL5	3.588,18	3.092,78	1.838,80	1.749,38	1,77
BL6	3.607,21	3.102,47	1.858,22	1.748,99	1,77
MEAS média (g/cm ³)					1,77

Fonte: Autor.

Tabela A9 - Dimensões dos blocos vazados da mistura M1_{sc}

Blocos vazados mistura M1 _{sc}							
Dimensões (mm)	BL1	BL2	BL3	BL4	BL5	BL6	Médias
L1	125,68	125,50	125,50	125,50	125,50	125,40	125,51
L2	126,31	126,32	126,21	126,32	126,14	126,12	126,24
L3	125,35	125,95	125,98	125,92	125,50	125,57	125,71
C1	250,20	250,50	250,10	250,20	250,10	250,20	250,22
C2	250,20	250,40	250,20	250,30	250,20	250,20	250,25
C3	249,90	250,40	250,20	250,20	250,30	250,20	250,20
H1	70,02	70,01	69,81	69,67	69,71	69,41	69,77
H2	69,11	69,91	69,58	69,58	69,63	69,80	69,60
H3	69,92	69,65	69,31	69,32	69,19	69,11	69,42
D1	57,74	57,81	57,81	57,67	57,57	57,65	57,71
D2	57,81	57,85	57,85	57,76	57,86	57,58	57,79
D3	57,56	57,36	57,54	57,60	57,78	57,67	57,59
D4	57,88	57,73	57,76	57,83	57,78	57,62	57,77
Lm	125,78	125,92	125,90	125,91	125,71	125,70	125,82
Cm	250,10	250,43	250,17	250,23	250,20	250,20	250,22
Hm	69,68	69,86	69,57	69,52	69,51	69,44	69,60
DM	57,75	57,69	57,74	57,72	57,75	57,63	57,71
Volume total aparente (cm ³)	2.192,07	2.202,96	2.191,01	2.190,52	2.186,33	2.183,84	2.191,12
Volume total (cm ³)	1.827,05	1.837,79	1.826,70	1.826,75	1.822,22	1.821,57	1.827,01
% vol. Total/vol. Ap.	83,35	83,42	83,37	83,39	83,35	83,41	83,38
Seção transversal total (cm ²)	314,58	315,35	314,95	315,08	314,53	314,49	314,83
Seção transversal furos (cm ²)	52,38	52,27	52,37	52,32	52,38	52,17	52,32
Seção transversal útil (cm ²)	262,19	263,08	262,58	262,75	262,15	262,32	262,51
Seção transv. Útil/Seção transv. Total (%)	83,35	83,42	83,37	83,39	83,35	83,41	83,38

Fonte: Autor.

Tabela A10- Resistência à compressão simples dos blocos vazados da mistura M1_{sc} aos 28 dias.

Características	Blocos Vazados - mistura M1 _{sc}					
	1	2	3	4	5	6
Largura média (mm)	125,78	125,92	125,90	125,91	125,71	125,70
Comprimento médio (mm)	250,10	250,43	250,17	250,23	250,20	250,20
Área seção transversal (mm ²)	31.457,58	31.534,15	31.496,40	31.506,46	31.452,64	31.450,14
Força máxima (N)	99.870	119.510	95.800	101.570	105.190	120.650
Resistência compressão simples (MPa)	3,17	3,79	3,04	3,22	3,34	3,84
Resistência média à compressão simples (MPa)						3,40
Menor resistência à compressão simples (MPa)						3,04

Fonte: Autor.

Tabela A11 - Absorção de água dos blocos vazados da mistura M1_{sc}

Corpo de prova	Massa úmida (g)	Massa seca (g)	Massa água (g)	Absorção (%)
CP1	3.578,77	3.113,06	465,71	14,96
CP2	3.572,90	3.121,47	451,43	14,46
CP3	3.543,07	3.081,22	461,85	14,99
CP4	3.529,23	3.074,62	454,61	14,79
CP5	3.551,48	3.092,78	458,70	14,83
CP6	3.557,16	3.102,47	454,69	14,66
	Absorção média de água (%)			14,78
	Maior absorção de água (%)			14,99

Fonte: Autor.

Ap-A2. Resultados da Mistura M2_{sc} e dos blocos vazados

Tabela A12 - Cálculo da umidade do solo – amostra 1 que passa na peneira com abertura de malha 2,00 mm

Material - solo - amostra 1 – mistura M2 _{sc}			
Propriedades	Cápsula		
	115	95	80
Massa úmida (g)	55,21	65,18	55,87
Tara (g)	18,27	19,15	15,85
Massa seca (g)	52,39	61,59	52,78
Umidade (%)	8,26	8,46	8,37
Umidade média (%)	8,36		

Fonte: Autor.

Tabela A13 - Cálculo da umidade do cimento

Material - cimento – mistura M2 _{sc}			
Propriedades	Cápsula		
	96	81	88
Massa úmida (g)	59,33	54,43	58,23
Tara (g)	19,49	17,84	15,19
Massa seca (g)	59,13	54,25	58,01
Umidade (%)	0,50	0,49	0,51
Umidade média (%)	0,50		

Fonte: Autor.

Tabela A14 - Massas dos materiais utilizados na mistura M2_{sc} e cálculo da mistura

Mistura M2 _{sc}						
Material	nº Rmps	Tara (t) Rmps (kg)	Parâmetros			
			(mh + t) (kg)	mh (kg)	h (%)	ms (kg)
Solo	1	3,320	15,155	11,835	8,364	10,922
Solo	2	3,320	15,300	11,980	8,364	11,055
Solo	3	3,335	14,825	11,490	8,364	10,603
Solo	4	3,325	15,050	11,725	8,364	10,820
Solo	5	3,330	14,925	11,595	8,364	10,700
Solo	6	3,330	15,135	11,805	8,364	10,894
Solo	7	3,315	14,909	11,594	8,364	10,699
Solo	8	3,320	14,775	11,455	8,364	10,571
Solo	9	3,325	15,515	12,190	8,364	11,249
Solo	10	3,335	14,605	11,270	8,364	10,400
Solo	11	3,335	14,885	11,550	8,364	10,659
Solo	12	3,245	15,080	11,835	8,364	10,922
Total massa seca de solo						129,493
Cimento	C	4,190	22,935	18,745	0,504	18,651
Total massa seca de cimento						18,651
Mistura massa seca	1	Cimento	Portanto 14,40 % de cimento em massa			
	6,943	Solo				

Fonte: Autor.

Tabela A15 - Cálculo da umidade da mistura solo cimento – amostra 1 para Mini-MCV

Material – solo cimento – amostra 1 – mistura M2 _{sc}			
Propriedades	Cápsula		
	50	165	31
Massa úmida (g)	55,06	63,17	56,93
Tara (g)	17,25	15,33	17,37
Massa seca (g)	51,87	58,97	53,73
Umidade (%)	9,21	9,62	8,80
Umidade média (%)	9,21		

Fonte: Autor.

Tabela A16 - Cálculo da umidade da mistura solo cimento – amostra 2 para Mini-MCV

Material – solo cimento – amostra 2 – mistura M2 _{sc}			
Propriedades	Cápsula		
	118	36	176
Massa úmida (g)	61,26	56,08	50,49
Tara (g)	19,37	18,82	15,41
Massa seca (g)	57,70	52,83	47,65
Umidade (%)	9,29	9,56	8,81
Umidade média (%)	9,22		
Umidade média amostras 1 e 2 (%)	9,22		

Fonte: Autor.

Tabela A17 - Ensaio com balança hidrostática para determinação do MEAS dos blocos vazados da mistura M2_{sc}

Balança hidrostática – Blocos vazados - mistura M2 _{sc}					
Corpo de prova	Massa saturada (g)	Massa Seca (g)	Massa Imersa (g)	Volume (cm ³)	MEAS (g/cm ³)
BL7	3.504,90	3.112,13	1.745,25	1.759,65	1,77
BL8	3.487,60	3.049,94	1.739,32	1.748,28	1,74
BL9	3.556,87	3.107,16	1.798,36	1.758,51	1,77
BL10	3.557,85	3.117,12	1.801,08	1.756,77	1,77
BL11	3.573,47	3.146,26	1.807,38	1.766,09	1,78
BL12	3.498,51	3.109,86	1.744,47	1.754,04	1,77
MEAS média (g/cm ³)					1,77

Fonte: Autor.

Tabela A18 - Dimensões dos blocos vazados da mistura M2_{sc}

Blocos vazados mistura M2 _{sc}							
Dimensões (mm)	BL7	BL8	BL9	BL10	BL11	BL12	Médias
L1	125,56	125,59	125,72	125,64	125,80	125,40	125,62
L2	126,32	126,36	126,35	126,31	126,34	126,14	126,30
L3	125,72	125,69	125,55	125,61	125,46	125,61	125,61
C1	250,30	250,30	250,20	250,30	250,40	250,20	250,28
C2	250,20	250,40	250,50	250,30	250,50	250,30	250,37
C3	250,20	250,50	250,50	250,30	250,40	250,30	250,37
H1	69,94	70,03	70,09	69,81	70,40	70,08	70,06
H2	70,00	69,55	69,18	69,81	70,18	69,70	69,74
H3	69,99	69,39	69,14	69,89	69,96	69,65	69,67
D1	57,56	57,52	57,59	57,60	57,77	57,66	57,62
D2	57,77	57,75	57,55	57,64	57,52	57,47	57,62
D3	57,62	57,89	57,76	57,74	58,04	57,70	57,79
D4	57,66	57,80	57,83	57,87	57,93	57,81	57,82
Lm	125,87	125,88	125,87	125,85	125,87	125,72	125,84
Cm	250,23	250,40	250,40	250,30	250,43	250,27	250,34
Hm	69,98	69,66	69,47	69,84	70,18	69,81	69,82
DM	57,65	57,74	57,68	57,71	57,82	57,66	57,71
Volume total aparente (cm ³)	2.203,99	2.195,60	2.189,60	2.199,93	2.212,16	2.196,41	2.199,62
Volume total (cm ³)	1.838,64	1.830,82	1.826,52	1.834,55	1.843,68	1.831,83	1.834,34
% vol. Total/vol. Ap.	83,42	83,39	83,42	83,39	83,34	83,40	83,39
Seção transversal total (cm ²)	314,96	315,20	315,19	315,01	315,21	314,63	315,03
Seção transversal furos (cm ²)	52,21	52,37	52,26	52,32	52,51	52,22	52,32
Seção transversal útil (cm ²)	262,75	262,83	262,92	262,69	262,71	262,40	262,72
Seção transv. útil/Seção transv. total (%)	83,42	83,39	83,42	83,39	83,34	83,40	83,39

Fonte: Autor.

Tabela A19 - Resistência à compressão simples dos blocos vazados da mistura M2_{sc} aos 28 dias

Características	Blocos Vazados - mistura M2 _{sc}					
	7	8	9	10	11	12
Largura média (mm)	125,87	125,88	125,87	125,85	125,87	125,72
Comprimento médio (mm)	250,23	250,40	250,40	250,30	250,43	250,27
Área seção transversal (mm ²)	31.496,45	31.520,35	31.517,85	31.500,25	31.521,62	31.463,94
Força máxima (N)	106.850	113.120	125.940	137.230	138.950	112.160
Resistência compressão simples (MPa)	3,39	3,59	3,99	4,36	4,41	3,56
Resistência média à compressão simples (MPa)						3,88
Menor resistência à compressão simples (MPa)						3,39

Fonte: Autor.

Tabela A20 - Absorção de água dos blocos vazados da mistura M2_{sc}

Corpo de prova	Massa úmida (g)	Massa seca (g)	Massa água (g)	Absorção (%)
CP7	3.450,07	3.112,13	337,94	10,86
CP8	3.514,10	3.049,94	464,16	15,22
CP9	3.572,70	3.107,16	465,54	14,98
CP10	3.542,70	3.117,12	425,58	13,65
CP11	3.534,50	3.146,26	388,24	12,34
CP12	3.466,62	3.109,86	356,76	11,47
Absorção média de água (%)				13,09
Maior absorção de água (%)				15,22

Fonte: Autor.

Ap-A3. Resultados da Mistura M3_{sc} e dos blocos vazados

Tabela A21 - Cálculo da umidade do solo – amostra 1 que passa na peneira com abertura de malha 2,00 mm

Material – solo – amostra 1 – mistura M3 _{sc}			
Propriedades	Cápsula		
	155	56	20
Massa úmida (g)	59,03	80,08	73,37
Tara (g)	15,36	17,88	18,63
Massa seca (g)	57,27	77,56	71,17
Umidade (%)	4,20	4,22	4,19
Umidade média (%)	4,20		

Fonte: Autor.

Tabela A22 - Cálculo da umidade do solo – amostra 2 que passa na peneira com abertura de malha 2,00 mm

Material – solo – amostra 2 – mistura M3 _{sc}			
Propriedades	Cápsula		
	1	49	73
Massa úmida (g)	60,74	71,79	71,72
Tara (g)	15,12	19,23	18,00
Massa seca (g)	59,16	69,97	69,85
Umidade (%)	3,59	3,59	3,61
Umidade média (%)	3,59		
Média amostras 1 e 2 (%)			3,90

Fonte: Autor.

Tabela A23 - Cálculo da umidade do cimento

Material - Cimento – mistura M3 _{sc}			
Propriedades	Cápsula		
	152	121	104
Massa úmida (g)	58,39	52,62	64,68
Tara (g)	18,95	18,12	26,09
Massa seca (g)	58,21	52,40	64,52
Umidade (%)	0,46	0,64	0,42
Umidade média (%)	0,51		

Fonte: Autor.

Tabela A24 - Massas dos materiais utilizados na mistura M3_{sc} e cálculo da mistura

Mistura M3 _{sc}						
Material	nº Rmps	Tara (t) Rmps (kg)	Parâmetros			
			(mh + t) (kg)	mh (kg)	h (%)	ms (kg)
Solo	1	3,320	17,665	14,345	3,898	13,807
Solo	2	3,320	17,285	13,965	3,898	13,441
Solo	3	3,335	17,010	13,675	3,898	13,162
Solo	4	3,325	17,030	13,705	3,898	13,191
Solo	5	3,330	17,260	13,930	3,898	13,407
Solo	6	3,330	16,890	13,560	3,898	13,051
Solo	7	3,315	17,140	13,825	3,898	13,306
Solo	8	3,320	17,630	14,310	3,898	13,773
Solo	9	3,325	17,050	13,725	3,898	13,210
Solo	10	3,335	17,350	14,015	3,898	13,489
Solo	11	3,335	17,470	14,135	3,898	13,605
Solo	12	3,245	17,295	14,050	3,898	13,523
Total massa seca de solo						160,966
Cimento	C	4,190	23,455	19,265	0,506	19,168
Total massa seca de cimento						19,168
Mistura massa seca	1	Cimento	Portanto 11,91 % de cimento em massa			
	8,398	Solo				

Fonte: Autor.

Tabela A25 - Cálculo da umidade da mistura solo cimento – amostras 1 e 2 para Mini-MCV

Material – solo cimento – amostras 1 e 2 – Mistura M3 _{sc}			
Propriedades	Cápsula		
	28	150	11
Massa úmida (g)	80,95	83,39	82,32
Tara (g)	19,69	18,66	14,46
Massa seca (g)	75,54	77,46	76,46
Umidade (%)	9,69	10,09	9,45
Umidade média (%)	9,74		

Fonte: Autor.

Tabela A26 - Ensaio com balança hidrostática para determinação do MEAS dos blocos vazados da mistura M3_{sc}

Balança hidrostática – Blocos vazados - mistura M3 _{sc}					
Corpo de prova	Massa saturada (g)	Massa seca (g)	Massa Imersa (g)	Volume (cm ³)	MEAS (g/cm ³)
BL13	3.426,61	3.029,83	1.667,54	1.759,07	1,72
BL14	3.400,95	3.011,88	1.639,92	1.761,03	1,71
BL15	3.342,60	2.964,42	1.595,75	1.746,85	1,70
BL16	3.317,80	2.944,48	1.578,66	1.739,14	1,69
BL17	3.328,37	2.933,42	1.590,20	1.738,17	1,69
BL18	3.315,90	2.946,30	1.595,90	1.720,00	1,71
MEAS média (g/cm ³)					1,70

Fonte: Autor.

Tabela A27 - Dimensões dos blocos vazados da mistura M3_{sc}

Blocos vazados mistura M3 _{sc}							
Dimensões (mm)	BL13	BL14	BL15	BL16	BL17	BL18	Médias
L1	125,33	125,25	125,25	125,11	125,11	125,24	125,22
L2	126,72	125,64	125,77	125,68	125,85	125,90	125,93
L3	125,15	125,15	125,19	125,19	125,17	125,35	125,20
C1	250,70	250,60	250,50	250,50	250,40	250,50	250,53
C2	250,50	250,70	250,70	250,50	250,60	250,50	250,58
C3	250,50	250,80	250,70	250,50	250,30	250,40	250,53
H1	71,45	71,27	69,96	70,56	70,19	69,56	70,50
H2	70,50	70,38	69,22	69,86	69,62	68,58	69,69
H3	70,13	69,96	69,10	69,69	69,50	68,77	69,53
D1	57,21	57,12	57,22	56,99	56,92	56,73	57,03
D2	56,36	56,48	56,61	56,40	56,40	56,47	56,45
D3	57,27	57,35	57,27	57,38	57,41	57,39	57,35
D4	56,83	56,95	56,92	56,99	56,92	56,98	56,93
Lm	125,73	125,35	125,40	125,33	125,38	125,50	125,45
Cm	250,57	250,70	250,63	250,50	250,43	250,47	250,55
Hm	70,69	70,54	69,43	70,04	69,77	68,97	69,91
Dm	56,92	56,98	57,01	56,94	56,91	56,89	56,94
Volume total aparente (cm ³)	2.227,16	2.216,57	2.182,10	2.198,75	2.190,67	2.167,92	2.197,20
Volume total (cm ³)	1.867,42	1.856,90	1.827,71	1.842,07	1.835,69	1.817,25	1.841,18
% vol. total/vol. ap.	83,85	83,77	83,76	83,78	83,80	83,82	83,80
Seção transversal total (cm ²)	315,05	314,24	314,30	313,94	313,98	314,33	314,31
Seção transversal furos (cm ²)	50,89	50,99	51,04	50,93	50,88	50,84	50,93
Seção transversal útil (cm ²)	264,16	263,25	263,26	263,02	263,11	263,48	263,38
Seção transv. útil/Seção transv. total (%)	83,85	83,77	83,76	83,78	83,80	83,82	83,80

Fonte: Autor.

Tabela A28 - Resistência à compressão simples dos blocos vazados da mistura M3_{sc} os 28 dias

Características	Blocos Vazados - mistura M3 _{sc}					
	13	14	15	16	17	18
Largura média (mm)	125,73	125,35	125,40	125,33	125,38	125,50
Comprimento médio (mm)	250,57	250,70	250,63	250,50	250,43	250,47
Área seção transversal (mm ²)	31.504,17	31.425,25	31.429,00	31.395,17	31.398,91	31.433,99
Força máxima (N)	88.650	84.250	60.850	46.350	74.190	61.270
Resistência compressão simples (MPa)	2,81	2,68	1,94	1,48	2,36	1,95
Resistência média à compressão simples (MPa)						2,20
Menor resistência à compressão simples (MPa)						1,48

Fonte: Autor.

Tabela A29 – Absorção de água dos blocos vazados da mistura M3_{sc}

Corpo de prova	Massa úmida (g)	Massa seca (g)	Massa água (g)	Absorção (%)
CP13	3.512,67	3.029,83	482,84	15,94
CP14	3.506,34	3.011,88	494,46	16,42
CP15	3.467,62	2.964,42	503,20	16,97
CP16	3.446,82	2.944,48	502,34	17,06
CP17	3.440,61	2.933,42	507,19	17,29
CP18	3.446,98	2.946,30	500,68	16,99
Absorção média de água (%)				16,78
Maior absorção de água (%)				17,29

Fonte: Autor.

Ap-A4. Resultados da Mistura M4_{sc} e dos blocos vazados

Tabela A30 - Cálculo da umidade do solo – amostra 1 que passa na peneira com abertura de malha 2,00 mm

Material – solo – amostra 1 – mistura M4 _{sc}			
Propriedades	Cápsula		
	150	11	73
Massa úmida (g)	97,64	90,54	92,46
Tara (g)	18,66	14,66	18,00
Massa seca (g)	93,79	86,88	88,79
Umidade (%)	5,12	5,07	5,18
Umidade média (%)	5,13		

Fonte: Autor.

Tabela A31 - Cálculo da umidade do cimento

Material – cimento – mistura M4 _{sc}			
Propriedades	Cápsula		
	20	28	49
Massa úmida (g)	97,07	93,88	107,59
Tara (g)	18,63	19,69	19,23
Massa seca (g)	96,83	93,60	107,34
Umidade (%)	0,31	0,38	0,28
Umidade média (%)	0,32		

Fonte: Autor.

Tabela A32 - Massas dos materiais utilizados na mistura M4_{sc} e cálculo da mistura

Mistura M4 _{sc}						
Material	nº Rmps	Tara (t) Rmps (kg)	Parâmetros			
			(mh + t) (kg)	mh (kg)	h (%)	ms (kg)
Solo	1	3,320	16,530	13,210	5,126	12,566
Solo	2	3,320	16,460	13,140	5,126	12,499
Solo	3	3,335	16,260	12,925	5,126	12,295
Solo	4	3,325	16,255	12,930	5,126	12,300
Solo	5	3,330	16,110	12,780	5,126	12,157
Solo	6	3,330	16,105	12,775	5,126	12,152
Solo	7	3,315	16,195	12,880	5,126	12,252
Solo	8	3,320	16,575	13,255	5,126	12,609
Solo	9	3,325	16,020	12,695	5,126	12,076
Solo	10	3,335	16,495	13,160	5,126	12,518
Solo	11	3,335	15,905	12,570	5,126	11,957
Solo	12	3,245	16,450	13,205	5,126	12,561
Total massa seca de solo						147,942
Cimento	C	4,190	23,040	18,850	0,323	18,789
Total massa seca de cimento						18,789
Mistura massa seca	1	Cimento	Portanto 12,70 % de cimento em massa			
	7,874	Solo				

Fonte: Autor.

Tabela A33 - Cálculo da umidade da mistura solo cimento – amostra 1 para Mini-MCV

Material – solo cimento – amostra 1 – mistura M4 _{sc}			
Propriedades	Cápsula		
	155	104	1
Massa úmida (g)	78,70	95,97	93,34
Tara (g)	15,36	26,09	15,12
Massa seca (g)	74,39	91,22	87,85
Umidade (%)	7,30	7,29	7,55
Umidade média (%)	7,38		

Fonte: Autor.

Tabela A34 - Cálculo da umidade da mistura solo cimento – amostra 2 para Mini-MCV

Material – solo cimento – amostra 2 – mistura M4 _{sc}			
Propriedades	Cápsula		
	152	121	56
Massa úmida (g)	88,65	94,14	86,34
Tara (g)	18,95	18,12	17,88
Massa seca (g)	83,69	88,86	81,63
Umidade (%)	7,66	7,46	7,39
Umidade média (%)	7,50		
Umidade média das amostras 1 e 2 (%)	7,44		

Fonte: Autor.

Tabela A35 - Ensaio com balança hidrostática para determinação do MEAS dos blocos vazados da mistura M4_{sc}

Balança hidrostática – Blocos vazados - mistura M4_{sc}					
Corpo de prova	Massa saturada (g)	Massa seca (g)	Massa Imersa (g)	Volume (cm³)	MEAS (g/cm³)
BL19	3.478,75	3.034,62	1.708,25	1.770,50	1,71
BL20	3.478,93	3.075,78	1.703,15	1.775,78	1,73
BL21	3.483,15	3.068,24	1.708,03	1.775,12	1,73
BL22	3.578,45	3.119,89	1.792,12	1.786,33	1,75
BL23	3.483,06	3.070,41	1.708,55	1.774,51	1,73
BL24	3.470,68	3.037,58	1.697,33	1.773,35	1,71
BL25	3.530,27	3.099,90	1.746,57	1.783,70	1,74
BL26	3.522,03	3.071,69	1.744,56	1.777,47	1,73
BL27	3.582,58	3.105,54	1.796,54	1.786,04	1,74
BL28	3.484,45	3.013,55	1.714,80	1.769,65	1,70
BL29	3.481,65	3.021,59	1.710,70	1.770,95	1,71
BL30	3.516,53	3.049,05	1.740,10	1.776,43	1,72
BL31	3.564,72	3.119,98	1.777,28	1.787,44	1,75
MEAS média (g/cm ³)					1,73

Fonte: Autor.

Tabela A36 - Dimensões dos blocos vazados da mistura M4_{sc}

Blocos vazados mistura M4 _{sc}							
Dimensões (mm)	BL19	BL20	BL21	BL22	BL23	BL24	BL25
L1	125,45	125,14	125,73	125,46	125,57	125,42	125,58
L2	126,07	126,03	126,13	126,02	126,01	126,28	126,05
L3	125,58	125,35	125,42	125,47	125,51	125,14	125,65
C1	250,00	249,90	250,05	250,10	249,90	249,90	249,90
C2	250,10	250,05	250,10	250,20	250,05	250,30	250,05
C3	250,10	250,40	250,20	250,10	250,40	250,10	250,20
H1	70,53	71,26	71,15	71,76	71,78	70,48	71,78
H2	70,54	70,91	70,68	71,46	70,93	70,58	71,35
H3	70,74	70,53	70,46	70,99	70,55	70,80	70,90
D1	58,18	57,91	57,41	57,99	58,15	58,14	58,00
D2	58,02	58,07	58,08	57,99	57,96	58,08	58,05
D3	58,30	58,15	58,36	58,19	58,20	58,09	58,29
D4	58,30	58,32	58,33	58,30	58,25	58,10	58,30
Lm	125,70	125,51	125,76	125,65	125,70	125,61	125,76
Cm	250,07	250,12	250,12	250,13	250,12	250,10	250,05
Hm	70,60	70,90	70,76	71,40	71,09	70,62	71,34
DM	58,20	58,11	58,05	58,12	58,14	58,10	58,16
Volume total aparente (cm ³)	2.219,30	2.225,64	2.225,84	2.244,15	2.234,88	2.218,59	2.243,48
Volume total (cm ³)	1.843,64	1.849,54	1.851,33	1.865,32	1.857,43	1.844,10	1.864,41
% vol. total/vol. ap.	83,07	83,10	83,17	83,12	83,11	83,12	83,10
Seção transversal total	314,33	313,91	314,55	314,29	314,39	314,16	314,46
Seção transversal furos	53,21	53,05	52,92	53,06	53,10	53,03	53,13
Seção transversal útil	261,13	260,87	261,62	261,24	261,29	261,13	261,33
Seção transv. útil/Seção transv. total (%)	83,07	83,10	83,17	83,12	83,11	83,12	83,10

(continua)

Dimensões (mm)	BL26	BL27	BL28	BL29	BL30	BL31	Médias
L1	125,61	125,39	125,30	125,59	125,49	125,65	125,49
L2	126,24	126,13	126,17	126,00	126,18	126,08	126,11
L3	125,41	125,25	125,64	125,43	125,62	125,49	125,46
C1	250,20	250,20	249,90	249,70	249,90	249,90	249,97
C2	250,20	250,20	250,40	250,05	250,20	250,20	250,16
C3	250,40	250,30	249,90	250,10	250,20	250,40	250,22
H1	71,63	70,92	70,50	71,35	70,62	72,07	71,22
H2	71,20	70,93	70,87	70,93	71,09	71,53	71,00
H3	70,75	71,30	71,10	70,62	71,44	70,91	70,85
D1	57,98	58,08	57,87	58,15	58,21	57,93	58,00
D2	58,06	57,96	58,04	58,10	58,05	58,12	58,04
D3	58,18	58,09	58,12	58,07	58,13	58,32	58,19
D4	58,31	58,15	58,32	58,30	58,22	58,34	58,27
Lm	125,75	125,59	125,70	125,67	125,76	125,74	125,69
Cm	250,27	250,23	250,07	249,95	250,10	250,17	250,11
Hm	71,19	71,05	70,82	70,97	71,05	71,50	71,02
DM	58,13	58,07	58,09	58,16	58,15	58,18	58,13
Volume total aparente (cm³)	2.240,59	2.232,87	2.226,28	2.229,21	2.234,76	2.249,21	2.232,68
Volume total (cm³)	1.862,67	1.856,53	1.850,90	1.852,20	1.857,35	1.869,05	1.855,73
% vol. total/vol. ap.	83,13	83,15	83,14	83,09	83,11	83,10	83,12
Seção transversal total	314,72	314,27	314,34	314,12	314,53	314,56	314,36
Seção transversal furos	53,08	52,97	53,00	53,12	53,12	53,17	53,07
Seção transversal útil	261,64	261,30	261,34	261,00	261,41	261,39	261,28
Seção transv. útil/Seção transv. total (%)	83,13	83,15	83,14	83,09	83,11	83,10	83,12

(conclusão)

Fonte: Autor.

Tabela A37 - Resistência à compressão simples dos blocos vazados da mistura M4_{sc} aos 28 dias

Características	Blocos Vazados - Mistura M4 _{sc}												
	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Largura média (mm)	125,70	125,51	125,76	125,65	125,70	125,61	125,76	125,75	125,59	125,70	125,67	125,76	125,74
Comprimento médio (mm)	250,07	250,12	250,12	250,13	250,12	250,10	250,05	250,27	250,23	250,07	249,95	250,10	250,17
Área seção transversal (mm²)	31.433,80	31.392,56	31.455,09	31.428,83	31.440,08	31.415,06	31.446,29	31.471,45	31.426,38	31.433,80	31.411,22	31.452,58	31.456,37
Força máxima (N)	76.450	74.120	85.560	92.020	90.030	88.740	95.140	100.150	90.110	79.270	89.890	90.620	94.270
Resistência à compressão simples (MPa)	2,43	2,36	2,72	2,93	2,86	2,82	3,02	3,18	2,87	2,52	2,86	2,88	3,00
Resistência média à compressão simples (MPa)													2,80
Menor resistência à compressão simples (MPa)													2,36

Fonte: Autor.

Tabela A38 – Absorção de água dos blocos vazados da mistura M4_{sc}

Corpo de prova	Massa úmida (g)	Massa Seca (g)	Massa água (g)	Absorção (%)
CP19	3.489,08	3.034,62	454,46	14,98
CP20	3.504,80	3.075,78	429,02	13,95
CP21	3.530,65	3.068,24	462,41	15,07
CP22	3.597,23	3.119,89	477,34	15,30
CP23	3.504,70	3.070,41	434,29	14,14
CP24	3.501,50	3.037,58	463,92	15,27
CP25	3.526,34	3.099,90	426,44	13,76
CP26	3.535,02	3.071,69	463,33	15,08
CP27	3.555,65	3.105,54	450,11	14,49
CP28	3.487,86	3.013,55	474,31	15,74
CP29	3.502,03	3.021,59	480,44	15,90
CP30	3.547,10	3.049,05	498,05	16,33
CP31	3.580,95	3.119,98	460,97	14,77
Absorção média de água (%)				14,98
Maior absorção de água (%)				16,33

Fonte: Autor.

APÊNDICE B

RESULTADOS DAS MEDIÇÕES DAS DIMENSÕES DOS BLOCOS VAZADOS DAS MISTURAS SOLO CIMENTO AGREGADO

Neste apêndice apresenta-se as Tabelas contendo o levantamento das dimensões dos blocos fabricados com as misturas solo + cimento + agregado.

Tabela B1 - Dimensões dos blocos vazados do 1º lote da mistura M4

Dimensões (mm)	Blocos vazados						
	1	2	3	4	5	6	7
L1	125,85	125,68	125,76	125,68	125,73	125,95	125,83
L2	126,20	125,40	126,59	126,53	126,52	126,54	126,42
L3	126,64	125,77	125,91	125,78	125,94	125,70	125,73
C1	251,40	251,30	251,10	251,20	251,20	251,20	251,35
C2	251,50	251,40	251,30	251,40	251,10	250,70	251,40
C3	251,60	251,40	251,40	251,40	251,30	251,10	251,55
H1	70,68	71,45	72,13	72,42	71,18	71,61	71,28
H2	70,90	71,18	71,71	72,53	71,39	71,09	71,22
H3	71,08	70,87	71,74	72,80	71,40	71,60	71,27
D1	57,46	57,54	57,58	57,52	57,73	57,71	57,82
D2	57,14	57,02	57,39	57,80	57,52	57,89	57,73
D3	58,05	57,60	57,88	57,68	57,89	57,50	57,82
D4	57,85	57,55	57,55	57,44	57,61	57,46	57,63
Lm	126,23	125,62	126,09	126,00	126,06	126,06	125,99
Cm	251,50	251,37	251,27	251,33	251,20	251,00	251,43
Hm	70,89	71,17	71,86	72,58	71,32	71,43	71,26
Dm	57,63	57,43	57,60	57,61	57,69	57,64	57,75
Volume total aparente (cm³)	2.250,43	2.247,15	2.276,62	2.298,54	2.258,60	2.260,29	2.257,33
Volume total (cm³)	1.880,68	1.878,48	1.902,12	1.920,13	1.885,77	1.887,49	1.884,04
% vol. total/vol. ap.	83,57	83,59	83,55	83,54	83,49	83,51	83,46
Seção transversal total (cm²)	317,47	315,76	316,81	316,67	316,67	316,42	316,79
Seção transversal furos (cm²)	52,16	51,80	52,12	52,13	52,27	52,19	52,39
Seção transversal útil (cm²)	265,31	263,95	264,70	264,54	264,40	264,23	264,40
Seção transv. útil/Seção transv. total (%)	83,57	83,59	83,55	83,54	83,49	83,51	83,46

(continua)

Dimensões (mm)	Blocos vazados						
	8	9	10	11	12	13	14
L1	125,63	125,82	125,73	126,02	125,95	125,87	125,83
L2	126,48	126,50	126,58	126,47	126,55	126,59	126,59
L3	125,86	125,72	126,01	125,86	125,79	125,69	125,76
C1	251,20	251,20	251,40	250,30	251,30	251,50	251,40
C2	251,10	251,10	250,00	250,70	250,00	251,00	251,40
C3	251,30	251,60	251,10	250,70	251,30	251,30	251,60
H1	71,03	72,00	71,67	69,75	74,32	71,44	71,54
H2	71,32	71,75	72,02	69,98	74,98	71,67	71,37
H3	71,30	71,56	72,36	70,00	74,98	71,80	71,11
D1	57,70	56,89	57,56	57,28	58,08	58,26	57,74
D2	57,60	57,96	57,57	57,24	57,77	57,76	57,78
D3	57,67	57,93	57,48	58,21	57,59	57,84	57,56
D4	58,01	57,80	58,11	58,01	57,63	57,66	58,21
Lm	125,99	126,01	126,11	126,12	126,10	126,05	126,06
Cm	251,20	251,30	250,83	250,57	250,87	251,27	251,47
Hm	71,22	71,77	72,02	69,91	74,76	71,64	71,34
Dm	57,75	57,65	57,68	57,69	57,77	57,88	57,82
Volume total aparente (cm³)	2.253,91	2.272,75	2.278,01	2.209,20	2.364,92	2.268,89	2.261,47
Volume total (cm³)	1.880,89	1.898,13	1.901,65	1.843,79	1.973,03	1.891,91	1.886,80
% vol. total/vol. ap.	83,45	83,52	83,48	83,46	83,43	83,39	83,43
Seção transversal total (cm²)	316,49	316,67	316,32	316,01	316,33	316,72	317,00
Seção transversal furos (cm²)	52,38	52,20	52,26	52,27	52,42	52,62	52,52
Seção transversal útil (cm²)	264,11	264,47	264,06	263,74	263,92	264,10	264,48
Seção transv. útil/Seção transv. total (%)	83,45	83,52	83,48	83,46	83,43	83,39	83,43

(continuação)

Dimensões (mm)	Blocos vazados						
	15	16	17	18	19	20	21
L1	125,73	125,70	125,79	126,72	125,88	125,68	125,71
L2	126,56	126,65	126,51	126,52	126,59	126,47	126,47
L3	125,84	125,80	126,03	125,81	125,65	125,97	125,82
C1	251,10	251,10	251,60	251,30	251,10	251,40	251,00
C2	250,90	251,00	250,80	251,20	250,60	251,10	251,20
C3	251,30	251,10	251,10	251,30	251,00	251,30	251,40
H1	70,59	70,51	70,36	72,54	71,35	71,24	71,07
H2	70,73	70,66	70,76	72,05	71,30	71,38	71,28
H3	70,77	70,78	70,96	72,17	71,02	71,12	71,14
D1	57,95	57,86	58,12	57,75	57,93	57,85	57,53
D2	57,93	57,82	58,05	58,07	58,02	57,67	58,01
D3	57,46	57,61	57,35	57,57	57,35	57,59	57,38
D4	57,87	57,39	57,25	57,67	57,66	57,59	57,75
Lm	126,04	126,05	126,11	126,35	126,04	126,04	126,00
Cm	251,10	251,07	251,17	251,27	250,90	251,27	251,20
Hm	70,70	70,65	70,69	72,25	71,22	71,25	71,16
Dm	57,80	57,67	57,69	57,77	57,74	57,68	57,67
Volume total aparente (cm ³)	2.237,51	2.235,86	2.239,19	2.293,87	2.252,33	2.256,36	2.252,40
Volume total (cm ³)	1.866,48	1.866,77	1.869,58	1.915,15	1.879,34	1.884,08	1.880,66
% vol. total/vol. ap.	83,42	83,49	83,49	83,49	83,44	83,50	83,50
Seção transversal total (cm ²)	316,49	316,47	316,75	317,48	316,23	316,70	316,51
Seção transversal furos (cm ²)	52,48	52,24	52,28	52,41	52,37	52,25	52,24
Seção transversal útil (cm ²)	264,01	264,23	264,46	265,06	263,87	264,45	264,27
Seção transv. útil/Seção transv. total (%)	83,42	83,49	83,49	83,49	83,44	83,50	83,50

(continuação)

Dimensões (mm)	Blocos vazados						
	22	23	24	25	26	27	Médias
L1	125,92	125,87	125,84	125,96	125,85	125,84	125,85
L2	126,67	126,55	126,63	126,56	126,50	126,49	126,49
L3	125,89	125,76	125,83	125,82	125,89	125,93	125,86
C1	251,01	250,90	251,00	251,10	251,00	251,25	251,18
C2	251,30	251,10	251,10	250,60	251,60	251,00	251,02
C3	251,40	251,60	251,30	250,90	251,60	251,30	251,31
H1	71,32	71,63	70,97	70,56	71,71	70,66	71,37
H2	71,37	71,38	71,01	70,62	71,39	70,66	71,40
H3	71,34	71,32	71,02	70,78	71,28	70,76	71,42
D1	57,90	57,84	57,86	58,42	57,88	57,69	57,76
D2	57,96	58,05	58,03	57,53	58,05	57,86	57,75
D3	57,47	57,70	57,55	57,50	57,37	57,71	57,64
D4	57,98	57,75	57,80	57,40	57,66	57,58	57,70
Lm	126,16	126,06	126,10	126,11	126,08	126,09	126,06
Cm	251,24	251,20	251,13	250,87	251,40	251,18	251,17
Hm	71,34	71,44	71,00	70,65	71,46	70,69	71,40
Dm	57,83	57,84	57,81	57,71	57,74	57,71	57,71
Volume total aparente (cm³)	2.261,30	2.262,34	2.248,42	2.235,30	2.265,03	2.238,92	2.260,63
Volume total (cm³)	1.886,55	1.886,97	1.875,70	1.865,65	1.890,80	1.869,09	1.887,10
% vol. total/vol. ap.	83,43	83,41	83,42	83,46	83,48	83,48	83,48
Seção transversal total (cm²)	316,96	316,66	316,68	316,38	316,97	316,71	316,63
Seção transversal furos (cm²)	52,53	52,54	52,50	52,32	52,37	52,31	52,32
Seção transversal útil (cm²)	264,43	264,12	264,18	264,06	264,60	264,39	264,32
Seção transv. útil/Seção transv. total (%)	83,43	83,41	83,42	83,46	83,48	83,48	83,48

(conclusão)

Fonte: Autor.

Tabela B2 - Dimensões dos blocos vazados 2º lote da mistura M4

Dimensões (mm)	Blocos vazados								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
L1	126,20	125,89	125,72	125,74	125,81	125,86	125,79	125,69	125,75
L2	126,61	126,61	126,51	126,55	126,57	126,61	126,45	126,51	126,59
L3	126,04	125,81	125,82	126,00	125,87	125,89	125,78	125,68	125,78
C1	251,30	251,15	251,10	251,15	250,85	251,00	250,95	250,75	251,00
C2	251,15	251,30	251,15	251,40	251,10	251,35	251,20	251,15	251,30
C3	251,20	251,20	251,15	251,20	250,00	251,30	251,15	251,00	251,25
H1	71,24	70,55	69,50	70,78	70,41	70,79	70,05	69,86	70,84
H2	70,65	70,60	69,71	70,97	70,51	70,80	70,40	70,06	70,70
H3	70,50	70,50	69,97	70,99	70,45	70,91	70,43	70,25	70,72
D1	57,85	57,84	57,90	57,96	57,93	57,94	58,00	57,78	57,82
D2	58,01	57,93	57,79	57,77	57,90	57,85	57,73	57,52	57,79
D3	57,45	57,43	57,63	57,58	57,48	57,66	57,52	57,50	57,33
D4	57,50	57,72	57,50	57,58	57,45	57,56	57,52	57,49	57,46
Lm	126,28	126,10	126,02	126,10	126,08	126,12	126,01	125,96	126,04
Cm	251,22	251,22	251,13	251,25	250,65	251,22	251,10	250,97	251,18
Hm	70,80	70,55	69,73	70,91	70,46	70,83	70,29	70,06	70,75
Dm	57,70	57,73	57,71	57,72	57,69	57,75	57,69	57,57	57,60
Volume total aparente (cm³)	2.245,99	2.234,97	2.206,64	2.246,66	2.226,63	2.244,24	2.224,10	2.214,61	2.239,99
Volume total (cm³)	1.875,71	1.865,64	1.841,93	1.875,52	1.858,29	1.873,14	1.856,59	1.849,86	1.871,26
% vol. total/vol. ap.	83,51	83,47	83,47	83,48	83,46	83,46	83,48	83,53	83,54
Seção transversal total (cm²)	317,24	316,79	316,47	316,82	316,03	316,83	316,40	316,12	316,59
Seção transversal furos (cm²)	52,30	52,35	52,31	52,34	52,28	52,39	52,28	52,07	52,12
Seção transversal útil (cm²)	264,94	264,44	264,16	264,48	263,75	264,44	264,12	264,05	264,48
Seção transv. útil/Seção transv. total (%)	83,51	83,47	83,47	83,48	83,46	83,46	83,48	83,53	83,54

(continua)

Dimensões (mm)	Blocos vazados								
	10	11	12	13	14	15	16	17	18
L1	125,85	125,76	125,73	125,81	125,74	125,79	125,64	125,81	125,90
L2	126,53	126,44	126,47	126,53	126,63	126,60	126,42	126,61	126,67
L3	125,73	125,90	125,80	125,90	125,81	125,94	125,65	125,83	125,76
C1	251,25	250,90	251,35	251,15	251,10	251,40	251,15	251,30	251,40
C2	251,20	251,25	251,00	251,20	251,10	250,00	250,90	251,00	250,00
C3	251,25	251,20	251,20	251,25	251,00	250,10	251,20	251,40	251,15
H1	71,17	70,87	70,39	70,25	70,02	70,56	69,80	71,24	70,60
H2	71,01	70,53	70,72	70,39	70,33	70,77	70,19	70,92	70,82
H3	70,88	70,32	70,75	70,48	70,31	70,73	70,26	70,72	71,15
D1	57,85	57,84	57,89	57,87	57,86	57,90	57,88	57,79	57,73
D2	57,93	57,62	57,77	57,87	57,89	57,85	57,75	57,93	57,97
D3	57,57	57,00	57,55	57,58	57,51	57,25	57,56	57,49	57,43
D4	57,54	57,65	57,53	57,56	57,45	57,56	57,55	57,60	57,73
Lm	126,04	126,03	126,00	126,08	126,06	126,11	125,90	126,08	126,11
Cm	251,23	251,12	251,18	251,20	251,07	250,50	251,08	251,23	250,85
Hm	71,02	70,57	70,62	70,37	70,22	70,69	70,08	70,96	70,86
Dm	57,72	57,53	57,69	57,72	57,68	57,64	57,69	57,70	57,72
Volume total aparente (cm³)	2.248,82	2.233,58	2.235,06	2.228,81	2.222,43	2.233,03	2.215,49	2.247,75	2.241,53
Volume total (cm³)	1.877,12	1.866,71	1.865,93	1.860,53	1.855,49	1.864,13	1.849,17	1.876,62	1.870,78
% vol. total/vol. ap.	83,47	83,57	83,48	83,48	83,49	83,48	83,47	83,49	83,46
Seção transversal total (cm²)	316,65	316,49	316,49	316,71	316,49	315,91	316,12	316,76	316,35
Seção transversal furos (cm²)	52,34	51,98	52,27	52,33	52,26	52,19	52,27	52,30	52,32
Seção transversal útil (cm²)	264,31	264,51	264,22	264,38	264,24	263,72	263,85	264,46	264,02
Seção transv. útil/seção transv. total (%)	83,47	83,57	83,48	83,48	83,49	83,48	83,47	83,49	83,46

(continuação)

Dimensões (mm)	Blocos vazados								
	19	20	21	22	23	24	25	26	27
L1	125,86	125,71	125,79	125,72	125,82	125,71	125,87	125,92	125,84
L2	126,55	126,52	126,52	126,54	126,67	126,57	126,65	126,55	126,76
L3	125,90	125,94	125,70	125,77	125,75	125,86	125,83	125,85	126,09
C1	251,00	250,90	251,20	250,90	251,35	251,10	251,15	251,30	251,00
C2	251,20	251,35	251,00	251,15	251,30	251,40	251,40	251,35	251,35
C3	251,20	251,30	251,10	251,10	251,20	251,30	251,40	251,00	251,25
H1	70,81	70,33	71,10	70,39	70,99	70,66	71,27	71,24	71,08
H2	70,90	70,57	70,68	70,43	70,60	70,82	71,07	70,89	71,21
H3	70,99	70,89	70,75	70,36	70,41	71,02	70,76	70,74	71,27
D1	57,77	57,75	57,77	57,90	57,80	57,87	57,64	57,78	57,57
D2	57,73	57,56	57,79	57,59	57,78	57,97	57,83	57,94	57,27
D3	57,39	57,57	57,56	57,09	57,19	57,20	57,19	57,13	57,47
D4	57,45	57,43	57,71	57,55	57,61	57,40	57,39	57,63	57,53
Lm	126,10	126,06	126,00	126,01	126,08	126,05	126,12	126,11	126,23
Cm	251,13	251,18	251,10	251,05	251,28	251,27	251,32	251,22	251,20
Hm	70,90	70,60	70,84	70,39	70,67	70,83	71,03	70,96	71,19
Dm	57,59	57,58	57,71	57,53	57,60	57,61	57,51	57,62	57,46
Volume total aparente (cm³)	2.245,31	2.235,33	2.241,44	2.226,88	2.238,85	2.243,39	2.251,42	2.247,91	2.257,26
Volume total (cm³)	1.876,01	1.867,70	1.870,86	1.860,88	1.870,63	1.874,11	1.882,35	1.877,86	1.888,07
% vol. total/vol. ap.	83,55	83,55	83,47	83,56	83,55	83,54	83,61	83,54	83,64
Seção transversal total (cm²)	316,69	316,63	316,39	316,35	316,82	316,71	316,95	316,80	317,09
Seção transversal furos (cm²)	52,09	52,07	52,31	51,99	52,11	52,13	51,96	52,15	51,86
Seção transversal útil (cm²)	264,60	264,56	264,08	264,35	264,71	264,58	265,00	264,65	265,23
Seção transv. útil/seção transv. total (%)	83,55	83,55	83,47	83,56	83,55	83,54	83,61	83,54	83,64

(continuação)

Dimensões (mm)	Blocos vazados					
	28	29	30	31	32	Médias
L1	125,78	125,84	125,84	125,76	125,71	125,80
L2	126,54	126,55	126,61	126,52	126,65	126,57
L3	125,80	125,76	125,79	126,10	126,03	125,85
C1	251,35	251,25	250,89	251,30	251,20	251,13
C2	250,90	250,90	251,20	251,25	251,45	251,12
C3	251,25	251,15	251,15	251,35	251,60	251,14
H1	70,73	70,75	70,80	70,88	71,11	70,66
H2	70,54	70,28	70,35	70,76	71,36	70,64
H3	70,33	70,14	69,97	70,50	71,47	70,62
D1	57,76	57,41	57,88	57,88	57,57	57,81
D2	57,95	57,96	57,90	57,79	57,40	57,79
D3	57,45	57,37	57,12	57,62	57,61	57,42
D4	57,53	57,63	57,66	57,58	57,60	57,55
Lm	126,04	126,05	126,08	126,13	126,13	126,07
Cm	251,17	251,10	251,08	251,30	251,42	251,13
Hm	70,53	70,39	70,37	70,71	71,31	70,64
Dm	57,67	57,59	57,64	57,72	57,55	57,64
Volume total aparente (cm³)	2.232,88	2.227,92	2.227,75	2.241,30	2.261,43	2.236,54
Volume total (cm³)	1.864,36	1.861,18	1.860,49	1.871,27	1.890,49	1.867,83
% vol. total/vol. ap.	83,50	83,54	83,51	83,49	83,60	83,51
Seção transversal total (cm²)	316,57	316,51	316,56	316,96	317,11	316,61
Seção transversal furos (cm²)	52,25	52,10	52,19	52,33	52,02	52,20
Seção transversal útil (cm²)	264,32	264,41	264,37	264,63	265,10	264,41
Seção transv. útil/seção transv. total (%)	83,50	83,54	83,51	83,49	83,60	83,51

(conclusão)

Fonte: Autor.

APÊNDICE C

RESULTADOS DOS ENSAIOS DE MINI-MCV, BALANÇA HIDROSTÁTICA E ABSORÇÃO DE ÁGUA DOS CORPOS DE PROVA DAS MISTURAS SOLO CIMENTO AGREGADO

Neste apêndice apresenta-se as Tabelas relativas ao cálculo dos parâmetros relativos aos ensaios de compactação Mini-MCV, balança hidrostática e absorção de água dos corpos de prova moldados com as misturas solo cimento agregado.

Tabela C1 - Mini-MCV; balança hidrostática, absorção de água, dos corpos de prova de solo + ART + cimento moldados com a mistura M2 - 7 golpes - água 19,00 %

Dados	Corpo de prova							
	1	2	3	4	5	6	7	8
La	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00
Ka	38,00	38,00	38,00	38,00	38,00	38,00	38,00	38,00
Massa inicial de solo (g)	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00
Umidade adicionada (%)	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00
leitura golpe 1 (mm)	24,73	26,30	26,48	27,07	26,05	27,95	26,41	27,54
leitura golpe 2 (mm)	21,07	21,95	22,13	22,5	21,98	22,85	22,04	22,88
leitura golpe 3 (mm)	19,30	19,90	20,15	20,45	20,12	20,81	20,13	20,86
leitura golpe 4 (mm)	18,13	18,56	18,89	19,08	18,88	19,46	18,82	19,64
leitura golpe 5 (mm)	17,22	17,58	17,9	18,03	17,92	18,54	17,88	18,63
leitura golpe 6 (mm)	16,52	16,82	17,1	17,28	17,13	17,76	17,15	17,82
leitura golpe 7 (mm)	15,95	16,22	16,41	16,64	16,55	17,09	16,55	17,25
Hc1 (mm) calculado	62,73	64,30	64,48	65,07	64,05	65,95	64,41	65,54
Hc2 (mm) calculado	59,07	59,95	60,13	60,50	59,98	60,85	60,04	60,88
Hc3 (mm) calculado	57,30	57,90	58,15	58,45	58,12	58,81	58,13	58,86
Hc4 (mm) calculado	56,13	56,56	56,89	57,08	56,88	57,46	56,82	57,64
Hc5 (mm) calculado	55,22	55,58	55,90	56,03	55,92	56,54	55,88	56,63
Hc6 (mm) calculado	54,52	54,82	55,10	55,28	55,13	55,76	55,15	55,82
Hc7 (mm) calculado	53,95	54,22	54,41	54,64	54,55	55,09	54,55	55,25
Volume CP (cm³)	105,93	106,46	106,83	107,29	107,11	108,17	107,11	108,48
Massa solo + molde (g)	1075,40	1057,67	1054,79	1061,45	1068,77	1076,70	1076,96	1068,52
Tara molde (g)	876,70	858,51	855,60	861,91	869,45	877,78	877,78	869,45
Massa final de solo(g)	198,70	199,16	199,19	199,54	199,32	198,92	199,18	199,07
ps1 (g/cm³)	1,36	1,33	1,33	1,32	1,34	1,30	1,33	1,31
ps2 (g/cm³)	1,45	1,43	1,42	1,41	1,43	1,41	1,43	1,41
ps3 (g/cm³)	1,49	1,48	1,47	1,46	1,47	1,46	1,47	1,45
ps4 (g/cm³)	1,52	1,51	1,50	1,50	1,50	1,49	1,51	1,49
ps5 (g/cm³)	1,55	1,54	1,53	1,53	1,53	1,51	1,53	1,51
ps6 (g/cm³)	1,57	1,56	1,55	1,55	1,55	1,54	1,55	1,53
ps7 (g/cm³)	1,58	1,57	1,57	1,56	1,56	1,55	1,56	1,54
MEAU (g/cm³)	1,88	1,87	1,86	1,86	1,86	1,84	1,86	1,84
MEAS (g/cm³)	1,58	1,57	1,57	1,56	1,56	1,55	1,56	1,54
Balança hidrostática	Massa saturada (g)	...	...	...	...	...	...	...
	Massa seca (g)	...	...	...	...	...	...	...
	Massa imersa (g)	...	...	...	...	...	...	...
	Volume (cm³)	...	...	...	...	...	...	...
	MEAS² (g/cm³)	...	...	...	...	...	...	...
Absorção	Massa úmida (g)	...	...	...	...	...	...	...
	Massa seca (g)	...	...	...	...	...	...	...
	Massa água (g)	...	...	...	...	...	...	...
	Absorção água (%)	...	...	...	...	...	...	...

(continua)

Dados	Corpo de prova							
	9	10	11	12	13	14	15	16
La	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00
Ka	38,00	38,00	38,00	38,00	38,00	38,00	38,00	38,00
Massa inicial de solo (g)	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00
Umidade adicionada (%)	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00
leitura golpe 1 (mm)	26,30	25,84	27,45	27,74	27,97	28,42	28,69	26,47
leitura golpe 2 (mm)	22,15	21,98	22,85	23,17	23,19	23,66	24,25	22,82
leitura golpe 3 (mm)	20,36	20,15	20,85	21,24	21,20	21,64	22,07	21,11
leitura golpe 4 (mm)	19,12	18,89	19,42	19,94	19,86	20,33	20,61	19,89
leitura golpe 5 (mm)	18,21	17,97	18,49	18,92	18,79	19,39	19,54	19,00
leitura golpe 6 (mm)	17,39	17,25	17,71	18,13	18,33	18,57	18,68	18,24
leitura golpe 7 (mm)	16,74	16,70	17,19	17,53	17,57	17,91	17,96	17,63
Hc1 (mm) calculado	64,30	63,84	65,45	65,74	65,97	66,42	66,69	64,47
Hc2 (mm) calculado	60,15	59,98	60,85	61,17	61,19	61,66	62,25	60,82
Hc3 (mm) calculado	58,36	58,15	58,85	59,24	59,20	59,64	60,07	59,11
Hc4 (mm) calculado	57,12	56,89	57,42	57,94	57,86	58,33	58,61	57,89
Hc5 (mm) calculado	56,21	55,97	56,49	56,92	56,79	57,39	57,54	57,00
Hc6 (mm) calculado	55,39	55,25	55,71	56,13	56,33	56,57	56,68	56,24
Hc7 (mm) calculado	54,74	54,70	55,19	55,53	55,57	55,91	55,96	55,63
Volume CP (cm³)	107,48	107,40	108,37	109,03	109,11	109,78	109,88	109,23
Massa solo + molde (g)	1061,05	1054,72	1056,96	1075,97	1076,15	1068,41	1060,76	1054,05
Tara molde (g)	861,91	855,6	858,51	876,7	877,78	869,45	861,91	855,6
Massa final de solo(g)	199,14	199,12	198,45	199,27	198,37	198,96	198,85	198,45
ps1 (g/cm³)	1,33	1,34	1,31	1,30	1,30	1,29	1,28	1,33
ps2 (g/cm³)	1,42	1,43	1,41	1,40	1,40	1,39	1,38	1,41
ps3 (g/cm³)	1,47	1,47	1,45	1,44	1,45	1,44	1,42	1,45
ps4 (g/cm³)	1,50	1,50	1,49	1,48	1,48	1,47	1,46	1,48
ps5 (g/cm³)	1,52	1,53	1,52	1,50	1,51	1,49	1,49	1,50
ps6 (g/cm³)	1,55	1,55	1,54	1,52	1,52	1,51	1,51	1,52
ps7 (g/cm³)	1,56	1,56	1,54	1,54	1,53	1,52	1,52	1,53
MEAU (g/cm³)	1,85	1,85	1,83	1,83	1,82	1,81	1,81	1,82
MEAS (g/cm³)	1,56	1,56	1,54	1,54	1,53	1,52	1,52	1,53
Balança hidrostática	Massa saturada (g)	208,61	209,01	210,70	212,18	216,15	214,60	215,56
	Massa seca (g)	168,01	168,28	168,25	168,16	167,75	167,74	168,09
	Massa imersa (g)	99,87	99,85	98,53	102,24	105,89	104,13	104,51
	Volume (cm³)	108,74	109,16	112,17	109,94	110,26	110,47	111,05
	MEAS² (g/cm³)	1,55	1,54	1,50	1,53	1,52	1,52	1,51
Absorção	Massa úmida (g)	204,01	204,90	207,17	204,90	203,23	208,50	208,33
	Massa seca (g)	168,01	168,28	168,25	168,16	167,75	167,74	168,09
	Massa água (g)	36,00	36,62	38,92	36,74	35,48	40,76	40,24
	Absorção água (%)	21,43	21,76	23,13	21,85	21,15	24,30	23,94

(continuação)

Dados	Corpo de prova							
	17	18	19	20	21	22	23	24
La	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00
Ka	38,00	38,00	38,00	38,00	38,00	38,00	38,00	38,00
Massa inicial de solo (g)	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00
Umidade adicionada (%)	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00
leitura golpe 1 (mm)	26,62	28,43	27,80	27,92	27,73	28,80	29,45	28,46
leitura golpe 2 (mm)	23,10	24,15	23,84	23,96	23,92	24,59	24,93	24,13
leitura golpe 3 (mm)	21,26	22,19	22,04	22,03	22,16	22,67	22,67	22,15
leitura golpe 4 (mm)	20,07	21,06	20,81	20,76	20,85	21,09	21,38	20,85
leitura golpe 5 (mm)	19,16	20,06	19,83	19,77	19,75	20,21	20,24	19,93
leitura golpe 6 (mm)	18,41	19,15	18,84	18,92	19,00	19,35	19,45	19,09
leitura golpe 7 (mm)	17,76	18,47	17,32	18,30	18,40	18,67	18,74	18,41
Hc1 (mm) calculado	64,62	66,43	65,80	65,92	65,73	66,80	67,45	66,46
Hc2 (mm) calculado	61,10	62,15	61,84	61,96	61,92	62,59	62,93	62,13
Hc3 (mm) calculado	59,26	60,19	60,04	60,03	60,16	60,67	60,67	60,15
Hc4 (mm) calculado	58,07	59,06	58,81	58,76	58,85	59,09	59,38	58,85
Hc5 (mm) calculado	57,16	58,06	57,83	57,77	57,75	58,21	58,24	57,93
Hc6 (mm) calculado	56,41	57,15	56,84	56,92	57,00	57,35	57,45	57,09
Hc7 (mm) calculado	55,76	56,47	55,32	56,30	56,40	56,67	56,74	56,41
Volume CP (cm³)	109,48	110,88	108,62	110,55	110,74	111,27	111,41	110,76
Massa solo + molde (g)	1056,32	1075,94	1075,79	1056,36	1054,26	1060,56	1068,72	1077,07
Tara molde (g)	858,51	876,7	876,7	858,51	855,60	861,91	869,45	877,78
Massa final de solo(g)	197,81	199,24	199,09	197,85	198,66	198,65	199,27	199,29
ps1 (g/cm³)	1,32	1,29	1,30	1,30	1,30	1,28	1,27	1,29
ps2 (g/cm³)	1,40	1,38	1,38	1,38	1,38	1,37	1,36	1,38
ps3 (g/cm³)	1,44	1,42	1,43	1,43	1,42	1,41	1,41	1,42
ps4 (g/cm³)	1,47	1,45	1,46	1,46	1,45	1,45	1,44	1,45
ps5 (g/cm³)	1,50	1,47	1,48	1,48	1,48	1,47	1,47	1,48
ps6 (g/cm³)	1,52	1,50	1,51	1,50	1,50	1,49	1,49	1,50
ps7 (g/cm³)	1,52	1,51	1,54	1,50	1,51	1,50	1,50	1,51
MEAU (g/cm³)	1,81	1,80	1,83	1,79	1,79	1,79	1,79	1,80
MEAS (g/cm³)	1,52	1,51	1,54	1,50	1,51	1,50	1,50	1,51
ps média CPs 1 a 24 (g/cm³)	1,54							
Maior ps CPs 1 a 24 (g/cm³)	1,58							
Menor ps 1 a 24 (g/cm³)	1,50							
Variação ps 1 a 24 (g/cm³)	0,08							
Balança hidrostática	Massa saturada (g)	...	...	...	...	...	...	...
	Massa seca (g)	...	...	...	...	...	...	...
	Massa imersa (g)	...	...	...	...	...	...	...
	Volume (cm³)	...	...	...	...	...	...	...
	MEAS² (g/cm³)	...	...	...	...	...	...	...
psbh média (g/cm³)	1,52							
Maior psbh (g/cm³)	1,55							
Menor psbh (g/cm³)	1,50							
Variação psbh (g/cm³)	0,05							
Absorção	Massa úmida (g)	...	...	...	...	...	...	...
	Massa seca (g)	...	...	...	...	...	...	...
	Massa água (g)	...	...	...	...	...	...	...
	Absorção água (%)	...	...	...	...	...	...	...
Absorção média (%)	22,77							
Maior absorção (%)	24,63							

(conclusão)

Fonte: Autor.

Tabela C2 - Mini-MCV; balança hidrostática, absorção, dos corpos de prova de solo + ART + cimento moldados com a mistura M4 - 7 golpes - água 19,00 %

Dados	Corpo de prova							
	1	2	3	4	5	6	7	8
La	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00
Ka	38,00	38,00	38,00	38,00	38,00	38,00	38,00	38,00
Massa inicial de solo (g)	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00
Umidade adicionada (%)	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00
leitura golpe 1 (mm)	24,18	25,01	24,70	25,77	27,11	27,16	26,66	25,78
leitura golpe 2 (mm)	20,37	21,30	21,03	21,67	22,54	22,43	22,62	22,22
leitura golpe 3 (mm)	18,54	19,30	19,34	19,86	20,53	20,40	20,63	20,42
leitura golpe 4 (mm)	17,35	18,05	18,21	18,59	19,13	19,13	19,37	19,22
leitura golpe 5 (mm)	16,47	17,09	17,43	17,55	18,19	18,11	18,48	18,12
leitura golpe 6 (mm)	15,79	16,34	16,67	16,77	17,47	17,37	17,8	17,43
leitura golpe 7 (mm)	15,23	15,82	16,07	16,20	16,82	16,68	17,14	16,77
Hc1 (mm) calculado	62,18	63,01	62,70	63,77	65,11	65,16	64,66	63,78
Hc2 (mm) calculado	58,37	59,30	59,03	59,67	60,54	60,43	60,62	60,22
Hc3 (mm) calculado	56,54	57,30	57,34	57,86	58,53	58,40	58,63	58,42
Hc4 (mm) calculado	55,35	56,05	56,21	56,59	57,13	57,13	57,37	57,22
Hc5 (mm) calculado	54,47	55,09	55,43	55,55	56,19	56,11	56,48	56,12
Hc6 (mm) calculado	53,79	54,34	54,67	54,77	55,47	55,37	55,80	55,43
Hc7 (mm) calculado	53,23	53,82	54,07	54,20	54,82	54,68	55,14	54,77
Volume CP (cm³)	104,52	105,68	106,17	106,42	107,64	107,36	108,27	107,54
Massa solo + molde (g)	1075,23	1057,68	1055,54	1061,68	1069,25	1078,18	1076,42	1057,84
Tara molde (g)	876,6	857,27	855,20	861,21	869,21	877,67	876,60	857,27
Massa final de solo(g)	198,63	200,41	200,34	200,47	200,04	200,51	199,82	200,57
ps1 (g/cm³)	1,38	1,36	1,37	1,34	1,31	1,31	1,32	1,34
ps2 (g/cm³)	1,47	1,44	1,45	1,43	1,41	1,42	1,41	1,42
ps3 (g/cm³)	1,51	1,49	1,49	1,48	1,46	1,47	1,46	1,47
ps4 (g/cm³)	1,55	1,53	1,52	1,51	1,50	1,50	1,49	1,50
ps5 (g/cm³)	1,57	1,55	1,54	1,54	1,52	1,53	1,52	1,53
ps6 (g/cm³)	1,59	1,58	1,57	1,56	1,54	1,55	1,53	1,54
ps7 (g/cm³)	1,60	1,59	1,59	1,58	1,56	1,57	1,55	1,57
MEAU (g/cm³)	1,90	1,90	1,89	1,88	1,86	1,87	1,85	1,87
MEAS (g/cm³)	1,60	1,59	1,59	1,58	1,56	1,57	1,55	1,57
Balança hidrostática	Massa saturada (g)	...	...	213,27	...	...	213,82	...
	Massa seca (g)	...	...	170,25	...	...	170,29	...
	Massa imersa (g)	...	...	106,70	...	...	106,47	...
	Volume (cm³)	...	...	106,57	...	...	107,35	...
	MEAS² (g/cm³)	...	...	1,60	...	...	1,59	...
Absorção	Massa úmida (g)	...	...	205,49	...	...	206,37	...
	Massa seca (g)	...	...	170,25	...	...	170,29	...
	Massa água (g)	...	...	35,24	...	...	36,08	...
	Absorção água (%)	...	...	20,70	...	...	21,19	...

(continua)

Dados	Corpo de prova							
	9	10	11	12	13	14	15	16
La	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00
Ka	38,00	38,00	38,00	38,00	38,00	38,00	38,00	38,00
Massa inicial de solo (g)	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00
Umidade adicionada (%)	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00
leitura golpe 1 (mm)	25,73	26,67	27,28	27,67	26,24	27,14	26,64	25,20
leitura golpe 2 (mm)	22,08	22,64	23,97	24,74	22,88	23,13	23,35	23,15
leitura golpe 3 (mm)	20,35	20,76	21,15	21,93	21,13	21,30	21,72	21,74
leitura golpe 4 (mm)	19,21	19,49	19,86	20,44	19,81	20,10	20,44	20,82
leitura golpe 5 (mm)	18,20	18,43	18,89	19,33	18,92	19,13	19,54	19,95
leitura golpe 6 (mm)	17,45	17,62	18,09	18,46	18,22	18,35	18,74	19,27
leitura golpe 7 (mm)	16,79	16,98	17,40	17,82	17,68	17,68	18,18	18,55
Hc1 (mm) calculado	63,73	64,67	65,28	65,67	64,24	65,14	64,64	63,20
Hc2 (mm) calculado	60,08	60,64	61,97	62,74	60,88	61,13	61,35	61,15
Hc3 (mm) calculado	58,35	58,76	59,15	59,93	59,13	59,30	59,72	59,74
Hc4 (mm) calculado	57,21	57,49	57,86	58,44	57,81	58,10	58,44	58,82
Hc5 (mm) calculado	56,20	56,43	56,89	57,33	56,92	57,13	57,54	57,95
Hc6 (mm) calculado	55,45	55,62	56,09	56,46	56,22	56,35	56,74	57,27
Hc7 (mm) calculado	54,79	54,98	55,40	55,82	55,68	55,68	56,18	56,55
Volume CP (cm³)	107,58	107,95	108,78	109,60	109,33	109,33	110,31	111,04
Massa solo + molde (g)	1056,09	1061,90	1069,44	1078,42	1076,42	1057,31	1055,91	1061,58
Tara molde (g)	855,20	861,21	869,21	877,67	876,60	857,27	855,20	861,21
Massa final de solo(g)	200,89	200,69	200,23	200,75	199,82	200,04	200,71	200,37
ps1 (g/cm³)	1,34	1,32	1,31	1,30	1,33	1,31	1,32	1,35
ps2 (g/cm³)	1,42	1,41	1,38	1,36	1,41	1,40	1,40	1,40
ps3 (g/cm³)	1,47	1,46	1,45	1,43	1,45	1,44	1,43	1,43
ps4 (g/cm³)	1,50	1,49	1,48	1,46	1,48	1,47	1,46	1,46
ps5 (g/cm³)	1,52	1,52	1,50	1,49	1,50	1,50	1,49	1,48
ps6 (g/cm³)	1,54	1,54	1,53	1,52	1,52	1,52	1,51	1,49
ps7 (g/cm³)	1,57	1,56	1,55	1,54	1,54	1,54	1,53	1,52
MEAU (g/cm³)	1,87	1,86	1,84	1,83	1,83	1,83	1,82	1,80
MEAS (g/cm³)	1,57	1,56	1,55	1,54	1,54	1,54	1,53	1,52
Balança hidrostática	Massa saturada (g)	216,28	...	...	217,11	...	...	218,00
	Massa seca (g)	170,70	...	...	170,86	...	...	170,83
	Massa imersa (g)	107,53	...	...	106,68	...	...	106,92
	Volume (cm³)	108,75	...	...	110,43	...	...	111,08
	MEAS² (g/cm³)	1,57	...	...	1,55	...	...	1,54
Absorção	Massa úmida (g)	209,17	...	...	210,22	...	...	211,15
	Massa seca (g)	170,70	...	...	170,86	...	...	170,83
	Massa água (g)	38,47	...	...	39,36	...	...	40,32
	Absorção água (%)	22,54	...	...	23,04	...	...	23,60

(continuação)

Dados		Corpo de prova							
		17	18	19	20	21	22	23	24
La		12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00
Ka		38,00	38,00	38,00	38,00	38,00	38,00	38,00	38,00
Massa inicial de solo (g)		200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00
Umidade adicionada (%)		19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00
leitura golpe 1 (mm)		27,85	29,56	29,84	28,18	28,22	28,81	28,54	29,12
leitura golpe 2 (mm)		23,96	24,51	25,39	24,70	24,76	25,14	24,93	25,26
leitura golpe 3 (mm)		22,24	22,70	23,60	23,02	22,98	23,41	23,41	23,57
leitura golpe 4 (mm)		20,98	21,64	22,22	21,83	21,64	22,18	22,23	22,37
leitura golpe 5 (mm)		20,16	20,68	21,14	20,91	20,68	21,16	21,43	21,50
leitura golpe 6 (mm)		19,35	19,90	20,33	20,02	20,01	20,43	20,66	20,71
leitura golpe 7 (mm)		18,64	19,25	19,75	19,43	19,30	19,75	20,05	20,12
Hc1 (mm) calculado		65,85	67,56	67,84	66,18	66,22	66,81	66,54	67,12
Hc2 (mm) calculado		61,96	62,51	63,39	62,70	62,76	63,14	62,93	63,26
Hc3 (mm) calculado		60,24	60,70	61,60	61,02	60,98	61,41	61,41	61,57
Hc4 (mm) calculado		58,98	59,64	60,22	59,83	59,64	60,18	60,23	60,37
Hc5 (mm) calculado		58,16	58,68	59,14	58,91	58,68	59,16	59,43	59,50
Hc6 (mm) calculado		57,35	57,90	58,33	58,02	58,01	58,43	58,66	58,71
Hc7 (mm) calculado		56,64	57,25	57,75	57,43	57,30	57,75	58,05	58,12
Volume CP (cm³)		111,21	112,41	113,39	112,76	112,51	113,39	113,98	114,12
Massa solo + molde (g)		1069,67	1077,83	1075,96	1057,95	1055,55	1062,12	1069,80	1078,23
Tara molde (g)		869,21	877,67	876,60	857,27	855,20	861,21	869,21	877,67
Massa final de solo(g)		200,46	200,16	199,36	200,68	200,35	200,91	200,59	200,56
ps1 (g/cm³)		1,30	1,27	1,26	1,29	1,29	1,28	1,29	1,28
ps2 (g/cm³)		1,38	1,37	1,35	1,37	1,36	1,36	1,36	1,35
ps3 (g/cm³)		1,42	1,41	1,39	1,40	1,40	1,39	1,39	1,39
ps4 (g/cm³)		1,45	1,44	1,42	1,43	1,44	1,42	1,42	1,42
ps5 (g/cm³)		1,47	1,46	1,45	1,45	1,46	1,45	1,44	1,44
ps6 (g/cm³)		1,49	1,48	1,47	1,48	1,48	1,46	1,46	1,46
ps7 (g/cm³)		1,51	1,50	1,48	1,50	1,50	1,49	1,48	1,48
MEAU (g/cm³)		1,80	1,78	1,76	1,78	1,78	1,77	1,76	1,76
MEAS (g/cm³)		1,51	1,50	1,48	1,50	1,50	1,49	1,48	1,48
ps média CPs 1 a 24 (g/cm³)		1,54							
Maior ps CPs 1 a 24 (g/cm³)		1,60							
Menor ps 1 a 24 (g/cm³)		1,48							
Variação ps 1 a 24 (g/cm³)		0,12							
Balança hidrostática	Massa saturada (g)	...	219,19	...	...	219,99	...	...	221,54
	Massa seca (g)	...	170,02	...	...	170,46	...	...	170,94
	Massa imersa (g)	...	106,38	...	...	106,64	...	...	106,87
	Volume (cm³)	...	112,81	...	...	113,35	...	...	114,67
	MEAS² (g/cm³)	...	1,51	...	...	1,50	...	...	1,49
psbh média (g/cm³)		1,54							
Maior psbh (g/cm³)		1,60							
Menor psbh (g/cm³)		1,49							
Variação psbh (g/cm³)		0,11							
Absorção	Massa úmida (g)	...	211,67	...	...	212,49	...	...	213,93
	Massa seca (g)	...	170,02	...	...	170,46	...	...	170,94
	Massa água (g)	...	41,65	...	...	42,03	...	...	42,99
	Absorção água (%)	...	24,50	...	...	24,66	...	...	25,15
Absorção média (%)		23,17							
Maior absorção (%)		25,17							

(conclusão)

Fonte: Autor.

Tabela C3 - Mini-MCV; balança hidrostática, absorção, dos corpos de prova de solo + ART + cimento moldados com a mistura M5 - 7 golpes - água 19,00 %

Dados	Corpo de prova							
	25	26	27	28	29	30	31	32
La	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00
Ka	38,00	38,00	38,00	38,00	38,00	38,00	38,00	38,00
Massa inicial de solo (g)	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00
Umidade adicionada (%)	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00
leitura golpe 1 (mm)	22,82	26,19	25,23	23,89	24,09	23,22	24,91	25,84
leitura golpe 2 (mm)	19,18	20,74	20,56	19,95	19,95	20,12	21,01	21,40
leitura golpe 3 (mm)	17,43	18,58	18,57	18,15	18,12	18,43	19,05	19,48
leitura golpe 4 (mm)	16,25	17,15	17,22	16,71	16,89	17,22	17,68	18,20
leitura golpe 5 (mm)	15,33	16,00	16,19	15,70	15,96	16,28	16,56	17,28
leitura golpe 6 (mm)	14,68	15,24	15,30	14,87	15,25	15,64	15,66	16,42
leitura golpe 7 (mm)	14,09	14,59	14,64	14,23	14,56	14,98	15,11	15,80
Hc1 (mm) calculado	60,82	64,19	63,23	61,89	62,09	61,22	62,91	63,84
Hc2 (mm) calculado	57,18	58,74	58,56	57,95	57,95	58,12	59,01	59,40
Hc3 (mm) calculado	55,43	56,58	56,57	56,15	56,12	56,43	57,05	57,48
Hc4 (mm) calculado	54,25	55,15	55,22	54,71	54,89	55,22	55,68	56,20
Hc5 (mm) calculado	53,33	54,00	54,19	53,70	53,96	54,28	54,56	55,28
Hc6 (mm) calculado	52,68	53,24	53,30	52,87	53,25	53,64	53,66	54,42
Hc7 (mm) calculado	52,09	52,59	52,64	52,23	52,56	52,98	53,11	53,80
Volume CP (cm³)	102,28	103,26	103,36	102,55	103,20	104,03	104,28	105,64
Massa solo + molde (g)	1054,71	1077,35	1068,54	1056,64	1075,69	1060,59	1056,75	1075,58
Tara molde (g)	855,6	877,78	869,45	858,51	876,7	861,91	858,51	876,70
Massa final de solo(g)	199,11	199,57	199,09	198,13	198,99	198,68	198,24	198,88
ps1 (g/cm³)	1,41	1,33	1,35	1,38	1,38	1,40	1,36	1,34
ps2 (g/cm³)	1,50	1,46	1,46	1,48	1,48	1,47	1,45	1,44
ps3 (g/cm³)	1,54	1,51	1,51	1,52	1,53	1,52	1,50	1,49
ps4 (g/cm³)	1,58	1,55	1,55	1,56	1,56	1,55	1,54	1,52
ps5 (g/cm³)	1,61	1,59	1,58	1,59	1,59	1,58	1,57	1,55
ps6 (g/cm³)	1,62	1,61	1,61	1,62	1,61	1,60	1,60	1,57
ps7 (g/cm³)	1,64	1,62	1,62	1,62	1,62	1,60	1,60	1,58
MEAU (g/cm³)	1,95	1,93	1,93	1,93	1,93	1,91	1,90	1,88
MEAS (g/cm³)	1,64	1,62	1,62	1,62	1,62	1,60	1,60	1,58
Balança hidrostática	Massa saturada (g)	...	...	...	...	...	...	...
	Massa seca (g)	...	...	...	...	...	...	...
	Massa imersa (g)	...	...	...	...	...	...	...
	Volume (cm³)	...	...	...	...	...	...	...
	MEAS² (g/cm³)	...	...	...	...	...	...	...
Absorção	Massa úmida (g)	...	...	...	...	...	...	...
	Massa seca (g)	...	...	...	...	...	...	...
	Massa água (g)	...	...	...	...	...	...	...
	Absorção água (%)	...	...	...	...	...	...	...

(continua)

Dados		Corpo de prova							
		33	34	35	36	37	38	39	40
La		12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00
Ka		38,00	38,00	38,00	38,00	38,00	38,00	38,00	38,00
Massa inicial de solo (g)		200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00
Umidade adicionada (%)		19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00
leitura golpe 1 (mm)		26,93	25,57	26,44	26,80	27,10	26,30	25,38	26,21
leitura golpe 2 (mm)		21,85	21,34	21,58	22,04	22,60	22,09	21,59	22,15
leitura golpe 3 (mm)		19,71	19,53	19,63	20,03	20,83	20,13	19,73	20,30
leitura golpe 4 (mm)		18,33	18,25	18,47	18,65	19,46	18,95	18,56	19,05
leitura golpe 5 (mm)		17,05	17,30	17,49	17,64	18,50	17,73	17,67	18,02
leitura golpe 6 (mm)		16,23	16,48	16,75	16,86	17,72	16,94	16,88	17,28
leitura golpe 7 (mm)		15,67	15,75	16,11	16,19	17,03	16,25	16,27	16,63
Hc1 (mm) calculado		64,93	63,57	64,44	64,80	65,10	64,30	63,38	64,21
Hc2 (mm) calculado		59,85	59,34	59,58	60,04	60,60	60,09	59,59	60,15
Hc3 (mm) calculado		57,71	57,53	57,63	58,03	58,83	58,13	57,73	58,30
Hc4 (mm) calculado		56,33	56,25	56,47	56,65	57,46	56,95	56,56	57,05
Hc5 (mm) calculado		55,05	55,30	55,49	55,64	56,50	55,73	55,67	56,02
Hc6 (mm) calculado		54,23	54,48	54,75	54,86	55,72	54,94	54,88	55,28
Hc7 (mm) calculado		53,67	53,75	54,11	54,19	55,03	54,25	54,27	54,63
Volume CP (cm³)		105,38	105,54	106,24	106,40	108,05	106,52	106,56	107,27
Massa solo + molde (g)		1060,51	1054,57	1077,09	1068,76	1069,72	1059,62	1054,53	1075,47
Tara molde (g)		861,91	855,60	877,78	869,45	869,45	861,91	855,6	876,70
Massa final de solo(g)		198,60	198,97	199,31	199,31	200,27	197,71	198,93	198,77
ps1 (g/cm³)		1,32	1,35	1,33	1,32	1,31	1,33	1,35	1,33
ps2 (g/cm³)		1,43	1,44	1,44	1,43	1,41	1,42	1,44	1,42
ps3 (g/cm³)		1,48	1,49	1,49	1,48	1,45	1,47	1,48	1,47
ps4 (g/cm³)		1,52	1,52	1,52	1,51	1,49	1,50	1,51	1,50
ps5 (g/cm³)		1,55	1,55	1,54	1,54	1,51	1,54	1,54	1,53
ps6 (g/cm³)		1,58	1,57	1,56	1,56	1,54	1,56	1,56	1,55
ps7 (g/cm³)		1,58	1,58	1,58	1,57	1,56	1,56	1,57	1,56
MEAU (g/cm³)		1,88	1,89	1,88	1,87	1,85	1,86	1,87	1,85
MEAS (g/cm³)		1,58	1,58	1,58	1,57	1,56	1,56	1,57	1,56
Balança hidrostática	Massa saturada (g)	211,09	212,38	211,98	212,14	214,16	211,25	211,83	212,34
	Massa seca (g)	168,00	168,23	168,03	168,26	169,39	167,53	168,18	168,30
	Massa imersa (g)	104,96	105,48	105,21	105,42	106,02	104,38	104,29	104,50
	Volume (cm³)	106,13	106,90	106,77	106,72	108,14	106,87	107,54	107,84
	MEAS² (g/cm³)	1,58	1,57	1,57	1,58	1,57	1,57	1,56	1,56
Absorção	Massa úmida (g)	205,15	205,21	205,90	206,15	207,17	204,87	206,12	205,99
	Massa seca (g)	168,00	168,23	168,03	168,26	169,39	167,53	168,18	168,30
	Massa água (g)	37,15	36,98	37,87	37,89	37,78	37,34	37,94	37,69
	Absorção água (%)	22,11	21,98	22,54	22,52	22,30	22,29	22,56	22,39

(continuação)

Dados	Corpo de prova							
	41	42	43	44	45	46	47	48
La	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00
Ka	38,00	38,00	38,00	38,00	38,00	38,00	38,00	38,00
Massa inicial de solo (g)	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00
Umidade adicionada (%)	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00
leitura golpe 1 (mm)	26,75	26,14	26,96	26,52	25,72	27,12	26,88	26,03
leitura golpe 2 (mm)	22,40	22,02	22,49	22,41	22,00	22,78	22,84	22,25
leitura golpe 3 (mm)	20,45	20,20	20,68	20,57	20,32	20,90	21,02	20,66
leitura golpe 4 (mm)	19,22	18,82	19,24	19,52	19,07	19,55	19,70	19,42
leitura golpe 5 (mm)	18,26	17,92	18,22	18,42	18,24	18,59	18,71	18,43
leitura golpe 6 (mm)	17,51	17,13	17,41	17,67	17,48	17,84	17,98	17,65
leitura golpe 7 (mm)	16,93	16,46	16,70	16,97	16,84	17,11	17,34	17,09
Hc1 (mm) calculado	64,75	64,14	64,96	64,52	63,72	65,12	64,88	64,03
Hc2 (mm) calculado	60,40	60,02	60,49	60,41	60,00	60,78	60,84	60,25
Hc3 (mm) calculado	58,45	58,20	58,68	58,57	58,32	58,90	59,02	58,66
Hc4 (mm) calculado	57,22	56,82	57,24	57,52	57,07	57,55	57,70	57,42
Hc5 (mm) calculado	56,26	55,92	56,22	56,42	56,24	56,59	56,71	56,43
Hc6 (mm) calculado	55,51	55,13	55,41	55,67	55,48	55,84	55,98	55,65
Hc7 (mm) calculado	54,93	54,46	54,70	54,97	54,84	55,11	55,34	55,09
Volume CP (cm³)	107,86	106,93	107,40	107,93	107,68	108,21	108,66	108,17
Massa solo + molde (g)	1077,02	1056,10	1077,02	1059,75	1054,65	1075,66	1068,63	1056,50
Tara molde (g)	877,78	858,51	877,78	861,91	855,60	876,70	869,45	858,51
Massa final de solo(g)	199,24	197,59	199,24	197,84	199,05	198,96	199,18	197,99
ps1 (g/cm³)	1,32	1,33	1,32	1,33	1,34	1,31	1,32	1,34
ps2 (g/cm³)	1,42	1,43	1,42	1,42	1,43	1,41	1,41	1,42
ps3 (g/cm³)	1,46	1,47	1,46	1,46	1,47	1,45	1,45	1,46
ps4 (g/cm³)	1,50	1,51	1,50	1,49	1,50	1,49	1,48	1,49
ps5 (g/cm³)	1,52	1,53	1,52	1,52	1,52	1,51	1,51	1,52
ps6 (g/cm³)	1,54	1,55	1,54	1,54	1,54	1,53	1,53	1,54
ps7 (g/cm³)	1,55	1,55	1,56	1,54	1,55	1,55	1,54	1,54
MEAU (g/cm³)	1,85	1,85	1,86	1,83	1,85	1,84	1,83	1,83
MEAS (g/cm³)	1,55	1,55	1,56	1,54	1,55	1,55	1,54	1,54
ps média CP 25 a 48 (g/cm³)	1,58							
Maior ps CP 25 a 48 (g/cm³)	1,64							
Menor ps CP25 a 48 (g/cm³)	1,54							
Variação ps 25 a 48 (g/cm³)	0,10							
Balança hidrostática	Massa saturada (g)	...	...	...	...	...	...	...
	Massa seca (g)	...	...	...	...	...	...	...
	Massa imersa (g)	...	...	...	...	...	...	...
	Volume (cm³)	...	...	...	...	...	...	...
	MEAS² (g/cm³)	...	...	...	...	...	...	...
psbh média (g/cm³)	1,57							
Maior psbh (g/cm³)	1,58							
Menor psbh (g/cm³)	1,56							
Variação psbh (g/cm³)	0,02							
Absorção	Massa úmida (g)	...	...	...	...	...	...	...
	Massa seca (g)	...	...	...	...	...	...	...
	Massa água (g)	...	...	...	...	...	...	...
	Absorção água (%)	...	...	...	...	...	...	...
Absorção média (%)	22,34							
Maior absorção (%)	22,56							

(conclusão)

Fonte: Autor.

Tabela C4 - Mini-MCV; balança hidrostática, absorção, dos corpos de prova de solo + ART + cimento moldados com a mistura M6 - 7 golpes - água 19,00 %

Dados	Corpo de prova							
	25	26	27	28	29	30	31	32
La	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00
Ka	38,00	38,00	38,00	38,00	38,00	38,00	38,00	38,00
Massa inicial de solo (g)	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00
Umidade adicionada (%)	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00
leitura golpe 1 (mm)	26,03	25,54	25,65	26,67	28,09	27,12	27,93	26,90
leitura golpe 2 (mm)	21,82	21,47	21,45	22,02	23,02	22,4	23,34	22,47
leitura golpe 3 (mm)	20,00	19,46	19,69	20,17	20,93	20,43	21,30	20,67
leitura golpe 4 (mm)	18,69	18,17	18,40	18,83	19,43	19,15	20,02	19,33
leitura golpe 5 (mm)	17,61	17,08	17,45	18,03	18,33	18,1	19,00	18,27
leitura golpe 6 (mm)	16,84	16,36	16,73	17,12	17,44	17,27	18,01	17,4
leitura golpe 7 (mm)	16,4	15,77	16,06	16,55	16,73	16,60	17,26	16,70
Hc1 (mm) calculado	64,03	63,54	63,65	64,67	66,09	65,12	65,93	64,90
Hc2 (mm) calculado	59,82	59,47	59,45	60,02	61,02	60,40	61,34	60,47
Hc3 (mm) calculado	58,00	57,46	57,69	58,17	58,93	58,43	59,30	58,67
Hc4 (mm) calculado	56,69	56,17	56,40	56,83	57,43	57,15	58,02	57,33
Hc5 (mm) calculado	55,61	55,08	55,45	56,03	56,33	56,10	57,00	56,27
Hc6 (mm) calculado	54,84	54,36	54,73	55,12	55,44	55,27	56,01	55,40
Hc7 (mm) calculado	54,40	53,77	54,06	54,55	54,73	54,60	55,26	54,70
Volume CP (cm³)	106,81	105,58	106,15	107,11	107,46	107,21	108,50	107,40
Massa solo + molde (g)	1076,81	1057,28	1055,81	1061,73	1070,76	1078,62	1076,82	1058,15
Tara molde (g)	876,6	857,27	855,20	861,21	869,21	877,67	876,6	857,27
Massa final de solo(g)	200,21	200,01	200,61	200,52	201,55	200,95	200,22	200,88
ps1 (g/cm³)	1,34	1,35	1,34	1,32	1,30	1,31	1,30	1,32
ps2 (g/cm³)	1,43	1,44	1,44	1,43	1,40	1,42	1,40	1,42
ps3 (g/cm³)	1,48	1,49	1,48	1,47	1,45	1,46	1,44	1,46
ps4 (g/cm³)	1,51	1,52	1,52	1,51	1,49	1,50	1,48	1,49
ps5 (g/cm³)	1,54	1,55	1,54	1,53	1,52	1,53	1,50	1,52
ps6 (g/cm³)	1,56	1,57	1,56	1,55	1,54	1,55	1,53	1,55
ps7 (g/cm³)	1,58	1,59	1,59	1,57	1,58	1,58	1,55	1,57
MEAU (g/cm³)	1,87	1,89	1,89	1,87	1,88	1,87	1,85	1,87
MEAS (g/cm³)	1,58	1,59	1,59	1,57	1,58	1,58	1,55	1,57
Balança hidrostática	Massa saturada (g)	...	...	213,79	...	...	214,34	...
	Massa seca (g)	...	...	170,75	...	...	171,17	...
	Massa imersa (g)	...	...	106,47	...	...	106,56	...
	Volume (cm³)	...	...	107,32	...	...	107,78	...
	MEAS² (g/cm³)	...	...	1,59	...	...	1,59	...
Absorção	Massa úmida (g)	...	...	207,52	...	...	208,34	...
	Massa seca (g)	...	...	170,75	...	...	171,17	...
	Massa água (g)	...	...	36,77	...	...	37,17	...
	Absorção água (%)	...	...	21,53	...	...	21,72	...

(continua)

Dados	Corpo de prova							
	33	34	35	36	37	38	39	40
La	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00
Ka	38,00	38,00	38,00	38,00	38,00	38,00	38,00	38,00
Massa inicial de solo (g)	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00
Umidade adicionada (%)	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00
leitura golpe 1 (mm)	25,84	27,45	27,46	29,76	28,58	27,58	28,15	29,31
leitura golpe 2 (mm)	22,08	22,98	23,17	24,69	24,26	23,42	24,30	24,89
leitura golpe 3 (mm)	20,45	21,12	21,39	22,65	22,27	21,54	22,40	22,68
leitura golpe 4 (mm)	19,04	19,80	20,10	21,03	21,97	20,10	20,98	21,25
leitura golpe 5 (mm)	18,03	18,75	19,20	19,93	19,94	19,15	20,03	20,15
leitura golpe 6 (mm)	17,40	17,88	18,47	19,01	19,11	18,34	19,08	19,18
leitura golpe 7 (mm)	16,65	17,26	17,87	18,27	18,45	17,65	18,45	18,43
Hc1 (mm) calculado	63,84	65,45	65,46	67,76	66,58	65,58	66,15	67,31
Hc2 (mm) calculado	60,08	60,98	61,17	62,69	62,26	61,42	62,30	62,89
Hc3 (mm) calculado	58,45	59,12	59,39	60,65	60,27	59,54	60,40	60,68
Hc4 (mm) calculado	57,04	57,80	58,10	59,03	59,97	58,10	58,98	59,25
Hc5 (mm) calculado	56,03	56,75	57,20	57,93	57,94	57,15	58,03	58,15
Hc6 (mm) calculado	55,40	55,88	56,47	57,01	57,11	56,34	57,08	57,18
Hc7 (mm) calculado	54,65	55,26	55,87	56,27	56,45	55,65	56,45	56,43
Volume CP (cm³)	107,31	108,50	109,70	110,49	110,84	109,27	110,84	110,80
Massa solo + molde (g)	1055,68	1061,56	1069,99	1079,14	1076,94	1057,34	1055,69	1061,95
Tara molde (g)	855,20	861,21	869,21	877,67	876,6	857,27	855,2	861,21
Massa final de solo(g)	200,48	200,35	200,78	201,47	200,34	200,07	200,49	200,74
ps1 (g/cm³)	1,34	1,31	1,31	1,26	1,29	1,31	1,29	1,27
ps2 (g/cm³)	1,42	1,40	1,40	1,37	1,37	1,39	1,37	1,36
ps3 (g/cm³)	1,46	1,45	1,44	1,41	1,42	1,44	1,42	1,41
ps4 (g/cm³)	1,50	1,48	1,47	1,45	1,43	1,47	1,45	1,44
ps5 (g/cm³)	1,53	1,51	1,50	1,48	1,48	1,50	1,48	1,47
ps6 (g/cm³)	1,55	1,53	1,52	1,50	1,50	1,52	1,50	1,50
ps7 (g/cm³)	1,57	1,55	1,54	1,53	1,52	1,54	1,52	1,52
MEAU (g/cm³)	1,87	1,85	1,83	1,82	1,81	1,83	1,81	1,81
MEAS (g/cm³)	1,57	1,55	1,54	1,53	1,52	1,54	1,52	1,52
Balança hidrostática	Massa saturada (g)	215,30	...	...	218,20	...	...	...
	Massa seca (g)	170,55	...	...	171,56	...	...	...
	Massa imersa (g)	106,88	...	...	107,15	...	...	...
	Volume (cm³)	108,42	...	...	111,05	...	...	...
	MEAS² (g/cm³)	1,57	...	...	1,54	...	...	...
Absorção	Massa úmida (g)	208,53	...	...	211,32	...	...	...
	Massa seca (g)	170,55	...	...	171,56	...	...	...
	Massa água (g)	37,98	...	...	39,76	...	...	...
	Absorção água (%)	22,27	...	...	23,18	...	...	...

(continuação)

Dados	Corpo de prova							
	41	42	43	44	45	46	47	48
La	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00
Ka	38,00	38,00	38,00	38,00	38,00	38,00	38,00	38,00
Massa inicial de solo (g)	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00
Umidade adicionada (%)	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00
leitura golpe 1 (mm)	30,27	28,85	30,09	28,58	28,59	29,51	29,56	30,03
leitura golpe 2 (mm)	25,22	24,61	25,39	24,42	24,25	24,93	25,16	25,51
leitura golpe 3 (mm)	23,02	22,45	23,40	22,52	22,32	22,78	23,24	23,45
leitura golpe 4 (mm)	21,84	21,17	21,98	21,07	21,05	21,40	21,89	22,05
leitura golpe 5 (mm)	20,69	20,14	20,97	20,15	20,18	20,43	20,93	20,91
leitura golpe 6 (mm)	19,72	19,16	20,19	19,32	19,41	19,54	20,02	20,06
leitura golpe 7 (mm)	19,09	18,57	19,42	18,56	18,82	18,82	19,38	19,47
Hc1 (mm) calculado	68,27	66,85	68,09	66,58	66,59	67,51	67,56	68,03
Hc2 (mm) calculado	63,22	62,61	63,39	62,42	62,25	62,93	63,16	63,51
Hc3 (mm) calculado	61,02	60,45	61,40	60,52	60,32	60,78	61,24	61,45
Hc4 (mm) calculado	59,84	59,17	59,98	59,07	59,05	59,40	59,89	60,05
Hc5 (mm) calculado	58,69	58,14	58,97	58,15	58,18	58,43	58,93	58,91
Hc6 (mm) calculado	57,72	57,16	58,19	57,32	57,41	57,54	58,02	58,06
Hc7 (mm) calculado	57,09	56,57	57,42	56,56	56,82	56,82	57,38	57,47
Volume CP (cm³)	112,10	111,08	112,74	111,06	111,57	111,57	112,67	112,84
Massa solo + molde (g)	1069,97	1078,45	1076,74	1057,21	1056,26	1062,27	1070,16	1078,39
Tara molde (g)	869,21	877,67	876,60	857,27	855,20	861,21	869,21	877,67
Massa final de solo(g)	200,76	200,78	200,14	199,94	201,06	201,06	200,95	200,72
ps1 (g/cm³)	1,25	1,28	1,26	1,29	1,29	1,27	1,27	1,26
ps2 (g/cm³)	1,35	1,37	1,35	1,37	1,38	1,36	1,36	1,35
ps3 (g/cm³)	1,40	1,42	1,39	1,41	1,42	1,41	1,40	1,39
ps4 (g/cm³)	1,43	1,45	1,43	1,45	1,45	1,44	1,43	1,43
ps5 (g/cm³)	1,46	1,47	1,45	1,47	1,47	1,46	1,45	1,45
ps6 (g/cm³)	1,48	1,50	1,47	1,49	1,49	1,49	1,48	1,47
ps7 (g/cm³)	1,51	1,52	1,49	1,51	1,51	1,51	1,50	1,49
MEAU (g/cm³)	1,79	1,81	1,78	1,80	1,80	1,80	1,78	1,78
MEAS (g/cm³)	1,51	1,52	1,49	1,51	1,51	1,51	1,50	1,49
ps média CP 25 a 48 (g/cm³)	1,54							
Maior ps CP 25 a 48 (g/cm³)	1,59							
Menor ps CP25 a 48 (g/cm³)	1,49							
Variação ps CP25 a 48 (g/cm³)	0,10							
Balança hidrostática	Massa saturada (g)	...	217,02	...	...	219,39	...	219,58
	Massa seca (g)	...	170,19	...	...	171,63	...	171,34
	Massa imersa (g)	...	105,92	...	...	106,93	...	106,37
	Volume (cm³)	...	111,10	...	...	112,46	...	113,21
	MEAS² (g/cm³)	...	1,53	...	...	1,53	...	1,51
psbh média (g/cm³)	1,55							
Maior psbh (g/cm³)	1,59							
Menor psbh (g/cm³)	1,51							
Variação psbh (g/cm³)	0,08							
Absorção	Massa úmida (g)	...	210,23	...	...	212,37	...	212,55
	Massa seca (g)	...	170,19	...	...	171,63	...	171,34
	Massa água (g)	...	40,04	...	...	40,74	...	41,21
	Absorção água (%)	...	23,53	...	...	23,74	...	24,05
Absorção média (%)	22,92							
Maior absorção (%)	24,05							

(conclusão)

Fonte: Autor.

Tabela C5 - Mini-MCV; balança hidrostática, absorção, dos corpos de prova de solo + ART + cimento moldados com a mistura M4 com adição de 1% de Sika 1 - 7 golpes - água 19,00 %

Dados	Corpo de prova							
	1	2	3	4	5	6	7	8
La	12,12	12,12	12,12	12,12	12,12	12,12	12,12	12,12
Ka	37,88	37,88	37,88	37,88	37,88	37,88	37,88	37,88
Massa inicial de solo (g)	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00
Umidade adicionada (%)	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00
leitura golpe 1 (mm)	25,49	25,87	25,76	25,04	25,76	26,15	26,68	28,35
leitura golpe 2 (mm)	21,53	21,72	23,28	21,61	22,17	22,60	22,79	23,29
leitura golpe 3 (mm)	19,67	19,86	21,51	19,93	20,47	20,83	21,10	21,35
leitura golpe 4 (mm)	18,34	18,63	20,08	18,76	19,16	19,64	19,97	20,11
leitura golpe 5 (mm)	17,40	17,69	19,18	17,99	18,21	18,72	19,11	19,24
leitura golpe 6 (mm)	16,63	16,97	18,41	17,26	17,41	17,96	18,34	18,56
leitura golpe 7 (mm)	16,05	16,36	17,69	16,69	16,82	17,37	17,71	17,87
Hc1 (mm) calculado	63,37	63,75	63,64	62,92	63,64	64,03	64,56	66,23
Hc2 (mm) calculado	59,41	59,60	61,16	59,49	60,05	60,48	60,67	61,17
Hc3 (mm) calculado	57,55	57,74	59,39	57,81	58,35	58,71	58,98	59,23
Hc4 (mm) calculado	56,22	56,51	57,96	56,64	57,04	57,52	57,85	57,99
Hc5 (mm) calculado	55,28	55,57	57,06	55,87	56,09	56,60	56,99	57,12
Hc6 (mm) calculado	54,51	54,85	56,29	55,14	55,29	55,84	56,22	56,44
Hc7 (mm) calculado	53,93	54,24	55,57	54,57	54,70	55,25	55,59	55,75
Volume CP (cm³)	105,89	106,50	109,11	107,15	107,40	108,48	109,15	109,47
Massa solo + molde (g)	1056,51	1058,50	1068,68	1061,12	1055,67	1057,73	1059,80	1068,04
Tara molde (g)	858,02	859,17	869,25	861,46	855,31	857,42	858,92	868,07
Massa final de solo(g)	198,49	199,33	199,43	199,66	200,36	200,31	200,88	199,97
ps1 (g/cm³)	1,35	1,34	1,34	1,36	1,34	1,34	1,33	1,29
ps2 (g/cm³)	1,44	1,44	1,40	1,44	1,43	1,42	1,41	1,40
ps3 (g/cm³)	1,49	1,48	1,44	1,48	1,47	1,46	1,45	1,45
ps4 (g/cm³)	1,52	1,51	1,48	1,51	1,50	1,49	1,48	1,48
ps5 (g/cm³)	1,55	1,54	1,50	1,53	1,53	1,51	1,50	1,50
ps6 (g/cm³)	1,57	1,56	1,52	1,55	1,55	1,53	1,52	1,52
ps7 (g/cm³)	1,58	1,57	1,54	1,57	1,57	1,55	1,55	1,54
MEAU (g/cm³)	1,87	1,87	1,83	1,86	1,87	1,85	1,84	1,83
MEAS (g/cm³)	1,58	1,57	1,54	1,57	1,57	1,55	1,55	1,54
Balança hidrostática	Massa saturada (g)	...	...	215,79	...	...	215,00	...
	Massa seca (g)	...	...	168,99	...	...	169,81	...
	Massa imersa (g)	...	...	106,35	...	...	105,16	...
	Volume (cm³)	...	...	109,44	...	...	109,84	...
	MEAS² (g/cm³)	...	...	1,54	...	...	1,55	...
Absorção	Massa úmida (g)	...	...	205,07	...	...	204,10	...
	Massa seca (g)	...	...	168,99	...	...	169,81	...
	Massa água (g)	...	...	36,08	...	...	34,29	...
	Absorção água (%)	...	...	21,35	...	...	20,19	...

(continua)

Dados	Corpo de prova							
	9	10	11	12	13	14	15	16
La	12,12	12,12	12,12	12,12	12,12	12,12	12,12	12,12
Ka	37,88	37,88	37,88	37,88	37,88	37,88	37,88	37,88
Massa inicial de solo (g)	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00
Umidade adicionada (%)	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00
leitura golpe 1 (mm)	24,68	26,00	26,51	26,19	29,90	25,23	25,65	25,21
leitura golpe 2 (mm)	21,55	23,43	22,88	22,73	24,45	22,28	22,49	22,42
leitura golpe 3 (mm)	20,07	21,93	21,11	21,12	22,42	20,75	20,87	20,89
leitura golpe 4 (mm)	19,08	20,55	19,97	19,79	20,94	19,76	19,76	19,66
leitura golpe 5 (mm)	18,38	19,45	18,91	18,80	19,87	18,80	18,93	18,81
leitura golpe 6 (mm)	17,78	18,65	18,19	18,03	18,94	18,02	18,14	18,10
leitura golpe 7 (mm)	17,18	17,93	17,51	17,41	18,26	17,54	17,44	17,53
Hc1 (mm) calculado	62,56	63,88	64,39	64,07	67,78	63,11	63,53	63,09
Hc2 (mm) calculado	59,43	61,31	60,76	60,61	62,33	60,16	60,37	60,30
Hc3 (mm) calculado	57,95	59,81	58,99	59,00	60,30	58,63	58,75	58,77
Hc4 (mm) calculado	56,96	58,43	57,85	57,67	58,82	57,64	57,64	57,54
Hc5 (mm) calculado	56,26	57,33	56,79	56,68	57,75	56,68	56,81	56,69
Hc6 (mm) calculado	55,66	56,53	56,07	55,91	56,82	55,90	56,02	55,98
Hc7 (mm) calculado	55,06	55,81	55,39	55,29	56,14	55,42	55,32	55,41
Volume CP (cm³)	108,11	109,58	108,76	108,56	110,23	108,82	108,62	108,80
Massa solo + molde (g)	1061,50	1055,52	1057,31	1059,75	1068,85	1061,02	1055,89	1057,82
Tara molde (g)	860,83	855,17	857,42	858,92	868,07	860,83	855,17	855,42
Massa final de solo(g)	200,67	200,35	199,89	200,83	200,78	200,19	200,72	202,40
ps1 (g/cm³)	1,37	1,34	1,33	1,34	1,26	1,36	1,35	1,36
ps2 (g/cm³)	1,44	1,40	1,41	1,41	1,37	1,42	1,42	1,42
ps3 (g/cm³)	1,48	1,43	1,45	1,45	1,42	1,46	1,46	1,46
ps4 (g/cm³)	1,50	1,46	1,48	1,48	1,46	1,49	1,49	1,49
ps5 (g/cm³)	1,52	1,49	1,51	1,51	1,48	1,51	1,51	1,51
ps6 (g/cm³)	1,54	1,51	1,53	1,53	1,51	1,53	1,53	1,53
ps7 (g/cm³)	1,56	1,54	1,54	1,55	1,53	1,55	1,55	1,56
MEAU (g/cm³)	1,86	1,83	1,84	1,85	1,82	1,84	1,85	1,86
MEAS (g/cm³)	1,56	1,54	1,54	1,55	1,53	1,55	1,55	1,56
Balança hidrostática	Massa saturada (g)	215,21	...	...	214,95	...	...	216,60
	Massa seca (g)	169,78	...	...	169,76	...	...	169,88
	Massa imersa (g)	105,91	...	...	105,29	...	...	106,27
	Volume (cm³)	109,30	...	...	109,66	...	...	110,33
	MEAS² (g/cm³)	1,55	...	...	1,55	...	...	1,54
Absorção	Massa úmida (g)	203,70	...	...	204,39	...	...	206,56
	Massa seca (g)	169,78	...	...	169,76	...	...	169,88
	Massa água (g)	33,92	...	...	34,63	...	...	36,68
	Absorção água (%)	19,98	...	...	20,40	...	...	21,59

(continuação)

Dados		Corpo de prova							
		17	18	19	20	21	22	23	24
La		12,12	12,12	12,12	12,12	12,12	12,12	12,12	12,12
Ka		37,88	37,88	37,88	37,88	37,88	37,88	37,88	37,88
Massa inicial de solo (g)		200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00
Umidade adicionada (%)		19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00
leitura golpe 1 (mm)		26,77	28,75	25,42	24,45	25,76	25,59	27,39	24,93
leitura golpe 2 (mm)		23,33	24,20	22,66	21,99	23,01	22,83	23,65	22,39
leitura golpe 3 (mm)		21,65	22,33	21,07	20,56	21,31	21,37	22,02	21,06
leitura golpe 4 (mm)		20,41	20,98	19,94	19,40	20,20	20,25	20,76	20,03
leitura golpe 5 (mm)		19,43	19,88	19,02	18,55	19,23	19,39	19,82	19,33
leitura golpe 6 (mm)		18,76	19,10	18,27	17,91	18,42	18,67	19,17	18,72
leitura golpe 7 (mm)		18,08	18,45	17,63	17,41	17,81	18,16	18,57	18,12
Hc1 (mm) calculado		64,65	66,63	63,30	62,33	63,64	63,47	65,27	62,81
Hc2 (mm) calculado		61,21	62,08	60,54	59,87	60,89	60,71	61,53	60,27
Hc3 (mm) calculado		59,53	60,21	58,95	58,44	59,19	59,25	59,90	58,94
Hc4 (mm) calculado		58,29	58,86	57,82	57,28	58,08	58,13	58,64	57,91
Hc5 (mm) calculado		57,31	57,76	56,90	56,43	57,11	57,27	57,70	57,21
Hc6 (mm) calculado		56,64	56,98	56,15	55,79	56,30	56,55	57,05	56,60
Hc7 (mm) calculado		55,96	56,33	55,51	55,29	55,69	56,04	56,45	56,00
Volume CP (cm³)		109,88	110,60	108,99	108,56	109,35	110,03	110,84	109,96
Massa solo + molde (g)		1059,91	1068,56	1061,14	1055,91	1057,39	1059,42	1068,92	1060,99
Tara molde (g)		858,92	868,07	860,83	855,17	857,42	858,92	868,07	860,83
Massa final de solo(g)		200,99	200,49	200,31	200,74	199,97	200,50	200,85	200,16
ps1 (g/cm³)		1,32	1,28	1,35	1,37	1,34	1,35	1,31	1,36
ps2 (g/cm³)		1,40	1,38	1,41	1,43	1,41	1,41	1,39	1,42
ps3 (g/cm³)		1,44	1,42	1,45	1,46	1,45	1,44	1,43	1,45
ps4 (g/cm³)		1,47	1,45	1,48	1,49	1,47	1,47	1,46	1,48
ps5 (g/cm³)		1,49	1,48	1,50	1,52	1,50	1,49	1,48	1,50
ps6 (g/cm³)		1,51	1,50	1,52	1,53	1,52	1,51	1,50	1,51
ps7 (g/cm³)		1,54	1,52	1,54	1,55	1,54	1,53	1,52	1,53
MEAU (g/cm³)		1,83	1,81	1,84	1,85	1,83	1,82	1,81	1,82
MEAS (g/cm³)		1,54	1,52	1,54	1,55	1,54	1,53	1,52	1,53
ps média CP 1 a 24 (g/cm³)		1,55							
Maior ps CP 1 a 24 (g/cm³)		1,58							
Menor ps CP1 a 24 (g/cm³)		1,52							
Variação ps CP1 a 24 (g/cm³)		0,06							
Balança hidrostática	Massa saturada (g)	...	219,79	...	...	218,63	...	...	218,77
	Massa seca (g)	...	170,37	...	...	170,43	...	...	170,31
	Massa imersa (g)	...	108,01	...	...	107,67	...	...	107,68
	Volume (cm³)	...	111,78	...	...	110,96	...	...	111,09
	MEAS² (g/cm³)	...	1,52	...	...	1,54	...	...	1,53
psbh média (g/cm³)		1,54							
Maior psbh (g/cm³)		1,55							
Menor psbh (g/cm³)		1,52							
Variação psbh (g/cm³)		0,03							
Absorção	Massa úmida (g)	...	210,31	...	...	209,29	...	...	210,81
	Massa seca (g)	...	170,37	...	...	170,43	...	...	170,31
	Massa água (g)	...	39,94	...	...	38,86	...	...	40,50
	Absorção água (%)	...	23,44	...	...	22,80	...	...	23,78
Absorção média (%)		21,69							
Maior absorção (%)		23,78							

(conclusão)

Fonte: Autor.

Tabela C6 - Mini-MCV; balança hidrostática, absorção, dos corpos de prova de solo + ART + cimento moldados com a mistura M4 com adição de 4% de Sika 1 - 7 golpes - água 19,00 %

Dados	Corpo de prova							
	25	26	27	28	29	30	31	32
La	12,12	12,12	12,12	12,12	12,12	12,12	12,12	12,12
Ka	37,88	37,88	37,88	37,88	37,88	37,88	37,88	37,88
Massa inicial de solo (g)	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00
Umidade adicionada (%)	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00
leitura golpe 1 (mm)	22,34	22,82	23,87	23,45	24,24	23,86	24,45	25,01
leitura golpe 2 (mm)	20,23	19,79	20,24	20,22	20,82	20,54	21,08	20,90
leitura golpe 3 (mm)	18,52	18,32	18,57	18,57	19,22	18,92	19,39	19,32
leitura golpe 4 (mm)	17,36	17,39	17,49	17,41	17,79	17,69	18,24	18,10
leitura golpe 5 (mm)	16,45	16,47	16,60	16,61	16,89	16,86	17,29	17,14
leitura golpe 6 (mm)	15,74	15,86	15,95	15,88	16,02	16,12	16,46	16,47
leitura golpe 7 (mm)	15,08	15,33	15,37	15,22	15,45	15,55	15,98	15,90
Hc1 (mm) calculado	60,22	60,70	61,75	61,33	62,12	61,74	62,33	62,89
Hc2 (mm) calculado	58,11	57,67	58,12	58,10	58,70	58,42	58,96	58,78
Hc3 (mm) calculado	56,40	56,20	56,45	56,45	57,10	56,80	57,27	57,20
Hc4 (mm) calculado	55,24	55,27	55,37	55,29	55,67	55,57	56,12	55,98
Hc5 (mm) calculado	54,33	54,35	54,48	54,49	54,77	54,74	55,17	55,02
Hc6 (mm) calculado	53,62	53,74	53,83	53,76	53,90	54,00	54,34	54,35
Hc7 (mm) calculado	52,96	53,21	53,25	53,10	53,33	53,43	53,86	53,78
Volume CP (cm³)	103,99	104,48	104,56	104,26	104,71	104,91	105,75	105,60
Massa solo + molde (g)	1057,49	1059,50	1067,29	1061,34	1055,82	1057,79	1059,61	1067,32
Tara molde (g)	857,42	858,92	868,07	860,83	855,17	857,42	858,92	868,07
Massa final de solo(g)	200,07	200,58	199,22	200,51	200,65	200,37	200,69	199,25
ps1 (g/cm³)	1,42	1,41	1,39	1,40	1,38	1,39	1,37	1,36
ps2 (g/cm³)	1,47	1,48	1,47	1,47	1,46	1,47	1,45	1,46
ps3 (g/cm³)	1,52	1,52	1,52	1,52	1,50	1,51	1,49	1,50
ps4 (g/cm³)	1,55	1,55	1,55	1,55	1,54	1,54	1,53	1,53
ps5 (g/cm³)	1,58	1,57	1,57	1,57	1,56	1,56	1,55	1,56
ps6 (g/cm³)	1,60	1,59	1,59	1,59	1,59	1,59	1,58	1,57
ps7 (g/cm³)	1,62	1,61	1,60	1,62	1,61	1,60	1,59	1,59
MEAU (g/cm³)	1,92	1,92	1,91	1,92	1,92	1,91	1,90	1,89
MEAS (g/cm³)	1,62	1,61	1,60	1,62	1,61	1,60	1,59	1,59
Balança hidrostática	Massa saturada (g)	...	...	207,81	...	...	209,65	...
	Massa seca (g)	...	...	169,38	...	...	169,85	...
	Massa imersa (g)	...	...	102,14	...	...	103,05	...
	Volume (cm³)	...	...	105,67	...	...	106,60	...
	MEAS² (g/cm³)	...	...	1,60	...	...	1,59	...
Absorção	Massa úmida (g)	...	...	200,75	...	...	201,70	...
	Massa seca (g)	...	...	169,38	...	...	169,85	...
	Massa água (g)	...	...	31,37	...	...	31,85	...
	Absorção água (%)	...	...	18,52	...	...	18,75	...

(continua)

Dados	Corpo de prova							
	33	34	35	36	37	38	39	40
La	12,12	12,12	12,12	12,12	12,12	12,12	12,12	12,12
Ka	37,88	37,88	37,88	37,88	37,88	37,88	37,88	37,88
Massa inicial de solo (g)	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00
Umidade adicionada (%)	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00
leitura golpe 1 (mm)	23,10	23,20	23,45	23,92	23,63	22,98	24,23	24,78
leitura golpe 2 (mm)	19,73	20,02	20,20	20,31	20,28	19,73	20,95	20,94
leitura golpe 3 (mm)	18,12	18,41	18,59	18,69	18,63	18,20	19,35	18,05
leitura golpe 4 (mm)	17,04	17,22	17,54	17,54	17,49	17,11	18,26	17,06
leitura golpe 5 (mm)	16,08	16,24	16,70	16,69	16,58	16,28	17,21	16,30
leitura golpe 6 (mm)	15,31	15,50	15,84	15,95	15,82	15,64	16,50	15,52
leitura golpe 7 (mm)	14,70	14,88	15,29	15,29	15,19	15,10	15,85	15,07
Hc1 (mm) calculado	60,98	61,08	61,33	61,80	61,51	60,86	62,11	62,66
Hc2 (mm) calculado	57,61	57,90	58,08	58,19	58,16	57,61	58,83	58,82
Hc3 (mm) calculado	56,00	56,29	56,47	56,57	56,51	56,08	57,23	55,93
Hc4 (mm) calculado	54,92	55,10	55,42	55,42	55,37	54,99	56,14	54,94
Hc5 (mm) calculado	53,96	54,12	54,58	54,57	54,46	54,16	55,09	54,18
Hc6 (mm) calculado	53,19	53,38	53,72	53,83	53,70	53,52	54,38	53,40
Hc7 (mm) calculado	52,58	52,76	53,17	53,17	53,07	52,98	53,73	52,95
Volume CP (cm³)	103,24	103,59	104,40	104,40	104,20	104,03	105,50	103,97
Massa solo + molde (g)	1057,54	1059,19	1066,49	1061,47	1055,53	1057,14	1058,98	1066,99
Tara molde (g)	857,42	858,92	868,07	860,83	855,17	857,42	858,92	868,07
Massa final de solo(g)	200,12	200,27	198,42	200,64	200,36	199,72	200,06	198,92
ps1 (g/cm³)	1,40	1,40	1,40	1,39	1,39	1,41	1,38	1,37
ps2 (g/cm³)	1,49	1,48	1,47	1,47	1,47	1,49	1,45	1,46
ps3 (g/cm³)	1,53	1,52	1,52	1,51	1,51	1,53	1,50	1,53
ps4 (g/cm³)	1,56	1,55	1,54	1,54	1,55	1,56	1,52	1,56
ps5 (g/cm³)	1,59	1,58	1,57	1,57	1,57	1,58	1,55	1,58
ps6 (g/cm³)	1,61	1,60	1,59	1,59	1,59	1,60	1,57	1,60
ps7 (g/cm³)	1,63	1,62	1,60	1,62	1,62	1,61	1,59	1,61
MEAU (g/cm³)	1,94	1,93	1,90	1,92	1,92	1,92	1,90	1,91
MEAS (g/cm³)	1,63	1,62	1,60	1,62	1,62	1,61	1,59	1,61
Balança hidrostática	Massa saturada (g)	208,23	...	...	208,76	...	...	210,08
	Massa seca (g)	169,22	...	...	169,47	...	...	169,42
	Massa imersa (g)	103,02	...	...	102,94	...	...	103,17
	Volume (cm³)	105,21	...	...	105,82	...	...	106,91
	MEAS² (g/cm³)	1,61	...	...	1,60	...	...	1,58
Absorção	Massa úmida (g)	201,07	...	...	201,83	...	...	202,56
	Massa seca (g)	169,22	...	...	169,47	...	...	169,42
	Massa água (g)	31,85	...	...	32,36	...	...	33,14
	Absorção água (%)	18,82	...	...	19,09	...	...	19,56

(continuação)

Dados	Corpo de prova							
	41	42	43	44	45	46	47	48
La	12,12	12,12	12,12	12,12	12,12	12,12	12,12	12,12
Ka	37,88	37,88	37,88	37,88	37,88	37,88	37,88	37,88
Massa inicial de solo (g)	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00
Umidade adicionada (%)	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00
leitura golpe 1 (mm)	22,63	23,08	22,72	23,13	23,15	22,41	23,64	23,25
leitura golpe 2 (mm)	19,26	19,57	19,63	19,70	19,77	19,23	19,94	19,83
leitura golpe 3 (mm)	17,60	18,10	17,93	18,10	18,21	17,71	18,36	18,17
leitura golpe 4 (mm)	16,58	16,93	16,79	16,95	17,06	16,65	17,24	17,02
leitura golpe 5 (mm)	15,58	16,07	15,98	15,90	16,19	15,75	16,48	16,08
leitura golpe 6 (mm)	14,73	15,32	15,18	15,19	15,42	15,09	15,67	15,29
leitura golpe 7 (mm)	14,22	14,80	14,66	14,59	14,81	14,49	15,05	14,67
Hc1 (mm) calculado	60,51	60,96	60,60	61,01	61,03	60,29	61,52	61,13
Hc2 (mm) calculado	57,14	57,45	57,51	57,58	57,65	57,11	57,82	57,71
Hc3 (mm) calculado	55,48	55,98	55,81	55,98	56,09	55,59	56,24	56,05
Hc4 (mm) calculado	54,46	54,81	54,67	54,83	54,94	54,53	55,12	54,90
Hc5 (mm) calculado	53,46	53,95	53,86	53,78	54,07	53,63	54,36	53,96
Hc6 (mm) calculado	52,61	53,20	53,06	53,07	53,30	52,97	53,55	53,17
Hc7 (mm) calculado	52,10	52,68	52,54	52,47	52,69	52,37	52,93	52,55
Volume CP (cm³)	102,30	103,44	103,16	103,02	103,46	102,83	103,93	103,18
Massa solo + molde (g)	1057,56	1059,25	1066,52	1060,97	1055,50	1057,47	1059,38	1066,30
Tara molde (g)	857,42	858,92	868,07	860,83	855,17	857,42	858,92	868,07
Massa final de solo(g)	200,14	200,33	198,45	200,14	200,33	200,05	200,46	198,23
ps1 (g/cm³)	1,41	1,40	1,41	1,40	1,40	1,42	1,39	1,40
ps2 (g/cm³)	1,50	1,49	1,49	1,49	1,48	1,50	1,48	1,48
ps3 (g/cm³)	1,54	1,53	1,53	1,53	1,53	1,54	1,52	1,53
ps4 (g/cm³)	1,57	1,56	1,57	1,56	1,56	1,57	1,55	1,56
ps5 (g/cm³)	1,60	1,59	1,59	1,59	1,58	1,60	1,57	1,59
ps6 (g/cm³)	1,63	1,61	1,61	1,61	1,61	1,62	1,60	1,61
ps7 (g/cm³)	1,64	1,63	1,62	1,63	1,63	1,63	1,62	1,61
MEAU (g/cm³)	1,96	1,94	1,92	1,94	1,94	1,95	1,93	1,92
MEAS (g/cm³)	1,64	1,63	1,62	1,63	1,63	1,63	1,62	1,61
ps média CP 1 a 24 (g/cm³)	1,61							
Maior ps CP 1 a 24 (g/cm³)	1,63							
Menor ps CP1 a 24 (g/cm³)	1,59							
Variação ps CP1 a 24 (g/cm³)	0,04							
ps média CP 1 a 24 (g/cm³) – 4 golpes	1,55							
Balança hidrostática	Massa saturada (g)	...	208,61	...	...	208,2	...	208,18
	Massa seca (g)	...	169,19	...	...	169,12	...	168,98
	Massa imersa (g)	...	103,83	...	...	103,1	...	103,12
	Volume (cm³)	...	104,78	...	...	105,10	...	105,06
	MEAS² (g/cm³)	...	1,61	...	...	1,61	...	1,61
psbh média (g/cm³)	1,60							
Maior psbh (g/cm³)	1,61							
Menor psbh (g/cm³)	1,58							
Variação psbh (g/cm³)	0,03							
Absorção	Massa úmida (g)	...	201,25	...	...	200,55	...	202,46
	Massa seca (g)	...	169,19	...	...	169,12	...	168,98
	Massa água (g)	...	32,06	...	...	31,43	...	33,48
	Absorção água (%)	...	18,95	...	...	18,58	...	19,81
Absorção média (%)	19,01							
Maior absorção (%)	19,81							

(conclusão)

Fonte: Autor.

Tabela C7 - Mini-MCV; balança hidrostática, absorção, dos corpos de prova de solo + ART + cimento moldados com a mistura M4 com adição de Ecolopavi - 7 golpes - água 19,00 %

Dados	Corpo de prova							
	1	2	3	4	5	6	7	8
La	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00
Ka	38,00	38,00	38,00	38,00	38,00	38,00	38,00	38,00
Massa inicial de solo (g)	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00
Umidade adicionada (%)	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00
leitura golpe 1 (mm)	24,63	25,12	24,32	23,77	24,41	26,12	25,53	25,03
leitura golpe 2 (mm)	20,85	21,43	20,72	20,65	20,98	22,51	21,95	21,60
leitura golpe 3 (mm)	19,21	19,76	19,10	19,12	19,24	20,66	20,31	19,93
leitura golpe 4 (mm)	18,06	18,71	17,92	17,88	18,12	19,33	19,02	18,61
leitura golpe 5 (mm)	17,25	17,81	17,08	17,01	17,30	18,37	18,05	17,59
leitura golpe 6 (mm)	16,59	17,13	16,29	16,28	16,70	17,57	17,34	16,82
leitura golpe 7 (mm)	16,08	16,45	15,74	15,71	16,03	16,84	16,57	16,15
Hc1 (mm) calculado	62,63	63,12	62,32	61,77	62,41	64,12	63,53	63,03
Hc2 (mm) calculado	58,85	59,43	58,72	58,65	58,98	60,51	59,95	59,60
Hc3 (mm) calculado	57,21	57,76	57,10	57,12	57,24	58,66	58,31	57,93
Hc4 (mm) calculado	56,06	56,71	55,92	55,88	56,12	57,33	57,02	56,61
Hc5 (mm) calculado	55,25	55,81	55,08	55,01	55,30	56,37	56,05	55,59
Hc6 (mm) calculado	54,59	55,13	54,29	54,28	54,70	55,57	55,34	54,82
Hc7 (mm) calculado	54,08	54,45	53,74	53,71	54,03	54,84	54,57	54,15
Volume CP (cm³)	106,19	106,91	105,52	105,46	106,09	107,68	107,15	106,32
Massa solo + molde (g)	1058,19	1061,76	1064,60	1055,30	1057,30	1059,77	1061,07	1066,07
Tara molde (g)	858,92	860,83	868,07	855,17	857,42	858,92	860,83	868,07
Massa final de solo(g)	199,27	200,93	196,53	200,13	199,88	200,85	200,24	198,00
ps1 (g/cm³)	1,37	1,36	1,37	1,39	1,37	1,33	1,35	1,36
ps2 (g/cm³)	1,45	1,44	1,46	1,46	1,45	1,41	1,43	1,44
ps3 (g/cm³)	1,50	1,48	1,50	1,50	1,50	1,46	1,47	1,48
ps4 (g/cm³)	1,53	1,51	1,53	1,53	1,53	1,49	1,50	1,51
ps5 (g/cm³)	1,55	1,53	1,55	1,56	1,55	1,52	1,53	1,54
ps6 (g/cm³)	1,57	1,55	1,58	1,58	1,56	1,54	1,55	1,56
ps7 (g/cm³)	1,58	1,58	1,57	1,59	1,58	1,57	1,57	1,56
MEAU (g/cm³)	1,88	1,88	1,86	1,90	1,88	1,87	1,87	1,86
MEAS (g/cm³)	1,58	1,58	1,57	1,59	1,58	1,57	1,57	1,56
Balança hidrostática	Massa saturada (g)	...	...	208,86	...	...	210,51	...
	Massa seca (g)	...	...	167,83	...	...	170,14	...
	Massa imersa (g)	...	...	101,56	...	...	101,35	...
	Volume (cm³)	...	...	107,30	...	...	109,16	...
	MEAS² (g/cm³)	...	...	1,56	...	...	1,56	...
Absorção	Massa úmida (g)	...	...	200,25	...	...	202,01	...
	Massa seca (g)	...	...	167,83	...	...	170,14	...
	Massa água (g)	...	...	32,42	...	...	31,87	...
	Absorção água (%)	...	...	19,32	...	...	18,73	...

(continua)

Dados	Corpo de prova							
	9	10	11	12	13	14	15	16
La	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00
Ka	38,00	38,00	38,00	38,00	38,00	38,00	38,00	38,00
Massa inicial de solo (g)	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00
Umidade adicionada (%)	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00
leitura golpe 1 (mm)	23,99	23,67	24,49	24,42	24,02	24,08	23,98	24,45
leitura golpe 2 (mm)	20,73	20,79	20,98	21,07	20,96	21,26	21,12	21,26
leitura golpe 3 (mm)	19,06	19,24	19,41	19,32	19,45	19,72	19,52	19,66
leitura golpe 4 (mm)	17,94	18,04	18,13	18,12	18,38	18,49	18,41	18,44
leitura golpe 5 (mm)	16,95	17,18	17,19	17,23	17,55	17,55	17,50	17,47
leitura golpe 6 (mm)	16,23	16,45	16,55	16,47	16,73	16,82	16,69	16,64
leitura golpe 7 (mm)	15,68	15,89	16,05	15,85	16,12	16,26	16,08	16,14
Hc1 (mm) calculado	61,99	61,67	62,49	62,42	62,02	62,08	61,98	62,45
Hc2 (mm) calculado	58,73	58,79	58,98	59,07	58,96	59,26	59,12	59,26
Hc3 (mm) calculado	57,06	57,24	57,41	57,32	57,45	57,72	57,52	57,66
Hc4 (mm) calculado	55,94	56,04	56,13	56,12	56,38	56,49	56,41	56,44
Hc5 (mm) calculado	54,95	55,18	55,19	55,23	55,55	55,55	55,50	55,47
Hc6 (mm) calculado	54,23	54,45	54,55	54,47	54,73	54,82	54,69	54,64
Hc7 (mm) calculado	53,68	53,89	54,05	53,85	54,12	54,26	54,08	54,14
Volume CP (cm³)	105,40	105,81	106,13	105,73	106,26	106,54	106,19	106,30
Massa solo + molde (g)	1058,76	1060,76	1066,14	1057,14	1055,86	1059,15	1061,47	1066,60
Tara molde (g)	858,92	860,83	868,07	857,42	855,17	858,92	860,83	868,07
Massa final de solo(g)	199,84	199,93	198,07	199,72	200,69	200,23	200,64	198,53
ps1 (g/cm³)	1,38	1,39	1,37	1,37	1,38	1,38	1,38	1,37
ps2 (g/cm³)	1,46	1,46	1,45	1,45	1,45	1,44	1,45	1,44
ps3 (g/cm³)	1,50	1,50	1,49	1,49	1,49	1,48	1,49	1,48
ps4 (g/cm³)	1,53	1,53	1,52	1,53	1,52	1,52	1,52	1,52
ps5 (g/cm³)	1,56	1,55	1,55	1,55	1,54	1,54	1,54	1,54
ps6 (g/cm³)	1,58	1,57	1,57	1,57	1,56	1,56	1,57	1,57
ps7 (g/cm³)	1,59	1,59	1,57	1,59	1,59	1,58	1,59	1,57
MEAU (g/cm³)	1,90	1,89	1,87	1,89	1,89	1,88	1,89	1,87
MEAS (g/cm³)	1,59	1,59	1,57	1,59	1,59	1,58	1,59	1,57
Balança hidrostática	Massa saturada (g)	210,56	...	...	211,28	...	...	211,43
	Massa seca (g)	168,91	...	...	169,11	...	...	169,47
	Massa imersa (g)	103,88	...	...	103,72	...	...	103,26
	Volume (cm³)	106,68	...	...	107,56	...	...	108,17
	MEAS² (g/cm³)	1,58	...	...	1,57	...	...	1,57
Absorção	Massa úmida (g)	200,78	...	...	201,93	...	...	201,86
	Massa seca (g)	168,91	...	...	169,11	...	...	169,47
	Massa água (g)	31,87	...	...	32,82	...	...	32,39
	Absorção água (%)	18,87	...	...	19,41	...	...	19,11

(continuação)

Dados		Corpo de prova							
		17	18	19	20	21	22	23	24
La		12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00
Ka		38,00	38,00	38,00	38,00	38,00	38,00	38,00	38,00
Massa inicial de solo (g)		200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00
Umidade adicionada (%)		19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00
leitura golpe 1 (mm)		21,87	22,12	22,68	22,19	23,07	23,68	25,03	24,69
leitura golpe 2 (mm)		19,31	19,51	20,08	19,73	20,20	20,59	21,61	21,13
leitura golpe 3 (mm)		17,76	18,00	18,47	18,34	18,71	19,12	19,80	19,41
leitura golpe 4 (mm)		16,75	16,95	17,24	17,35	17,52	18,13	18,63	18,10
leitura golpe 5 (mm)		15,93	16,15	16,39	16,59	16,62	17,34	17,66	17,21
leitura golpe 6 (mm)		15,24	15,49	15,69	15,81	15,82	16,63	16,94	16,36
leitura golpe 7 (mm)		14,70	14,92	15,19	15,15	15,28	16,01	16,24	15,69
Hc1 (mm) calculado		59,87	60,12	60,68	60,19	61,07	61,68	63,03	62,69
Hc2 (mm) calculado		57,31	57,51	58,08	57,73	58,20	58,59	59,61	59,13
Hc3 (mm) calculado		55,76	56,00	56,47	56,34	56,71	57,12	57,80	57,41
Hc4 (mm) calculado		54,75	54,95	55,24	55,35	55,52	56,13	56,63	56,10
Hc5 (mm) calculado		53,93	54,15	54,39	54,59	54,62	55,34	55,66	55,21
Hc6 (mm) calculado		53,24	53,49	53,69	53,81	53,82	54,63	54,94	54,36
Hc7 (mm) calculado		52,70	52,92	53,19	53,15	53,28	54,01	54,24	53,69
Volume CP (cm³)		103,48	103,91	104,44	104,36	104,62	106,05	106,50	105,42
Massa solo + molde (g)		1058,97	1061,10	1066,37	1055,52	1056,41	1059,45	1061,26	1066,27
Tara molde (g)		858,92	860,83	868,07	855,17	857,42	858,92	860,83	868,07
Massa final de solo(g)		200,05	200,27	198,30	200,35	198,99	200,53	200,43	198,20
ps1 (g/cm³)		1,43	1,42	1,41	1,42	1,40	1,39	1,36	1,37
ps2 (g/cm³)		1,49	1,49	1,47	1,48	1,47	1,46	1,44	1,45
ps3 (g/cm³)		1,54	1,53	1,52	1,52	1,51	1,50	1,48	1,49
ps4 (g/cm³)		1,56	1,56	1,55	1,55	1,54	1,52	1,51	1,53
ps5 (g/cm³)		1,59	1,58	1,57	1,57	1,57	1,55	1,54	1,55
ps6 (g/cm³)		1,61	1,60	1,59	1,59	1,59	1,57	1,56	1,57
ps7 (g/cm³)		1,62	1,62	1,60	1,61	1,60	1,59	1,58	1,58
MEAU (g/cm³)		1,93	1,93	1,90	1,92	1,90	1,89	1,88	1,88
MEAS (g/cm³)		1,62	1,62	1,60	1,61	1,60	1,59	1,58	1,58
ps média CP 1 a 24 (g/cm³)		1,59							
Maior ps CP 1 a 24 (g/cm³)		1,62							
Menor ps CP1 a 24 (g/cm³)		1,56							
Variação ps CP1 a 24 (g/cm³)		0,06							
Balança hidrostática	Massa saturada (g)	...	209,4	...	...	208,48	...	...	212,25
	Massa seca (g)	...	168,97	...	...	168,29	...	...	169,38
	Massa imersa (g)	...	104,07	...	...	102,07	...	...	104,36
	Volume (cm³)	...	105,33	...	...	106,41	...	...	107,89
	MEAS² (g/cm³)	...	1,60	...	...	1,58	...	...	1,57
psbh média (g/cm³)		1,58							
Maior psbh (g/cm³)		1,60							
Menor psbh (g/cm³)		1,56							
Variação psbh (g/cm³)		0,04							
Absorção	Massa úmida (g)	...	200,94	...	...	199,90	...	...	202,09
	Massa seca (g)	...	168,97	...	...	168,29	...	...	169,38
	Massa água (g)	...	31,97	...	...	31,61	...	...	32,71
	Absorção água (%)	...	18,92	...	...	18,78	...	...	19,31
Absorção média (%)		19,06							
Maior absorção (%)		19,41							

(conclusão)

Fonte: Autor.

Tabela C8 - Mini-MCV; balança hidrostática, absorção, dos corpos de prova de solo + ART + cimento moldados com a mistura M4 com adição de 5% de extrato de Aloe vera - 19,00 %

Dados	Corpo de prova							
	1	2	3	4	5	6	7	8
La	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
Ka	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00
Massa inicial de solo (g)	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00
Umidade adicionada (%)	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00
leitura golpe 1 (mm)	31,70	34,63	34,49	35,82	35,32	34,52	34,95	36,21
leitura golpe 2 (mm)	28,55	30,56	30,38	31,63	31,02	30,26	31,65	32,35
leitura golpe 3 (mm)	26,98	29,72	28,65	29,73	29,12	28,53	29,96	30,54
leitura golpe 4 (mm)	25,96	27,38	27,39	28,4	27,98	27,39	28,65	29,13
leitura golpe 5 (mm)	25,09	26,27	26,42	27,39	27,00	26,43	27,57	28,23
leitura golpe 6 (mm)	24,35	25,46	25,61	26,57	26,10	25,61	26,78	27,52
leitura golpe 7 (mm)	23,87	24,73	24,99	25,99	25,46	24,87	26,10	26,94
Hc1 (mm) calculado	61,70	64,63	64,49	65,82	65,32	64,52	64,95	66,21
Hc2 (mm) calculado	58,55	60,56	60,38	61,63	61,02	60,26	61,65	62,35
Hc3 (mm) calculado	56,98	59,72	58,65	59,73	59,12	58,53	59,96	60,54
Hc4 (mm) calculado	55,96	57,38	57,39	58,40	57,98	57,39	58,65	59,13
Hc5 (mm) calculado	55,09	56,27	56,42	57,39	57,00	56,43	57,57	58,23
Hc6 (mm) calculado	54,35	55,46	55,61	56,57	56,10	55,61	56,78	57,52
Hc7 (mm) calculado	53,87	54,73	54,99	55,99	55,46	54,87	56,10	56,94
Volume CP (cm³)	105,77	107,46	107,97	109,94	108,90	107,74	110,15	111,80
Massa solo + molde (g)	1038,08	1057,04	1049,57	1068,77	1077,02	1050,36	1060,36	1060,37
Tara molde (g)	838,11	856,95	849,58	868,72	876,90	850,23	860,01	860,01
Massa final de solo(g)	199,97	200,09	199,99	200,05	200,12	200,13	200,35	200,36
ps1 (g/cm³)	1,39	1,32	1,33	1,30	1,31	1,33	1,32	1,29
ps2 (g/cm³)	1,46	1,41	1,42	1,39	1,40	1,42	1,39	1,37
ps3 (g/cm³)	1,50	1,43	1,46	1,43	1,45	1,46	1,43	1,41
ps4 (g/cm³)	1,53	1,49	1,49	1,47	1,48	1,49	1,46	1,45
ps5 (g/cm³)	1,55	1,52	1,52	1,49	1,50	1,52	1,49	1,47
ps6 (g/cm³)	1,57	1,54	1,54	1,51	1,53	1,54	1,51	1,49
ps7 (g/cm³)	1,59	1,56	1,56	1,53	1,54	1,56	1,53	1,51
MEAU (g/cm³)	1,89	1,86	1,85	1,82	1,84	1,86	1,82	1,79
MEAS (g/cm³)	1,59	1,56	1,56	1,53	1,54	1,56	1,53	1,51
Balança hidrostática	Massa saturada (g)	...	...	215,44	...	...	214,74	...
	Massa seca (g)	...	...	169,88	...	...	169,20	...
	Massa imersa (g)	...	...	106,68	...	...	105,88	...
	Volume (cm³)	...	...	108,76	...	...	108,86	...
	MEAS² (g/cm³)	...	...	1,56	...	...	1,55	...
Absorção	Massa úmida (g)	...	...	204,07	...	...	204,10	...
	Massa seca (g)	...	...	169,88	...	...	169,20	...
	Massa água (g)	...	...	34,19	...	...	34,90	...
	Absorção água (%)	...	...	20,13	...	...	20,63	...

(continua)

Dados	Corpo de prova							
	9	10	11	12	13	14	15	16
La	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
Ka	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00
Massa inicial de solo (g)	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00
Umidade adicionada (%)	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00
leitura golpe 1 (mm)	36,03	34,98	34,89	35,94	33,69	34,51	35,59	35,74
leitura golpe 2 (mm)	31,21	30,45	31,14	31,78	30,55	30,52	31,59	31,41
leitura golpe 3 (mm)	29,28	28,78	29,27	30,02	28,81	28,65	29,65	29,52
leitura golpe 4 (mm)	27,79	27,26	28,71	28,5	27,47	27,39	28,26	28,1
leitura golpe 5 (mm)	26,68	26,31	26,86	27,32	26,61	26,44	27,14	27,01
leitura golpe 6 (mm)	25,95	25,33	26,05	26,42	25,90	25,69	26,32	26,12
leitura golpe 7 (mm)	25,19	24,75	25,37	25,67	25,19	24,93	25,73	25,37
Hc1 (mm) calculado	66,03	64,98	64,89	65,94	63,69	64,51	65,59	65,74
Hc2 (mm) calculado	61,21	60,45	61,14	61,78	60,55	60,52	61,59	61,41
Hc3 (mm) calculado	59,28	58,78	59,27	60,02	58,81	58,65	59,65	59,52
Hc4 (mm) calculado	57,79	57,26	58,71	58,50	57,47	57,39	58,26	58,10
Hc5 (mm) calculado	56,68	56,31	56,86	57,32	56,61	56,44	57,14	57,01
Hc6 (mm) calculado	55,95	55,33	56,05	56,42	55,90	55,69	56,32	56,12
Hc7 (mm) calculado	55,19	54,75	55,37	55,67	55,19	54,93	55,73	55,37
Volume CP (cm³)	108,37	107,50	108,72	109,31	108,37	107,86	109,43	108,72
Massa solo + molde (g)	1049,29	1049,37	1076,70	1068,99	1060,08	1038,37	1056,72	1050,34
Tara molde (g)	849,69	849,58	876,90	868,72	860,01	838,11	856,95	850,23
Massa final de solo(g)	199,60	199,79	199,80	200,27	200,07	200,26	199,77	200,11
ps1 (g/cm³)	1,30	1,32	1,32	1,30	1,34	1,33	1,31	1,30
ps2 (g/cm³)	1,40	1,42	1,40	1,39	1,41	1,41	1,39	1,39
ps3 (g/cm³)	1,44	1,46	1,44	1,43	1,46	1,46	1,43	1,44
ps4 (g/cm³)	1,48	1,49	1,46	1,46	1,49	1,49	1,47	1,47
ps5 (g/cm³)	1,51	1,52	1,51	1,49	1,51	1,52	1,50	1,50
ps6 (g/cm³)	1,53	1,55	1,53	1,52	1,53	1,54	1,52	1,53
ps7 (g/cm³)	1,55	1,56	1,54	1,54	1,55	1,56	1,53	1,55
MEAU (g/cm³)	1,84	1,86	1,84	1,83	1,85	1,86	1,83	1,84
MEAS (g/cm³)	1,55	1,56	1,54	1,54	1,55	1,56	1,53	1,55
Balança hidrostática	Massa saturada (g)	212,80	...	...	215,89	...	...	216,68
	Massa seca (g)	166,76	...	...	169,51	...	...	169,70
	Massa imersa (g)	104,67	...	...	106,59	...	...	106,8
	Volume (cm³)	108,13	...	...	109,30	...	...	109,88
	MEAS² (g/cm³)	1,54	...	...	1,55	...	...	1,54
Absorção	Massa úmida (g)	202,35	...	...	206,92	...	...	206,85
	Massa seca (g)	166,76	...	...	169,51	...	...	169,70
	Massa água (g)	35,59	...	...	37,41	...	...	37,15
	Absorção água (%)	21,34	...	...	22,07	...	...	21,89

(continuação)

Dados		Corpo de prova							
		17	18	19	20	21	22	23	24
La		20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
Ka		30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00
Massa inicial de solo (g)		200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00
Umidade adicionada (%)		19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00
leitura golpe 1 (mm)		32,24	34,10	35,39	34,52	36,12	32,93	35,54	32,22
leitura golpe 2 (mm)		28,52	31,50	31,88	30,58	31,18	29,56	31,44	29,87
leitura golpe 3 (mm)		26,94	28,47	29,02	28,74	29,30	27,92	29,12	28,29
leitura golpe 4 (mm)		25,76	27,02	27,56	27,26	27,77	26,67	27,97	26,96
leitura golpe 5 (mm)		25,08	26,01	26,64	26,13	26,82	25,72	26,95	25,96
leitura golpe 6 (mm)		24,15	25,22	25,70	25,29	26,09	24,85	26,00	25,27
leitura golpe 7 (mm)		23,40	24,44	25,04	24,72	25,57	24,10	25,40	24,75
Hc1 (mm) calculado		62,24	64,10	65,39	64,52	66,12	62,93	65,54	62,22
Hc2 (mm) calculado		58,52	61,50	61,88	60,58	61,18	59,56	61,44	59,87
Hc3 (mm) calculado		56,94	58,47	59,02	58,74	59,30	57,92	59,12	58,29
Hc4 (mm) calculado		55,76	57,02	57,56	57,26	57,77	56,67	57,97	56,96
Hc5 (mm) calculado		55,08	56,01	56,64	56,13	56,82	55,72	56,95	55,96
Hc6 (mm) calculado		54,15	55,22	55,70	55,29	56,09	54,85	56,00	55,27
Hc7 (mm) calculado		53,40	54,44	55,04	54,72	55,57	54,10	55,40	54,75
Volume CP (cm³)		104,85	106,89	108,07	107,44	109,11	106,23	108,78	107,50
Massa solo + molde (g)		1038,42	1056,88	1068,95	1049,57	1077,35	1050,03	1060,49	1049,50
Tara molde (g)		838,42	856,95	868,72	849,69	876,90	850,23	860,01	849,58
Massa final de solo(g)		200,00	199,93	200,23	199,88	200,45	199,80	200,48	199,92
ps1 (g/cm³)		1,38	1,34	1,31	1,33	1,29	1,36	1,31	1,38
ps2 (g/cm³)		1,46	1,39	1,38	1,41	1,40	1,44	1,39	1,43
ps3 (g/cm³)		1,50	1,46	1,45	1,46	1,44	1,48	1,45	1,47
ps4 (g/cm³)		1,54	1,50	1,49	1,49	1,48	1,51	1,48	1,50
ps5 (g/cm³)		1,55	1,53	1,51	1,52	1,51	1,54	1,50	1,53
ps6 (g/cm³)		1,58	1,55	1,54	1,55	1,53	1,56	1,53	1,55
ps7 (g/cm³)		1,60	1,57	1,56	1,56	1,54	1,58	1,55	1,56
MEAU (g/cm³)		1,91	1,87	1,85	1,86	1,84	1,88	1,84	1,86
MEAS (g/cm³)		1,60	1,57	1,56	1,56	1,54	1,58	1,55	1,56
ps média CP 1 a 24 (g/cm³)		1,55							
Maior ps CP 1 a 24 (g/cm³)		1,60							
Menor ps CP1 a 24 (g/cm³)		1,51							
Variação ps CP1 a 24 (g/cm³)		0,09							
Balança hidrostática	Massa saturada (g)	...	214,00	...	...	214,97	...	...	214,28
	Massa seca (g)	...	169,82	...	...	169,58	...	...	169,74
	Massa imersa (g)	...	106,83	...	...	106,16	...	...	106,15
	Volume (cm³)	...	107,17	...	...	108,81	...	...	108,13
	MEAS² (g/cm³)	...	1,58	...	...	1,56	...	...	1,57
psbh média (g/cm³)		1,56							
Maior psbh (g/cm³)		1,58							
Menor psbh (g/cm³)		1,54							
Variação psbh (g/cm³)		0,04							
Absorção	Massa úmida (g)	...	204,48	...	...	203,38	...	...	204,44
	Massa seca (g)	...	169,82	...	...	169,58	...	...	169,74
	Massa água (g)	...	34,66	...	...	33,80	...	...	34,70
	Absorção água (%)	...	20,41	...	...	19,93	...	...	20,44
Absorção média (%)		20,86							
Maior absorção (%)		22,07							

(conclusão)

Fonte: Autor.

Tabela C9 - Mini-MCV; balança hidrostática, absorção, dos corpos de prova de solo + ART + cimento moldados com a mistura M4 com adição de 8% de Sika 1 – 7 golpes água 19,00 %

Dados	Corpo de prova							
	1	2	3	4	5	6	7	8
La	20,30	20,30	20,30	20,30	20,30	20,30	20,30	20,30
Ka	29,70	29,70	29,70	29,70	29,70	29,70	29,70	29,70
Massa inicial de solo (g)	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00
Umidade adicionada (%)	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00
leitura golpe 1 (mm)	35,60	35,24	35,60	38,21	35,65	36,24	36,47	36,30
leitura golpe 2 (mm)	31,13	30,57	30,4	31,82	31,26	31,44	31,52	31,76
leitura golpe 3 (mm)	29,19	28,69	28,45	29,40	29,57	29,38	29,45	29,75
leitura golpe 4 (mm)	27,73	27,12	27,06	27,71	27,81	27,82	28,1	28,30
leitura golpe 5 (mm)	26,64	26,12	25,78	26,48	26,75	26,77	27,06	27,12
leitura golpe 6 (mm)	25,73	25,18	25,00	25,63	25,87	25,9	26,13	26,2
leitura golpe 7 (mm)	24,99	24,47	24,29	24,92	25,16	25,19	25,42	25,49
Hc1 (mm) calculado	65,30	64,94	65,30	67,91	65,35	65,94	66,17	66,00
Hc2 (mm) calculado	60,83	60,27	60,10	61,52	60,96	61,14	61,22	61,46
Hc3 (mm) calculado	58,89	58,39	58,15	59,10	59,27	59,08	59,15	59,45
Hc4 (mm) calculado	57,43	56,82	56,76	57,41	57,51	57,52	57,80	58,00
Hc5 (mm) calculado	56,34	55,82	55,48	56,18	56,45	56,47	56,76	56,82
Hc6 (mm) calculado	55,43	54,88	54,70	55,33	55,57	55,60	55,83	55,90
Hc7 (mm) calculado	54,69	54,17	53,99	54,62	54,86	54,89	55,12	55,19
Volume CP (cm³)	107,38	106,36	106,01	107,25	107,72	107,78	108,23	108,37
Massa solo + molde (g)	1069,29	1050,58	1038,93	1050,26	1056,68	1077,75	1060,46	1049,50
Tara molde (g)	869,13	850,23	838,11	849,69	856,95	877,52	860,01	849,58
Massa final de solo(g)	200,16	200,35	200,82	200,57	199,73	200,23	200,45	199,92
ps1 (g/cm³)	1,31	1,32	1,31	1,26	1,31	1,30	1,29	1,30
ps2 (g/cm³)	1,41	1,42	1,42	1,39	1,40	1,40	1,40	1,39
ps3 (g/cm³)	1,45	1,47	1,47	1,45	1,44	1,45	1,45	1,44
ps4 (g/cm³)	1,49	1,51	1,51	1,49	1,49	1,49	1,48	1,48
ps5 (g/cm³)	1,52	1,53	1,54	1,52	1,52	1,52	1,51	1,51
ps6 (g/cm³)	1,54	1,56	1,56	1,55	1,54	1,54	1,53	1,53
ps7 (g/cm³)	1,57	1,58	1,59	1,57	1,56	1,56	1,56	1,55
MEAU (g/cm³)	1,86	1,88	1,89	1,87	1,85	1,86	1,85	1,84
MEAS (g/cm³)	1,57	1,58	1,59	1,57	1,56	1,56	1,56	1,55
Balança hidrostática	Massa saturada (g)	...	...	218,07	...	...	220,12	...
	Massa seca (g)	...	...	168,82	...	...	169,17	...
	Massa imersa (g)	...	...	106,14	...	...	105,70	...
	Volume (cm³)	...	...	111,93	...	...	114,42	...
	MEAS² (g/cm³)	...	...	1,51	...	...	1,48	...
Absorção	Massa úmida (g)	...	...	207,86	...	...	208,08	...
	Massa seca (g)	...	...	168,82	...	...	169,17	...
	Massa água (g)	...	...	39,04	...	...	38,91	...
	Absorção água (%)	...	...	23,13	...	...	23,00	...

(continua)

Dados	Corpo de prova							
	9	10	11	12	13	14	15	16
La	20,30	20,30	20,30	20,30	20,30	20,30	20,30	20,30
Ka	29,70	29,70	29,70	29,70	29,70	29,70	29,70	29,70
Massa inicial de solo (g)	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00
Umidade adicionada (%)	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00
leitura golpe 1 (mm)	35,76	34,64	35,18	36,88	36,25	36,98	35,80	35,64
leitura golpe 2 (mm)	31,16	30,22	30,41	31,36	31,49	31,59	31,58	31,46
leitura golpe 3 (mm)	29,30	28,40	28,25	29,16	29,47	29,35	29,50	29,47
leitura golpe 4 (mm)	27,72	26,01	26,79	27,75	28,05	27,84	28,21	28,05
leitura golpe 5 (mm)	26,62	25,95	25,78	26,41	26,85	26,73	27,16	27,04
leitura golpe 6 (mm)	25,76	25,04	24,89	25,63	25,95	25,85	26,30	26,10
leitura golpe 7 (mm)	25,08	24,29	24,17	24,80	25,25	25,10	25,53	25,20
Hc1 (mm) calculado	65,46	64,34	64,88	66,58	65,95	66,68	65,50	65,34
Hc2 (mm) calculado	60,86	59,92	60,11	61,06	61,19	61,29	61,28	61,16
Hc3 (mm) calculado	59,00	58,10	57,95	58,86	59,17	59,05	59,20	59,17
Hc4 (mm) calculado	57,42	55,71	56,49	57,45	57,75	57,54	57,91	57,75
Hc5 (mm) calculado	56,32	55,65	55,48	56,11	56,55	56,43	56,86	56,74
Hc6 (mm) calculado	55,46	54,74	54,59	55,33	55,65	55,55	56,00	55,80
Hc7 (mm) calculado	54,78	53,99	53,87	54,50	54,95	54,80	55,23	54,90
Volume CP (cm³)	107,56	106,01	105,77	107,01	107,89	107,60	108,44	107,80
Massa solo + molde (g)	1069,56	1050,56	1038,79	1050,58	1057,03	1077,68	1060,16	1048,84
Tara molde (g)	869,13	850,23	838,11	849,69	856,95	877,52	860,01	849,58
Massa final de solo(g)	200,43	200,33	200,68	200,89	200,08	200,16	200,15	199,26
ps1 (g/cm³)	1,31	1,33	1,32	1,29	1,30	1,28	1,31	1,31
ps2 (g/cm³)	1,41	1,43	1,42	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40
ps3 (g/cm³)	1,45	1,47	1,48	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45
ps4 (g/cm³)	1,49	1,54	1,52	1,49	1,48	1,49	1,48	1,48
ps5 (g/cm³)	1,52	1,54	1,54	1,53	1,51	1,52	1,51	1,51
ps6 (g/cm³)	1,54	1,56	1,57	1,55	1,54	1,54	1,53	1,53
ps7 (g/cm³)	1,57	1,59	1,59	1,58	1,56	1,56	1,55	1,55
MEAU (g/cm³)	1,86	1,89	1,90	1,88	1,85	1,86	1,85	1,85
MEAS (g/cm³)	1,57	1,59	1,59	1,58	1,56	1,56	1,55	1,55
Balança hidrostática	Massa saturada (g)	212,59	...	...	213,58	...	...	218,93
	Massa seca (g)	168,96	...	...	169,65	...	...	169,71
	Massa imersa (g)	102,51	...	...	100,85	...	...	106,42
	Volume (cm³)	110,08	...	...	112,73	...	...	112,51
	MEAS² (g/cm³)	1,53	...	...	1,50	...	...	1,51
Absorção	Massa úmida (g)	204,49	...	...	205,68	...	...	208,68
	Massa seca (g)	168,96	...	...	169,65	...	...	169,71
	Massa água (g)	33,53	...	...	36,03	...	...	38,97
	Absorção água (%)	21,03	...	...	21,24	...	...	22,96

(continuação)

Dados	Corpo de prova							
	17	18	19	20	21	22	23	24
La	20,30	20,30	20,30	20,30	20,30	20,30	20,30	20,30
Ka	29,70	29,70	29,70	29,70	29,70	29,70	29,70	29,70
Massa inicial de solo (g)	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00
Umidade adicionada (%)	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00
leitura golpe 1 (mm)	35,47	34,01	35,34	35,62	36,00	36,84	35,45	37,60
leitura golpe 2 (mm)	30,13	29,25	30,73	31,11	31,50	31,62	30,99	31,60
leitura golpe 3 (mm)	28,18	27,26	28,31	28,95	29,46	29,25	29,14	29,63
leitura golpe 4 (mm)	26,76	25,98	26,8	27,41	27,83	27,82	27,47	28,33
leitura golpe 5 (mm)	25,89	24,84	25,94	26,43	26,78	26,79	26,35	27,35
leitura golpe 6 (mm)	25,03	24,04	25,00	25,57	25,89	26,05	25,61	26,53
leitura golpe 7 (mm)	24,45	23,53	24,21	24,85	25,17	25,31	25,16	25,80
Hc1 (mm) calculado	65,17	63,71	65,04	65,32	65,70	66,54	65,15	67,30
Hc2 (mm) calculado	59,83	58,95	60,43	60,81	61,20	61,32	60,69	61,30
Hc3 (mm) calculado	57,88	56,96	58,01	58,65	59,16	58,95	58,84	59,33
Hc4 (mm) calculado	56,46	55,68	56,50	57,11	57,53	57,52	57,17	58,03
Hc5 (mm) calculado	55,59	54,54	55,64	56,13	56,48	56,49	56,05	57,05
Hc6 (mm) calculado	54,73	53,74	54,70	55,27	55,59	55,75	55,31	56,23
Hc7 (mm) calculado	54,15	53,23	53,91	54,55	54,87	55,01	54,86	55,50
Volume CP (cm³)	106,32	104,52	105,85	107,11	107,74	108,01	107,72	108,97
Massa solo + molde (g)	1069,20	1050,43	1038,54	1049,41	1057,15	1078,13	1060,44	1049,41
Tara molde (g)	869,13	850,23	838,11	849,69	856,95	877,52	860,01	849,58
Massa final de solo(g)	200,07	200,20	200,43	199,72	200,20	200,61	200,43	199,83
ps1 (g/cm³)	1,31	1,34	1,32	1,31	1,30	1,29	1,31	1,27
ps2 (g/cm³)	1,43	1,45	1,42	1,41	1,40	1,40	1,41	1,40
ps3 (g/cm³)	1,48	1,50	1,48	1,46	1,45	1,45	1,45	1,44
ps4 (g/cm³)	1,52	1,54	1,51	1,50	1,49	1,49	1,50	1,48
ps5 (g/cm³)	1,54	1,57	1,54	1,52	1,52	1,52	1,53	1,50
ps6 (g/cm³)	1,56	1,59	1,56	1,55	1,54	1,54	1,55	1,52
ps7 (g/cm³)	1,58	1,61	1,59	1,57	1,56	1,56	1,56	1,54
MEAU (g/cm³)	1,88	1,92	1,89	1,86	1,86	1,86	1,86	1,83
MEAS (g/cm³)	1,58	1,61	1,59	1,57	1,56	1,56	1,56	1,54
ps média CP 1 a 24 (g/cm³)	1,57							
Maior ps CP 1 a 24 (g/cm³)	1,61							
Menor ps CP1 a 24 (g/cm³)	1,55							
Variação ps CP1 a 24 (g/cm³)	0,06							
Balança hidrostática	Massa saturada (g)	...	218,19	...	...	219,64	...	219,27
	Massa seca (g)	...	169,09	...	...	169,36	...	169,33
	Massa imersa (g)	...	106,42	...	...	106,3	...	105,7
	Volume (cm³)	...	111,77	...	...	113,34	...	113,57
	MEAS² (g/cm³)	...	1,51	...	...	1,49	...	1,49
psbh média (g/cm³)		1,50						
Maior psbh (g/cm³)		1,53						
Menor psbh (g/cm³)		1,48						
Variação psbh (g/cm³)		0,05						
Absorção	Massa úmida (g)	...	208,47	...	...	209,48	...	209,58
	Massa seca (g)	...	169,09	...	...	169,36	...	169,33
	Massa água (g)	...	39,38	...	...	40,12	...	40,25
	Absorção água (%)	...	23,29	...	...	23,69	...	23,77
Absorção média (%)		22,76						
Maior absorção (%)		23,77						

(conclusão)

Fonte: Autor.

APÊNDICE D

RESULTADOS DOS ENSAIOS DE COMPRESSÃO SIMPLES DOS CORPOS DE PROVA DAS MISTURAS SOLO CIMENTO AGREGADO

Neste apêndice apresenta-se as Tabelas relativas ao cálculo da resistência à compressão simples dos corpos de prova moldados com as misturas solo cimento agregado. A sequência das Tabelas segue a ordem dos procedimentos ao longo do texto.

Tabela D1 – Resistência à compressão aos 7 dias dos corpos de prova de 1 a 8 da mistura M2, h = 19 %

Características	Corpos de Prova Cilíndricos							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Diâmetro médio (mm)	50	50	50	50	50	50	50	50
Área seção transversal (mm²)	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50
Força máxima (N)	4.126,70	4.476,80	4.163,60	3.997,80	3.979,30	3.481,90	3.776,70	3.555,60
Resistência compressão simples (MPa)	2,10	2,28	2,12	2,04	2,03	1,77	1,92	1,81
Resistência média à compressão simples aos 7 dias (MPa)								2,01
Menor resistência à compressão simples aos 7 dias (MPa)								1,77

Fonte: Autor.

Tabela D2 - Resistência à compressão aos 7 dias de 5 corpos de prova da mistura M4, h = 19 %

Características	Corpos de Prova Cilíndricos				
	1	4	7	10	13
Diâmetro médio (mm)	50	50	50	50	50
Área seção transversal (mm²)	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50
Força máxima (N)	4.421,50	4.016,20	4.053,0	4.071,50	3.960,90
Resistência compressão simples (MPa)	2,25	2,05	2,06	2,07	2,02
Resistência média à compressão simples aos 7 dias (MPa)					2,09
Menor resistência à compressão simples aos 7 dias (MPa)					2,02

Fonte: Autor.

Tabela D3 - Resistência à compressão aos 7 dias de 8 corpos de prova da mistura M5, h = 19 %

Características	Corpos de Prova Cilíndricos							
	25	26	27	28	29	30	31	32
Diâmetro médio (mm)	50	50	50	50	50	50	50	50
Área seção transversal (mm²)	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50
Força máxima (N)	3.832,00	4.237,30	3.850,4	3.739,80	3.832,00	3.408,20	3.426,70	3.500,30
Resistência compressão simples (MPa)	1,95	2,16	1,96	1,90	1,95	1,74	1,75	1,78
Resistência média à compressão simples aos 7 dias (MPa)								1,90
Menor resistência à compressão simples aos 7 dias (MPa)								1,74

Fonte: Autor.

Tabela D4 - Resistência à compressão aos 7 dias de 8 corpos de prova da mistura M6, h = 19 %

Características	Corpos de Prova Cilíndricos							
	25	28	31	34	37	40	43	46
Diâmetro médio (mm)	50	50	50	50	50	50	50	50
Área seção transversal (mm²)	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50
Força máxima (N)	5.103,10	4.697,80	3.592,5	4.053,00	3.868,80	3.260,90	2.542,40	3.002,90
Resistência compressão simples (MPa)	2,60	2,39	1,83	2,06	1,97	1,66	1,29	1,53
Resistência média à compressão simples aos 7 dias (MPa)								1,92
Menor resistência à compressão simples aos 7 dias (MPa)								1,29

Fonte: Autor.

Tabela D5 - Resistência à compressão aos 28 dias de 8 corpos de prova da mistura M2, h = 19 %

Características	Corpos de Prova Cilíndricos							
	17	18	19	20	21	22	23	24
Diâmetro médio (mm)	50	50	50	50	50	50	50	50
Área seção transversal (mm²)	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50
Força máxima (N)	4.329,40	3.518,80	4.145,2	3.500,30	3.518,80	4.034,60	3.758,30	3.500,30
Resistência compressão simples (MPa)	2,20	1,79	2,11	1,78	1,79	2,05	1,91	1,78
Resistência média à compressão simples aos 28 dias (MPa)								1,93
Menor resistência à compressão simples aos 28 dias (MPa)								1,78

Fonte: Autor.

Tabela D6 - Resistência à de compressão aos 28 dias de 5 corpos de prova da mistura M4, h = 19 %

Características	Corpos de Prova Cilíndricos				
	2	5	8	11	14
Diâmetro médio (mm)	50	50	50	50	50
Área seção transversal (mm²)	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50
Força máxima (N)	6.632,20	5.692,70	5.969,0	5.361,10	4.790,00
Resistência compressão simples (MPa)	3,38	2,90	3,04	2,73	2,44
Resistência média à compressão simples aos 28 dias (MPa)					2,90
Menor resistência à compressão simples aos 28 dias (MPa)					2,44

Fonte: Autor.

Tabela D7 - Resistência à compressão aos 28 dias de 8 corpos de prova da mistura M5, h = 19 %

Características	Corpos de Prova Cilíndricos							
	41	42	43	44	45	46	47	48
Diâmetro médio (mm)	50	50	50	50	50	50	50	50
Área seção transversal (mm²)	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50
Força máxima (N)	3.647,70	3.242,40	3.666,2	2.929,20	3.297,70	3.574,00	3.353,00	4.126,70
Resistência compressão simples (MPa)	1,86	1,65	1,87	1,49	1,68	1,82	1,71	2,10
Resistência média à compressão simples aos 28 dias (MPa)								1,77
Menor resistência à compressão simples aos 28 dias (MPa)								1,49

Fonte: Autor.

Tabela D8 - Resistência à compressão aos 28 dias de 8 corpos de prova da mistura M6, h = 19 %

Características	Corpos de Prova Cilíndricos							
	26	29	32	35	38	41	44	47
Diâmetro médio (mm)	50	50	50	50	50	50	50	50
Área seção transversal (mm²)	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50
Força máxima (N)	7.461,30	6.061,10	6.319,1	5.066,30	4.863,60	3.832,00	3.500,30	3.868,80
Resistência compressão simples (MPa)	3,80	3,09	3,22	2,58	2,48	1,95	1,78	1,97
Resistência média à compressão simples aos 28 dias (MPa)								2,61
Menor resistência à compressão simples aos 28 dias (MPa)								1,78

Fonte: Autor.

Tabela D9 - Resistência à compressão aos 7 dias de 8 corpos de prova da mistura M4 com adição de 1% de Sika 1 – 7 golpes - água 19 %

Características	Corpos de Prova Cilíndricos							
	1	4	7	10	13	16	19	22
Diâmetro médio (mm)	50	50	50	50	50	50	50	50
Área seção transversal (mm²)	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50
Força máxima (N)	3.408,20	3.353,00	3.850,4	3.592,50	3.592,50	3.850,40	4.053,00	3.647,70
Resistência compressão simples (MPa)	1,74	1,71	1,96	1,83	1,83	1,96	2,06	1,86
Resistência média à compressão simples aos 7 dias (MPa)								1,87
Menor resistência à compressão simples aos 7 dias (MPa)								1,71

Fonte: Autor.

Tabela D10 - Resistência à aos 7 dias de 8 corpos de prova da mistura M4 com adição de 4% de Sika 1 – 7 golpes - água 19 %

Características	Corpos de Prova Cilíndricos							
	25	28	31	34	37	40	43	46
Diâmetro médio (mm)	50	50	50	50	50	50	50	50
Área seção transversal (mm²)	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50
Força máxima (N)	5.840,10	5.453,20	5.103,1	5.876,90	5.268,90	5.619,00	6.134,80	6.429,60
Resistência compressão simples (MPa)	2,97	2,78	2,60	2,99	2,68	2,86	3,12	3,27
Resistência média à compressão simples aos 7 dias (MPa)								2,91
Menor resistência à compressão simples aos 7 dias (MPa)								2,60

Fonte: Autor.

Tabela D11 - Ensaio de compressão aos 7 dias de 8 corpos de prova da mistura M4 com adição de Ecolopavi – 7 golpes - água 19 %

Características	Corpos de Prova Cilíndricos							
	1	4	7	10	13	16	19	22
Diâmetro médio (mm)	50	50	50	50	50	50	50	50
Área seção transversal (mm²)	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50
Força máxima (N)	3.979,30	3.832,00	3.463,5	4.384,60	3.905,70	4.089,90	4.513,60	3.887,20
Resistência compressão simples (MPa)	2,03	1,95	1,76	2,23	1,99	2,08	2,30	1,98
Resistência média à compressão simples aos 7 dias (MPa)								2,04
Menor resistência à compressão simples aos 7 dias (MPa)								1,76

Fonte: Autor.

Tabela D12 - Resistência à compressão aos 28 dias de 8 corpos de prova da mistura M4 com adição de 1% de Sika 1 – 7 golpes - água 19 %

Características	Corpos de Prova Cilíndricos							
	2	5	8	11	14	17	20	23
Diâmetro médio (mm)	50	50	50	50	50	50	50	50
Área seção transversal (mm²)	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50
Força máxima (N)	5.784,80	6.153,20	4.568,9	5.434,80	4.679,40	4.587,30	5.969,00	4.605,70
Resistência compressão simples (MPa)	2,95	3,13	2,33	2,77	2,38	2,34	3,04	2,35
Resistência média à compressão simples aos 28 dias (MPa)								2,66
Menor resistência à compressão simples aos 28 dias (MPa)								2,34

Fonte: Autor.

Tabela D13 - Resistência à compressão aos 28 dias de 8 corpos de prova da mistura M4 com adição de 4% de Sika 1 – 7 golpes - água 19 %

Características	Corpos de Prova Cilíndricos							
	26	29	32	35	38	41	44	47
Diâmetro médio (mm)	50	50	50	50	50	50	50	50
Área seção transversal (mm²)	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50
Força máxima (N)	7.995,50	7.092,80	6.337,5	7.074,40	7.571,80	8.511,40	8.161,30	8.014,00
Resistência compressão simples (MPa)	4,07	3,61	3,23	3,60	3,86	4,33	4,16	4,08
Resistência média à compressão simples aos 28 dias (MPa)								3,87
Menor resistência à compressão simples aos 28 dias (MPa)								3,23

Fonte: Autor.

Tabela D14 - Resistência à compressão aos 28 dias de 8 corpos de prova da mistura M4 com adição de Ecolopavi – 7 golpes - água 19 %

Características	Corpos de Prova Cilíndricos							
	2	5	8	11	14	17	20	23
Diâmetro médio (mm)	50	50	50	50	50	50	50	50
Área seção transversal (mm²)	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50
Força máxima (N)	4.513,60	4.034,60	4.476,8	4.845,20	4.384,60	6.024,30	5.526,90	4.661,00
Resistência compressão simples (MPa)	2,30	2,05	2,28	2,47	2,23	3,07	2,81	2,37
Resistência média à compressão simples aos 28 dias (MPa)								2,45
Menor resistência à compressão simples aos 28 dias (MPa)								2,05

Fonte: Autor.

Tabela D15 - Resistência à compressão aos 7 dias de 8 corpos de prova da mistura M4 com adição de 5% de extrato de Aloe vera – 7 golpes - água 19 %

Características	Corpos de Prova Cilíndricos							
	1	4	7	10	13	16	19	22
Diâmetro médio (mm)	50	50	50	50	50	50	50	50
Área seção transversal (mm²)	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50
Força máxima (N)	5.342,60	3.813,50	4.016,2	5.563,70	5.434,80	4.568,90	5.324,20	4.734,70
Resistência compressão simples (MPa)	2,72	1,94	2,05	2,83	2,77	2,33	2,71	2,41
Resistência média à compressão simples aos 7 dias (MPa)								2,47
Menor resistência à compressão simples aos 7 dias (MPa)								1,94

Fonte: Autor.

Tabela D16 - Resistência à compressão aos 7 dias de 8 corpos de prova da mistura M4 com adição de 8% de Sika 1 – 7 golpes - água 19 %

Características	Corpos de Prova Cilíndricos							
	1	4	7	10	13	16	19	22
Diâmetro médio (mm)	50	50	50	50	50	50	50	50
Área seção transversal (mm²)	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50
Força máxima (N)	3.887,70	3.947,60	3.652,2	4.255,70	3.832,20	3.776,70	3.629,30	2.818,70
Resistência compressão simples (MPa)	1,98	2,01	1,86	2,17	1,95	1,92	1,85	1,44
Resistência média à compressão simples aos 7 dias (MPa)								1,90
Menor resistência à compressão simples aos 7 dias (MPa)								1,85

Fonte: Autor.

Tabela D17 - Resistência à compressão aos 28 dias de 8 corpos de prova da mistura M4 com adição de 5% de extrato de Aloe vera – 7 golpes - água 19 %

Características	Corpos de Prova Cilíndricos							
	2	5	8	11	14	17	20	23
Diâmetro médio (mm)	50	50	50	50	50	50	50	50
Área seção transversal (mm²)	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50
Força máxima (N)	6.153,20	4.992,60	4.292,50	5.895,30	6.005,90	7.240,20	5.195,30	5.674,30
Resistência compressão simples (MPa)	3,13	2,54	2,19	3,00	3,06	3,69	2,65	2,89
Resistência média à compressão simples aos 28 dias (MPa)								2,89
Menor resistência à compressão simples aos 28 dias (MPa)								2,19

Fonte: Autor.

Tabela D18 - Resistência à compressão aos 28 dias de 8 corpos de prova da mistura M4 com adição de 8% de Sika 1 – 7 golpes - água 19 %

Características	Corpos de Prova Cilíndricos							
	2	5	8	11	14	17	20	23
Diâmetro médio (mm)	50	50	50	50	50	50	50	50
Área seção transversal (mm²)	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50	1.963,50
Força máxima (N)	5.287,40	4.329,40	4.889,10	5.545,30	5.582,10	4.826,80	4.329,40	3.647,70
Resistência compressão simples (MPa)	2,69	2,20	2,49	2,82	2,84	2,46	2,20	1,86
Resistência média à compressão simples aos 28 dias (MPa)								2,45
Menor resistência à compressão simples aos 28 dias (MPa)								1,86

Fonte: Autor.