

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS  
ESCOLA DE ENGENHARIA CIVIL

MAYZA LOUREIRO ARAÚJO RODRIGUES

**ADIÇÃO DE RESÍDUO DE ARGAMASSAS MISTAS NA  
PRODUÇÃO DE TIJOLOS MODULARES DE SOLO-CIMENTO**

**Goiânia**

2008

MAYZA LOUREIRO ARAÚJO RODRIGUES

**ADIÇÃO DE RESÍDUO DE ARGAMASSAS MISTAS NA  
PRODUÇÃO DE TIJOLOS MODULARES DE SOLO-CIMENTO**

Dissertação apresentado ao Programa de Pós-graduação *Strictu Sensu* em Engenharia do Meio Ambiente da Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás para a obtenção do título de Mestre em Engenharia do Meio Ambiente.

**Área de concentração:** Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental.

**Orientador:** Prof. Dr. Edgar Bacarji

**Co-orientador:** Prof. Dr. Regis de C. Ferreira

**Goiânia**

2008

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação - CIP

1.1.1.1

1.1.1.2 R614a Rodrigues, Mayza Loureiro Araújo.

1.1.1.3 Adição de resíduo de argamassas mistas na produção de tijolos modulares de solo-cimento / Mayza Loureiro Araújo Rodrigues. – 2008.

1.1.1.4 105 f. ; il ; 29 cm.

Bibliografia: f. 97-101.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Goiás,  
Escola de Engenharia Civil, 2008.  
“Orientação: Prof. Dr. Edgar Bacarji.”

1.1.1.5 1. Resíduo de argamassa de cimento e areia. 2.

**Dedico...**

Aos meus pais, Jerson e Janir, por todos os esforços que realizaram para minha formação pessoal e profissional

Ao Paulo, meu marido, pelo seu apoio e paciência nas horas difíceis

Aos meus filhos, Bernardo e Luísa, por estarem sempre ao meu lado.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por estar aqui no fim de mais esta jornada.

Ao professor e orientador desta dissertação, Dr. Edgar Bacarji, pela confiança e dedicação.

Ao professor e co-orientador Dr. Regis de Castro Ferreira, pela disposição no esclarecimento de dúvidas.

A Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás, pela realização deste curso.

A Luciana Barbosa Nascimento, aluna do curso de graduação de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás, pelo importante auxílio na execução dos tijolos.

Aos funcionários da Universidade Federal de Goiás, pela disposição e auxílio na execução da pesquisa

Aos meus companheiros de Mestrado, especialmente Margareth, Suzi e Fabiolla que estiveram sempre colaborando e apoiando nas dificuldades.

A BASF, pela doação do aditivo plastificante Rheomix utilizado nos ensaios desta pesquisa.

A CAPES, agência financiadora, pela concessão de bolsa para a realização desta pesquisa.

## RESUMO

Estudos onde se utilizam materiais e técnicas alternativas de construção têm assumido destaque e importância na engenharia diante do contexto atual de preservação ambiental e aproveitamento de resíduos. Esta pesquisa teve como objetivo geral estudar 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. Para tanto, utilizou-se uma metodologia experimental onde, na composição das misturas, medidas em massa, o resíduo foi substituído em função da massa do solo nas proporções de 0%, 5%, 10%, 15% e 20%. O cimento foi adicionado na proporção de 10% em relação à massa da mistura solo-resíduo. Para avaliar a influência nas propriedades mecânicas dos tijolos foi utilizado aditivo plastificante adicionado à água de amassamento na proporção de 0,1 litros/100kg de cimento e 0,2 litros/100kg de cimento. Foram produzidas dez famílias, onde foram realizados ensaios de compactação do solo-cimento, ensaios de absorção de água e ensaios de resistência à compressão dos tijolos. Os dois últimos ensaios foram realizados aos sete e 28 dias. Os tijolos, obtidos com o auxílio de uma prensa manual, apresentam dimensões de 25,0cm x 12,5cm x 6,25cm, com dois furos de diâmetro de 5,0cm. Foi elaborado um estudo de modulação com o intuito de diminuir o desperdício de material na quebra dos tijolos. Para obter uma melhor interpretação dos resultados foi feita uma análise estatística. Verificou-se que, nos ensaios de absorção de água, o acréscimo do resíduo teve resultado benéfico na composição na qual ele foi usado na proporção de 15%. Nas demais composições tal incorporação não alterou esta propriedade. A adição do resíduo não alterou os resultados de resistência à compressão aos 28 dias para nenhuma composição. As análises dos resultados mostraram que o uso do aditivo plastificante teve um efeito positivo na absorção de água nas composições até 10% de resíduo e, nas outras composições não promoveu variações significativas. O aditivo plastificante produziu nas composições com 20% de resíduo os melhores resultados para os ensaios de resistência à compressão. 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. É importante ressaltar que o emprego deste resíduo contribui para que o mesmo não seja descartado na natureza, evitando prejuízos ao meio ambiente.

**Palavras-chave:** Resíduo de argamassa de cimento e areia, Solo-cimento, Tijolo prensado, Aditivo plastificante.

## ABSTRACT

Studies that use alternative materials and techniques of construction have assumed a great importance and relevance in engineering in the current context of environmental preservation and use of residues. This research had as a general objective studying the technical feasibility of applying the cement residue and sand, originally from the civil construction, in the production of modular bricks of soil-cement. Therefore, an experimental methodology was used and in the mixtures' compounds, measured by weight (mass), the residue was substituted due to the soil mass in the proportions of 0%, 5%, 10%, 15% and 20%. The cement was added in the proportion of 10% in relation to the mass of the mixture soil-residue. So to evaluate the influence of the mechanical properties of the bricks, plastic additive was used added to the water in the proportion of 0,1 litres/100 kg of cement and 0,2 litres/100 kg cement. Ten families were produced in which some soil-cement compaction, water absorption and compression strength tests were done. The latest two tests (rehearsals) were conducted on the seven and 28 days. The bricks obtained with the help of a manual press, have dimensions as 25,0 cm x 12,5 cm x 6,25 cm, with two 5,0 cm holes diameter. A modulation study was done aiming the decreasing of material waste whenever bricks are broken. And in order to obtain a better interpretation of results, an statistical analysis was done. It was verified that in the water absorption tests, the residue adding resulted in benefits in the composition in which it was used in the proportion of 15%. On the other compositions that incorporation did not change this property. The adding of the residue did not change the compression strength results during the 28 days for any composition. The results' analysis showed that the use of the plastic additive caused a positive effect in the water absorption in the compositions of 10% waste and in the other compositions did not promote significative variations. The plastic additive produced in the compositions of 20% waste the best results for the compression strength tests. It was proved the technical feasibility of the use of the cement residue, sand and plastic additive in the manufacture of soil-cement bricks. It's important to emphasize that the use of this residue contributes so that the same may not be disposed in the nature, avoiding pollution for the environment.

**Key-Words:** Sand and cement residue, soil-cement, pressed bricks, plastic additive.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Ilustração 2.1</b> – Muralha da China .....	23
<b>Ilustração 2.2</b> – Pirâmide de Uxmal- México .....	23
<b>Ilustração 2.3</b> – Povoado de Taos – México .....	24
<b>Ilustração 2.4</b> – Aldeia Tulo - Chile .....	24
<b>Ilustração 2.5</b> – Igreja de Santa Rita - Parati/RJ .....	24
<b>Ilustração 2.6</b> – Construção residencial - Austrália .....	25
<b>Ilustração 2.7</b> - Clínica Hospital Popular. La Villa - México .....	25
<b>Ilustração 2.8</b> – Construção com tijolo de solo-cimento em Bangalore - Índia,.....	25
<b>Ilustração 2.9</b> – Moradias populares de solo-cimento.....	32
<b>Ilustração 2.10</b> – Moradias de solo- cimento de alto padrão. ....	32
<b>Ilustração 2.11</b> - Moradia construída em Macaé/RJ .....	32
<b>Ilustração 2.12</b> - Moradia construída em Goiânia/GO - Conjunto Nossa Morada .....	32
<b>Ilustração 2.13</b> – Conjunto Habitacional Sapucaias .....	33
<b>Ilustração 2.14</b> – Tijolos de solo-cimento.....	34
<b>Ilustração 2.15</b> – Vista lateral dos tijolos.....	34
<b>Ilustração 2.16</b> - Deposição irregular de entulho em Belo Horizonte / MG.....	41
<b>Ilustração 2.17</b> - Deposição irregular de entulho em Campo Grande / MS.....	41
<b>Ilustração 2.18</b> - Obstrução do Córrego dos Meninos entre Sto. André e S. Bernardo / SP....	41
<b>Ilustração 2.19</b> – Aterramento de várzea em Vitória da Conquista / BA.....	41
<b>Ilustração 2.20</b> – Vista aérea do local de retirada do solo .....	43
<b>Ilustração 2.21</b> - Tijolos modulares e peças acessórias para uso da técnica.....	54
<b>Ilustração 2.22</b> - Tijolos modulares .....	56
<b>Ilustração 2.23</b> - Componentes em posição simétrica em relação à linha do reticulado modular de referência.....	56
<b>Ilustração 2.24</b> - Componentes em posição assimétrica em relação à linha do reticulado modular de referência.....	56
<b>Ilustração 2.25</b> - Componentes em posição lateral em relação à linha do reticulado modular de referência.....	57
<b>Ilustração 2.26</b> - Tijolo modular de solo-cimento.....	57
<b>Ilustração 2.27</b> - Interações entre os tijolos.....	58
<b>Ilustração 2.28</b> - Detalhes dos cantos das paredes.....	58
<b>Ilustração 3.1</b> – Amostra do solo utilizado na fabricação de tijolos .....	61

<b>Ilustração 3.2</b> – Amostra do resíduo de argamassa de cimento e areia utilizado.....	62
<b>Ilustração 3.3</b> – Equipamentos usados no ensaio de compactação. ....	63
<b>Ilustração 3.4</b> – Prensa manual empregada. ....	64
<b>Ilustração 3.5</b> – Balança .....	64
<b>Ilustração 3.6</b> – Máquina universal. ....	64
<b>Ilustração 3.7</b> – Balança .....	65
<b>Ilustração 3.8</b> – Estufa universal. ....	65
<b>Ilustração 3.9</b> - Homogeneização da mistura seca. ....	70
<b>Ilustração 3.10</b> - Colocação da água na mistura seca.....	70
<b>Ilustração 3.11</b> - Homogeneização da mistura .....	70
<b>Ilustração 3.12</b> - Colocação da mistura na prensa.....	70
<b>Ilustração 3.13</b> - Prensagem do material .....	71
<b>Ilustração 3.14</b> - Retirada do tijolo da prensa. ....	71
<b>Ilustração 3.15</b> - Estocagem e cura dos tijolos.....	71
<b>Ilustração 3.16</b> - Secagem dos tijolos na estufa .....	72
<b>Ilustração 3.17</b> - Pesagem do tijolo após sua secagem na estufa. ....	72
<b>Ilustração 3.18</b> - Prismas submersos na água para.....	73
<b>Ilustração 3.19</b> - Corpo de prova a ser rompido.....	73
<b>Ilustração 3.20</b> - Corpo de prova já rompido. ....	73
<b>Ilustração 4.1</b> – Planta baixa do projeto usado na modulação. ....	89
<b>Ilustração 4.2</b> – Planta 1ª fiada de tijolos .....	90
<b>Ilustração 4.3</b> – Planta 2ª fiada de tijolos .....	91
<b>Ilustração 4.4</b> – Elevações A, B e C.....	92
<b>Ilustração 4.5</b> – Elevações 1, 2 e 3.....	93
<b>Ilustração 4.6</b> – Fachadas Principal e Lateral Esquerda .....	94
<b>Ilustração 4.7</b> – Fachadas Lateral Direita e Fundos.....	95

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 2.1</b> - Produtividade das prensas para componentes de solo estabilizado.....	35
<b>Tabela 2.2</b> - Análise química total do solo .....	43
<b>Tabela 2.3</b> - Análise química do resíduo de argamassa de cimento e areia.....	44
<b>Tabela 2.4</b> - Características físico-mecânicas do solo, resíduo e solo com resíduo.....	45
<b>Tabela 2.5</b> - Resistência à compressão e absorção dos tijolos.....	48
<b>Tabela 2.6</b> - Determinação de resistência à compressão e absorção de água dos tijolos com 10% de cimento.....	49
<b>Tabela 2.7</b> - Resistência média à compressão de tijolos de solo-cimento.....	50
<b>Tabela 2.8</b> - Determinação da resistência à compressão dos tijolos com 10% de cimento.....	51
<b>Tabela 3.1</b> – Composição dos tijolos com 10% de cimento .....	65
<b>Tabela 3.2</b> – Quantidade total de tijolos moldados e ensaiados .....	66
<b>Tabela 4.1</b> - Resultados dos ensaios de compactação de Proctor das composições .....	74
<b>Tabela 4.2</b> – Determinação da absorção de água dos tijolos de solo-cimento-resíduos SEM aditivos .....	76
<b>Tabela 4.3</b> – Determinação da absorção de água dos tijolos de solo-cimento-resíduos COM aditivos .....	77
<b>Tabela 4.4</b> – Resistência à compressão dos tijolos de solo-cimento, aos sete e 28 dias, SEM o uso de aditivo plastificante. ....	82
<b>Tabela 4.5</b> – Resistência à compressão dos tijolos de solo-cimento, aos sete e 28 dias, COM o uso de aditivo plastificante. ....	83

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 2.1</b> – Limites especificados pela NBR 8491/84 para controle de qualidade de tijolos maciços de solo-cimento .....	37
<b>Quadro 2.2</b> – Estimativo da geração de RCD .....	39
<b>Quadro 2.3</b> – Participação dos RCD no total de resíduos sólidos em alguns países.....	40

## LISTA DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 2.1-</b> Curvas granulométricas das misturas.....	47
<b>Gráfico 2.2-</b> Limite de liquidez .....	48
<b>Gráfico 4.1-</b> Curvas de compactação do solo e solo-resíduo com 10% de cimento.....	75
<b>Gráfico 4.2-</b> Evolução da absorção de água com o tempo nas dosagens SEM aditivo. ....	78
<b>Gráfico 4.3-</b> Evolução da absorção de água com o tempo nas dosagens COM aditivo.....	78
<b>Gráfico 4.4-</b> Comparativo entre composições de 0% de resíduo executadas COM e SEM aditivo .....	80
<b>Gráfico 4.5-</b> Comparativo entre composições de 5% de resíduo executadas COM e SEM aditivo .....	80
<b>Gráfico 4.6-</b> Comparativo entre composições de 10% de resíduo executadas COM e SEM aditivo .....	80
<b>Gráfico 4.7-</b> Comparativo entre composições de 15% de resíduo executadas COM e SEM aditivo .....	81
<b>Gráfico 4.8-</b> Comparativo entre composições de 20% de resíduo executadas COM e SEM aditivo .....	81
<b>Gráfico 4.9-</b> Resistência média à compressão dos tijolos, com a evolução do tempo. Dosagens SEM aditivo .....	84
<b>Gráfico 4.10-</b> Resistência média à compressão dos tijolos, com a evolução do tempo. Dosagens COM aditivo .....	84
<b>Gráfico 4.11-</b> Comportamento da média aritmética da resistência à compressão dos tijolos, com a variação das porcentagens dos resíduos. Dosagens SEM aditivo.....	85
<b>Gráfico 4.12-</b> Comportamento da média aritmética da resistência à compressão dos tijolos, com a variação das porcentagens dos resíduos. Dosagens COM aditivo.....	86
<b>Gráfico 4.13-</b> Comportamento da média aritmética da resistência à compressão dos tijolos, SEM e COM aditivo. Composição SN.....	87
<b>Gráfico 4.14-</b> Comportamento da média aritmética da resistência à compressão dos tijolos, SEM e COM aditivo. Composição S <sub>5</sub> R.....	87
<b>Gráfico 4.15-</b> Comportamento da média aritmética da resistência à compressão os tijolos, SEM e COM aditivo. Composição S <sub>10</sub> R .....	87
<b>Gráfico 4.16-</b> Comportamento da média aritmética da resistência à compressão os tijolos, SEM e COM aditivo. Composição S <sub>15</sub> R .....	88

**Gráfico 4.17**– Comportamento da média aritmética da resistência à compressão os tijolos, SEM e COM aditivo. Composição S<sub>20</sub>R ..... 88

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	American Society for Testing Materials
BNH	Banco Nacional de Habitação
CEPED	Centro de Pesquisas e Desenvolvimento
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CP	Cimento Portland
EA	Engenharia de Alimentos
EEC	Escola de Engenharia Civil
IP	Índice de Plasticidade
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
LL	Limite de Liquidez
pH	Potencial Hidrogeniônico
ppm	Parte por Milhão
RC	Resíduos de Concreto
RCD	Resíduos de Construção e Demolição
UFG	Universidade Federal de Goiás

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>17</b>
1.1	JUSTIFICATIVA E IMPORTÂNCIA DO TEMA.....	18
1.2	OBJETIVOS .....	18
<b>1.2.1</b>	<b>Objetivo Geral .....</b>	<b>19</b>
<b>1.2.2</b>	<b>Objetivos Específicos.....</b>	<b>19</b>
1.3	ESCOPO DA DISSERTAÇÃO .....	19
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>21</b>
2.1	SOLO.....	21
<b>2.1.1</b>	<b>Origens e propriedades do solo .....</b>	<b>21</b>
<b>2.1.2</b>	<b>O solo como material de construção - histórico e métodos construtivos.....</b>	<b>23</b>
2.2	ESTABILIZAÇÃO DOS SOLOS .....	26
2.3	CIMENTO PORTLAND.....	28
<b>2.3.1</b>	<b>Histórico .....</b>	<b>28</b>
<b>2.3.2</b>	<b>Definição.....</b>	<b>28</b>
<b>2.3.3.</b>	<b>Constituintes .....</b>	<b>29</b>
<b>2.3.4.</b>	<b>Tipos de Cimento Produzidos.....</b>	<b>29</b>
2.4	SOLO-CIMENTO .....	30
2.5	TIJOLO DE SOLO-CIMENTO .....	34
2.6	RECICLAGEM E CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS.....	37
2.7	CARACTERIZAÇÃO DO SOLO E RESÍDUO UTILIZADOS NA PRESENTE PESQUISA .....	42
<b>2.7.1</b>	<b>Características físico-mecânicas do solo.....</b>	<b>42</b>
<b>2.7.2</b>	<b>Características físico-mecânicas do resíduo de argamassa de cimento e areia ....</b>	<b>44</b>
2.8	USO DE RESÍDUOS EM SOLO-CIMENTO .....	48
2.9	ADITIVOS PLASTIFICANTES.....	53
2.10	USO DE TIJOLOS EM MODULAÇÃO .....	53
<b>2.10.1</b>	<b>Coordenação modular.....</b>	<b>55</b>
<b>2.10.2</b>	<b>Projeto modular horizontal .....</b>	<b>58</b>
<b>2.10.3</b>	<b>Projeto modular vertical.....</b>	<b>60</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>61</b>
3.1	MATERIAIS .....	61
<b>3.1.1</b>	<b>Solo.....</b>	<b>61</b>
<b>3.1.2</b>	<b>Resíduo de argamassa de cimento e areia .....</b>	<b>62</b>

<b>3.1.3</b>	<b>Cimento .....</b>	<b>62</b>
<b>3.1.4</b>	<b>Água.....</b>	<b>62</b>
<b>3.1.5</b>	<b>Aditivo plastificante.....</b>	<b>62</b>
<b>3.1.6</b>	<b>Equipamentos de laboratório .....</b>	<b>63</b>
<b>3.2</b>	<b>MÉTODOS .....</b>	<b>65</b>
<b>3.2.1</b>	<b>Resíduos de argamassa de cimento e areia.....</b>	<b>65</b>
<b>3.2.2</b>	<b>Estudo e definição das dosagens das misturas de solo-cimento-resíduo .....</b>	<b>65</b>
<b>3.2.3</b>	<b>Cálculo do material para execução dos tijolos.....</b>	<b>67</b>
<b>3.2.4</b>	<b>Processo de confecção dos tijolos .....</b>	<b>70</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>74</b>
<b>4.1</b>	<b>ENSAIOS DE COMPACTAÇÃO .....</b>	<b>74</b>
<b>4.2</b>	<b>ENSAIOS DE ABSORÇÃO .....</b>	<b>75</b>
<b>4.2.1</b>	<b>Evolução da absorção de água com o tempo.....</b>	<b>78</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Evolução da absorção variando-se as porcentagens do resíduo.....</b>	<b>79</b>
<b>4.2.3</b>	<b>Evolução da absorção com a incorporação do aditivo plastificante .....</b>	<b>80</b>
<b>4.3</b>	<b>ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO .....</b>	<b>82</b>
<b>4.3.1</b>	<b>Evolução das resistências com o tempo .....</b>	<b>84</b>
<b>4.3.2</b>	<b>Evolução das resistências variando-se as porcentagens de resíduos .....</b>	<b>85</b>
<b>4.3.3</b>	<b>Evolução das resistências acrescentando-se aditivo plastificante .....</b>	<b>86</b>
<b>4.4</b>	<b>MODULAÇÃO .....</b>	<b>88</b>
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>96</b>
<b>5.1</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-MECÂNICA DAS MISTURAS DE SOLO- CIMENTO-RESÍDUO E ADITIVO PLASTIFICANTE.....</b>	<b>96</b>
<b>5.1.1</b>	<b>Efeito da adição do resíduo.....</b>	<b>96</b>
<b>5.1.2</b>	<b>Efeito da incorporação do aditivo plastificante .....</b>	<b>96</b>
<b>5.1.3</b>	<b>Comparações com o os estudos de Lima (2007).....</b>	<b>96</b>
<b>5.2</b>	<b>CONCLUSÕES GERAIS .....</b>	<b>96</b>
<b>5.3</b>	<b>SUGESTÕES PARA OUTRAS PESQUISAS .....</b>	<b>97</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>98</b>
	<b>APÊNDICE .....</b>	<b>103</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A necessidade de preservar o meio ambiente e a tendência de escassez dos recursos naturais levam a construção civil à busca de novos conceitos, novas soluções técnicas que visem à sustentabilidade de suas atividades. A construção em si é destruidora do ambiente natural. O ambiente construído é o produto da transformação de recursos naturais em materiais de construção que, dependendo da maneira como é obtido e transformado, causa maior ou menor impacto ambiental.

A consciência sobre a necessidade de preservação do ambiente natural cresce muito nos dias atuais. Sabe-se que não há como construir sem causar impacto, mas sempre é possível reduzir os danos e, quando estes forem inevitáveis, pode-se pensar numa compensação. É a partir desta idéia que surge o conceito da arquitetura sustentável, com suas várias tendências. Neste contexto, estão sendo elaboradas pesquisas que utilizam materiais e técnicas alternativas, considerando o aproveitamento dos resíduos de construção e demolição.

A busca de novas soluções construtivas, a reciclagem de resíduos, assim como o a eliminação do desperdício no canteiro de obras são desafios que devem ser enfrentados pelos profissionais ligados à construção e também pela sociedade visando obter um desenvolvimento sustentável.

O solo surge aí como um material construtivo abundante, de fácil obtenção e manuseio e baixo custo, favorecendo assim o seu emprego nas obras civis.

A terra foi um dos primeiros materiais de construção utilizados pela humanidade, sendo seu uso milenar, com comprovada resistência às intempéries. No Brasil, construções da época da arquitetura colonial demonstram sua durabilidade até os dias de hoje.

O solo-cimento tem sua aplicação bastante difundida, apesar de ter sido pouco pesquisado no Brasil. Registros do uso dessa técnica datam desde 1940, com diversas finalidades. A partir de 1948, o solo-cimento passou a ser utilizado em habitações, em experiências desenvolvidas pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP). O interesse pelo solo-cimento foi desaparecendo na medida em que outros materiais foram surgindo, como por exemplo, o cimento Portland. Hoje a sua utilização é mais expressiva em obras de pavimentação (parte das rodovias brasileiras são de solo-cimento compactado) e em barragens e contenções.

Os solos, quando não possuem as características desejadas para um tipo de aplicação, podem ser melhorados acrescentando-se a eles um ou mais estabilizantes. Estes estabilizantes podem ser aditivos químicos (cimento, cal, borra de carbureto, cinzas volantes, escórias de alto-forno e materiais pozolânicos) e têm a finalidade de conferir maior resistência aos elementos, maior estabilidade volumétrica, maior durabilidade e menor compressibilidade.

Hoje pode ser observada uma valorização do uso de resíduos industriais no desenvolvimento de materiais de construção, com o surgimento de algumas linhas de pesquisa dentro da engenharia do meio ambiente e do setor da construção civil.

Neste contexto a pesquisa sugere o uso do resíduo de argamassa de cimento e areia, proveniente da construção civil, na mistura de solo-cimento e ainda o uso de aditivos plastificantes na busca de uma melhor qualidade do material.

Materiais que, quando usados, economizam energia, geram menos resíduos e poluentes, emitem menos gás carbônico (CO<sub>2</sub>) na atmosfera devem ser encarados como materiais do futuro. O aquecimento global é responsável hoje pelo aumento das catástrofes mundiais e com isto, a engenharia deve também pensar no uso de materiais de construção menos agressivos ao meio ambiente como, por exemplo, o solo-cimento (GONÇALVES, 2005).

Este estudo pode mostrar alternativas para técnicas de construção sustentáveis, na medida em que propõe uma diminuição da extração de minerais das jazidas que fornecem matéria-prima e ainda apresentem baixo consumo energético.

Diante da necessidade de preservação do meio ambiente e da necessidade obtenção de materiais de boa qualidade para a construção civil é que se realiza o presente trabalho.

## 1.1 JUSTIFICATIVA E IMPORTÂNCIA DO TEMA

O tema desta pesquisa justifica-se pela necessidade de diminuir as agressões ao meio ambiente e ainda auxiliar na sua preservação. O estudo de tecnologias que reduzam o desperdício e o consumo de energia e que ainda reciclem e reutilizem resíduos nos canteiros de obra, contribuindo para a preservação ambiental, são também justificativas para esta pesquisa. Hoje, a indústria da construção civil necessita encontrar alternativas que diminuam o alto custo das edificações, minimizem o grande problema de moradias e adotem técnicas de construção sustentáveis, contribuindo assim para a redução do impacto ambiental.

O presente estudo pretende ainda contribuir para a ampliação dos conhecimentos tecnológicos relativos à aplicação de resíduos na fabricação de materiais de construção.

## 1.2 OBJETIVOS

Os objetivos desta pesquisa estão traçados em linhas gerais e específicas:

### **1.2.1 Objetivo Geral**

Esta pesquisa tem como objetivo geral estudar a viabilidade técnica da aplicação de resíduo de argamassa de cimento e areia produzido na construção civil, em tijolos modulares de solo-cimento.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

Os objetivos específicos são:

- Contribuir com a realização de um estudo com vistas à uma melhor disposição final dos resíduos gerados pelas obras da construção civil, e conseqüentemente colaborar para a preservação do meio ambiente;
- Comparar alguns resultados com os obtidos por Lima (2007) em sua pesquisa, quanto às melhores proporções solo-cimento-resíduo;
- Avaliar qual é a melhor proporção do resíduo de argamassa de cimento e areia para melhorar as propriedades do solo em estudo para confecção de tijolos de solo-cimento;
- Fazer um estudo da evolução do desempenho da resistência mecânica e de absorção de água dos tijolos de solo-cimento produzidos com a utilização de aditivo plastificante;
- Executar um estudo de modulação feito a partir do uso de tijolos de solo-cimento, a fim de otimizar a construção de moradias populares e minimizar seus custos, economizando tempo na construção e evitando desperdício de material.

## **1.3 ESCOPO DA DISSERTAÇÃO**

A presente dissertação foi dividida em cinco capítulos. No Capítulo 1, encontra-se a introdução, onde é abordado o uso de resíduos em tijolos de solo-cimento, produzidos em uma prensa manual.

No Capítulo 2, apresenta-se a revisão bibliográfica sobre os assuntos relacionados ao tema: preservação do meio ambiente, o solo e o cimento Portland (constituintes do solo-cimento), a técnica de solo-cimento, o resíduo de argamassa de cimento e areia, o emprego de aditivos plastificantes e ainda o uso de modulação na construção.

O Capítulo 3 expõe a metodologia do trabalho experimental, com a descrição dos materiais e métodos empregados no estudo.

O Capítulo 4 mostra os resultados obtidos durante a pesquisa, com suas respectivas análises e discussões.

No Capítulo 5 são apresentadas as principais conclusões, relacionadas aos objetivos da dissertação, assim como a apresentação das propostas para a continuidade da pesquisa.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 SOLO

#### 2.1.1 Origens e propriedades do solo

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.

Num conceito mais simplista, solo é todo material que pode ser escavado, sem uso de técnicas especiais, como explosivos, por exemplo (BUENO; VILAR, 1980 p. 5).

Os solos se constituem de quatro grandes componentes: material mineral, material orgânico, água e ar. Os constituintes minerais (inorgânicos) dos solos geralmente são constituídos de pequenos fragmentos de rocha e ainda vários tipos de minerais. A matéria orgânica do solo é resultado de acúmulo de plantas total ou parcialmente desintegradas e ainda restos de animais. O ar encontrado no solo não é contínuo e se encontra em poros separados pelas partículas. Este ar tem, geralmente, uma umidade mais alta que o ar da atmosfera. A argila e o húmus existentes se encontram no estado coloidal e controlam, na maioria das vezes, as propriedades físicas e químicas dos solos.

A água, presente na constituição dos solos, pode ser encontrada de diversas formas:

- Água interpartículas, água livre, água capilar ou ainda água dos poros – aquela que envolve as partículas e é eliminada a temperatura ambiente;
- Água de combinação – aquela mais próxima a superfície dos minerais;
- Água adsorvida – aquela água presente em finas camadas presas a superfície do mineral por forças de atração;
- Água estrutural, água de constituição ou água de hidroxilas – aquela que faz parte do retículo cristalino de alguns minerais. Não pode ser removida com exceção de altas temperaturas.

É necessário o conhecimento da presença da água na configuração do solo para entender algumas manifestações patológicas bastante comuns no solo-cimento, como por exemplo, o surgimento de fissuras devidas à retração por secagem.

O solo passa, em sua constituição, por constantes sínteses e decomposições devidas a fenômenos físicos (lixiviação, iluviação/eluviação), químicos (dissolução e precipitação, redução

e oxidação), além dos fenômenos físico-químicos (troca iônica, adsorção e absorção), dando também suporte a inúmeras simbioses (REIS, 2004).

Conforme 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 NBR 6502 (ABNT, 1995), os pedregulhos têm seus diâmetros superiores a 4,8mm e as areias têm os diâmetros de seus grãos entre 0,05 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 0,05 e 0,005mm) e argilas (agregados de partículas microscópicas, com grãos menores que 0,005mm).

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 de abertura de 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).

### 2.1.2 O solo como material de construção - histórico e métodos construtivos

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 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.

Segundo Reis (2004) a Muralha da China, com 3460 m de extensão, demorou vinte séculos para ser concluída e tem como materiais empregados pedras, madeira, tijolos e solo compactado estabilizado com cal (Ilustração 2.1).



**Ilustração 2.1**– Muralha da China  
Fonte: Wikipédia (2007).



**Ilustração 2.2**– Pirâmide de Uxmal- México  
Fonte: Wikipédia (2007).

Existem ainda hoje, como exemplo de durabilidade de construções feitas com solo, outros exemplos, tais como: a pirâmide de Uxmal, no México, construída entre os séculos VI e X (Ilustração 2.2), o Povoado de Taos também no México, erguido entre os anos de 1500 e que até hoje é habitado e mantido pelos descendentes dos índios Taos (Ilustração 2.3), a milenária Aldeia Tulo, em Atacama no Chile com mais de três mil anos de existência (Ilustração 2.4), dentre muitas outras construções.



**Ilustração 2.3**– Povoado de Taos – México  
Fonte: Wikipédia (2007)



**Ilustração 2.4**– Aldeia Tular - Chile  
Fonte: Oikos (2007)

Na época colonial, a técnica construtiva usando o adobe foi trazida para a América Latina pelos espanhóis. No Brasil, a utilização do solo como material de construção iniciou-se por intermédio dos exploradores portugueses.

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 (Ilustração 2.5). Conforme Ferraz e Segantini (2003), o solo sempre fez parte da herança construtiva brasileira.

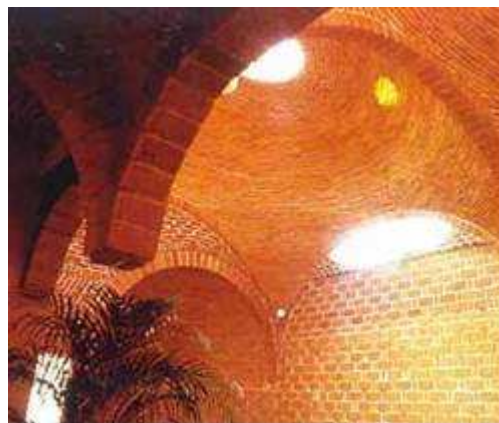


**Ilustração 2.5**– Igreja de Santa Rita - Parati/RJ.  
Fonte: Parati (2006).

A utilização do solo sofreu modificações quanto ao uso e formatos e seu emprego em construções é registrado em várias partes do mundo até os dias de hoje (Ilustrações 2.6, 2.7 e 2.8).



**Ilustração 2.6**– Construção residencial - Austrália  
Fonte: Oikos (2007)



**Ilustração 2.7**- Clínica Hospital Popular. La Villa - México, 1998. Arq. A. R. Ponce  
Fonte: Vitruvius (2007).



**Ilustração 2.8**– Construção com tijolo de solo-cimento em Bangalore - Índia,  
Fonte: Reddy (2004).

Com o aparecimento do cimento Portland no Brasil, em meados do século XIX, o solo passou a ser visto como material de segunda categoria passando a ser usado quase que exclusivamente em áreas rurais. Apesar de apresentar muitas vantagens, há um grande preconceito com construções que utilizam terra por parte daqueles que associam esta técnica construtiva com padrões de pobreza.

Conforme Rodrigues (2005) as construções com emprego do solo apresentam um elevado conforto térmico (associado à inércia térmica proporcionada), um bom comportamento acústico (associado à sua massa), uma economia energética inerente (relacionada à produção e transporte do material e a sua utilização na construção), a longevidade da edificação (quando feitas as devidas manutenções) e apresentam, ainda, aspectos ligados a reciclagem da construção, já que não há produção de entulhos, pois a “terra volta à terra”. Outro aspecto muito importante com relação ao uso desta técnica é que ela tem capacidade de receber resíduos

oriundos de outros processos construtivos sem comprometimento de sua qualidade, e muitas vezes, com melhoria de seus padrões de resistência à compressão.

## 2.2 ESTABILIZAÇÃO DOS SOLOS

A estabilização dos solos, em geral, consiste em modificar as características do sistema solo-água-ar com a finalidade de se obter propriedades necessárias a uma aplicação particular (MILANI, 2005).

Estabilização dos solos é o processo onde se confere ao solo uma maior resistência estável às cargas ou desgaste ou à erosão, por meio de compactação, correção de sua granulometria e da sua plasticidade ou de adição de substâncias que lhe ofereça uma coesão proveniente da cimentação ou aglutinação de seus grãos. (VARGAS, 1978 p. 93).

Segundo Hogentogler (1937) apud Silveira (2005), estabilizar um solo é propiciar-lhe resistência ao cisalhamento e à abrasão, de modo a suportar cargas ou agentes externos sem deformações excessivas ou prejudiciais sem qualquer condição climática.

O uso do solo como material de construção deve ser feito com critérios, pois podem ocorrer alguns problemas devidos às propriedades deste material, que por sinal são muito complexas e heterogêneas, daí a importância do conhecimento acerca dos elementos que promovem a estabilização dos solos (LIMA, 2007).

Segundo Inglês e Metcalf (1972) apud Grande (2003) os princípios que regem a estabilização dos solos tendem a conferir ao produto final melhor estabilidade dimensional, aumento da resistência mecânica para patamares definidos pela utilização, diminuição da permeabilidade, controle da fissuração por retração por secagem, resistência à erosão e abrasão superficial e conseqüentemente, aumento da durabilidade do material.

A estabilização dos solos favorece o preenchimento e a redução do volume dos vazios influenciando sobre a porosidade e a permeabilidade do solo e ainda melhora a aderência entre grãos, conferindo maior compactidade ou densidade ao solo influenciando diretamente na resistência mecânica (GRANDE 2003).

A estabilização pode ser mecânica, física e química. A estabilização mecânica baseia-se em compactar o solo através de uma ação mecânica, com aplicação de uma energia. Esse método altera a densidade, a resistência mecânica, a compressibilidade, a permeabilidade e a porosidade.

A estabilização física age diretamente na textura dos solos ao adicionar frações de grãos de diferentes granulometrias, aperfeiçoando assim as proporções entre areia, silte e argila, causando melhor empacotamento dos grãos.

A estabilização química acontece quando outros materiais são adicionados ao solo alterando suas propriedades ou quando grãos e o material reagem, aglutinam-se e cobrem os grãos.

Ao escolher o tipo adequado de estabilização é preciso considerar a finalidade da obra, as características dos materiais e as propriedades do solo a corrigir.

De acordo com Freire e Hasegawa (1996) apud Becerra et al. (2000), a estabilização dos solos com cimento é a mais difundida, formando o material conhecido como solo-cimento, uma mistura do solo peneirado, cimento Portland e água, que compactados a um teor de umidade ótimo e máxima densidade, forma um material estruturalmente resistente.

Pires (2004) afirma que no processo de estabilização do solo por aglomerante hidráulico, quando há a hidratação do cimento, há uma mudança na carga elétrica no meio argiloso através da troca de cátions, havendo atração entre as partículas, fazendo com que estas se reúnam formando partículas maiores, determinando desta forma, a perda da plasticidade da mistura. No produto final se formam cadeias hexagonais, que isolam em seu interior partículas que não chegam a ser aglutinadas, impedindo sua dilatação pela sua impermeabilidade.

Quase todos os solos podem ser estabilizados com cimento. Aqueles que necessitam de baixas quantidades de aglomerante para serem estabilizados produzem um solo-cimento mais viável economicamente. Quando há uma uniformidade na granulometria da areia e os teores de silte e de argila forem elevados faz-se necessário o uso de um alto teor de cimento, aumentando assim o custo da mistura. A ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland (1986) divulgou que a composição granulométrica é determinante na estabilização do solo-cimento, traçando parâmetros que correlacionam teores de cimento e viabilidade econômica de sua aplicação. Conforme Pitta (1980) apud Silveira (2005) solos finos em geral exigem elevados teores de cimento para a estabilização. Já os solos granulares se estabilizam pela cimentação nos pontos de contato entre seus agregados grosseiros exigindo assim um teor menor de cimento.

Algumas manifestações patológicas podem aparecer mesmo após a estabilização do solo, como por exemplo: variações de volume por reações da água por aditivo, retrações, fissuras; degradação do material devido à existência de sais solúveis em água, de matéria orgânica, etc.; propriedades heterogêneas da série devidas à descontinuidade da matéria-prima.

Uma dificuldade encontrada pelos usuários do solo-cimento é a falta de disponibilidade de laboratórios de solo próximos às usinas de solo-cimento ou conhecimento de ensaios práticos que possibilitem o uso da técnica (SABBAG, 1986 apud MIRANDA, 2007).

Quanto mais fina a granulometria do solo, maior é a sua área específica, o que significa que a área a ser envolvida pelo aglomerante é maior. De uma maneira geral, solos com

granulometria variada são ideais, pois os espaços existentes entre os grãos são preenchidos por partículas menores do próprio solo (MILANI, 2005).

## 2.3 CIMENTO PORTLAND

### 2.3.1 Histórico

A palavra cimento deriva do latim *caementum*, ou seja, pedra proveniente de rochedos. Os romanos chamavam de cimento a mistura de cal com terra pozolana (cinzas vulcânicas das ilhas gregas de Santorim e da região de Pozzuoli, próximo a Nápoles) que resultava numa massa aglomerante e que foi muito utilizada em obras de alvenaria, pontes e aquedutos (GRANDE, 2003).

Coube ao inglês Joseph Aspdin, em 1824, patentear o cimento Portland – ligante hidráulico que possuía aspecto e cor semelhantes às rochas calcárias da ilha Portland. O produto patenteado constava em calcário 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 eram calcinados em fornos para serem moídos bem finos posteriormente.

Aquele produto, no entanto, tinha características bem distintas do cimento conhecido atualmente, resultante de uma série de pesquisas e implementações tecnológicas.

### 2.3.2 Definição

O cimento Portland é definido tecnicamente como um aglomerante hidráulico obtido pela pulverização do clínquer, com adição de gesso (para regular o tempo de início de hidratação) e outras substâncias que determinam o tipo de cimento (GRANDE, 2003).

Segundo Metha e Monteiro (1994, p.9) cimento é um material finamente pulverizado, que sozinho não é aglomerante, mas desenvolve propriedades ligantes como resultado da hidratação (reações químicas entre cimento e água). Cimento Portland é o cimento hidráulico (aquele quando os produtos de hidratação são estáveis em meio aquoso) mais usado para fazer concreto que consiste basicamente de silicatos de cálcio hidráulicos. Os silicatos de cálcio hidratados são os principais responsáveis por sua característica adesiva, sendo estáveis em meios aquosos.

### 2.3.3. Constituintes

As matérias-primas do clínquer, o calcário e a argila, geralmente são encontradas em jazidas próximas às fabricas de cimento. O clínquer consiste numa mistura íntima de silicatos e aluminatos cálcicos, e tem a forma de grânulos arredondados, com alguns centímetros de diâmetro, duros e abrasivos, onde se encontram misturados os diferentes constituintes.

A rocha calcária, retirada da jazida, passa por uma britagem, em seguida é moída e depois é misturada à argila triturada em proporções adequadas. Essa mistura atravessa um forno giratório de grande diâmetro e comprimento, aonde a temperatura interna chega a 1450°C. A mistura é ali transformada em um novo material, o clínquer, que se apresenta em forma de pelotas, que saem do forno ainda incandescentes e são bruscamente resfriadas para serem transformadas em pó, por meio de uma moagem. O clínquer em pó desenvolve uma reação química em presença de água, na qual, primeiramente, torna-se pastoso para depois endurecer, ganhando elevada resistência e durabilidade. Essa característica faz do clínquer um ligante hidráulico muito resistente, sendo esta sua propriedade mais importante (ABCP, 2002).

### 2.3.4. Tipos de Cimento Produzidos

O conhecimento dos tipos de cimento e suas propriedades, somados à compreensão das variáveis que constituem os solos, significam ampliar as possibilidades de desenvolvimento do solo-cimento, na busca de um material de melhor desempenho (LIMA, 2007).

Os tipos de cimento variam de acordo com suas características de alta resistência inicial, de baixo calor de hidratação, de alta resistência ao sulfato e calor moderado de hidratação ou moderada resistência ao concreto. Outras variedades de cimentos podem ser obtidas com base em alterações na composição da matéria prima, como por exemplo, os chamados cimentos refratários, que têm uma porcentagem de alumina mais elevada que o cimento Portland normal, sendo por isso mais ricos em aluminatos cálcicos.

Conforme a ABCP (2002) os vários tipos de cimentos produzidos no Brasil são designados pela sigla CP (Cimento Portland), acrescidos dos algarismos romanos de I a V e pelas classes de resistência. Estas são indicadas pelos números 25, 32 e 40, apontando os valores mínimos de resistência à compressão (MPa) após 28 dias de cura. São eles:

- CP I – Cimento Portland comum;
- CP I-S – Cimento Portland com adição;

- CP II –E – Cimento Portland composto com escória de alto forno;
- CP II –F – Cimento Portland composto com filer (calcário);
- CP II –Z – Cimento Portland composto com pozolana (15% de pozolana);
- CP III – Cimento Portland de alto forno;
- CP IV – Cimento Portland pozolânico (mais de 15% de pozolana);
- CP V - ARI– Cimento Portland de alta resistência inicial.

Existem outros tipos de cimento, ainda conforme a ABCP (2002), que são consumidos em menor escala, seja pela menor oferta ou pelas características especiais de aplicação. Eles são conhecidos como:

- Cimento Portland resistente aos sulfatos;
- Cimento Portland branco;
- Cimento Portland de baixo calor de hidratação;
- Cimento para poços petrolíferos.

#### 2.4 SOLO-CIMENTO

O solo-cimento é o produto resultante da mistura do solo, cimento Portland e água que compactado, em proporções previamente estabelecidas, na umidade ótima e máxima densidade, adquire resistência e durabilidade por meio de reações de hidratação do cimento (ABCP, 1986).

O solo-cimento é um material de construção bastante antigo. A origem do solo-cimento deu-se por variações introduzidas em outro material mais antigo: o solo-cinza.

Segundo Grande (2003), o interesse pelo assunto no Brasil surgiu a partir de 1936 com a regulamentação de seu uso pela ABCP. Inicialmente foi aqui empregado na confecção de bases e sub-bases de pavimentos de estradas.

O precursor dos tijolos prensados de terra foi o tijolo moldado com barro, conhecido como adobe, que vem sendo usado há milhares de anos. O primeiro registro oficial do uso do solo-cimento em edificações no Brasil é de 1948, em Petrópolis, Rio de Janeiro, na sede da Fazenda Inglesa (CONCIANI; OLIVEIRA, 2004).

Em 1929, Proctor descobriu a relação umidade/peso específico aparente na compactação do solo, o que deu início ao desenvolvimento do solo-cimento para diversos tipos de construções, tais como: pavimentação, revestimento de canais, diques, reservatórios e barragens de terra, estabilização de taludes, tijolos, blocos, painéis e paredes monolíticas.

Conforme Thomas (1979) apud Grande (2003), em 1948 este material também foi usado na construção do Hospital Adriano Jorge, em Manaus, com área de 10.800m<sup>2</sup>, com paredes monolíticas, contando com apoio tecnológico da ABCP. O edifício foi uma obra marcante desse sistema construtivo, que mesmo depois de muito tempo de seu término, apresentava desempenho aprovado frente ao clima tropical.

O solo-cimento, segundo Figueirola (2004) só foi amplamente aplicado em moradias por volta de 1978, quando o antigo BNH aprovou a técnica para construções de habitações populares.

No tijolo de solo-cimento o solo é o componente mais utilizado, o cimento entra numa quantidade que varia de 5% a 10% da massa do solo, com a finalidade de estabilizá-lo, dando a resistência esperada para a mistura. O tipo do solo, o teor do cimento, o método da mistura e de compactação interferem na qualidade final do solo-cimento. Basicamente, qualquer tipo de solo pode ser utilizado, desde que estabilizado corretamente e que não contenha matéria orgânica, pois esta pode comprometer a hidratação do cimento.

Os solos mais apropriados devem possuir entre 45% e 50% de teor de areia. Quando houver areia grossa, o resultado do solo-cimento pode ser melhor, pois estes funcionam como materiais inertes com função de enchimento, liberando maior quantidade de cimento para aglomerar os grãos menores.

Conforme Souza et al. (2006) os solos arenosos são os melhores, pois propiciam condições para que se tenha menor consumo de cimento e obtenção de tijolos de melhor qualidade.

As partículas de cimento envolvem fisicamente os grânulos do solo formando agregados que aumentam de tamanho à medida que se processam a hidratação e cristalização do cimento.

O processo de fabricação de tijolos de solo-cimento começa na fase de desterroamento, passa pelo peneiramento e secagem do solo. Faz-se aí uma mistura homogênea do solo com o cimento, adiciona-se a água em quantidades adequadas, cura-se à sombra regando os tijolos de duas a quatro vezes ao dia dependendo das condições climáticas. O assentamento e o revestimento desses tijolos com argamassas tradicionais devem ser feitas com cuidado devido às diferentes características de absorção de água.

A porcentagem de cimento adicionada ao solo é fator determinante da resistência à compressão e da absorção de água.

Como as construções com terra costumam ser associadas à pobreza, devido ao seu emprego em programas sociais e com o aparecimento de novos materiais de construção

industrializados, essa tecnologia alternativa ficou à margem do mercado financeiro de habitação. Algumas iniciativas e pesquisas estão sendo retomadas nesse sentido, em função das crescentes preocupações ambientais. O reflexo dessas pesquisas é o ressurgimento, ainda tímido, de construções utilizando o solo-cimento no Brasil (Ilustrações 2.9 e 2.10). É notado, por parte do poder público, um movimento discreto, em direção ao uso de solo-cimento como uma alternativa construtiva de baixo custo. Como exemplo de alguns programas pode-se citar o projeto HABITAR em 2006, da Prefeitura de Macaé/RJ (Ilustração 2.11), o emprego em algumas residências no Conjunto Nossa Morada - Goiânia/GO em 2003, projeto da UFG, (Ilustração 2.12), o Conjunto Habitacional Sapucaias em 1998, desenvolvido em Contagem/MG (Ilustração 2.13), construído em 1998, dentre muitos outros existentes no país.



**Ilustração 2.9**– Moradias populares de solo-cimento  
Fonte: Habitare (2004)



**Ilustração 2.10**– Moradias de solo-cimento de alto padrão.  
Fonte: Habitare (2004)



**Ilustração 2.11**- Moradia construída em Macaé/RJ  
Fonte: Emhusa (2006)



**Ilustração 2.12**- Moradia construída em Goiânia/GO -  
Conjunto Nossa Morada  
Fonte: Ferreira e Silva. (2003).



**Ilustração 2.13**– Conjunto Habitacional Sapucaias em Contagem/MG  
Fonte: Passos et al. (2001).

Segundo Miranda (2007), diversas pesquisas têm sido realizadas a fim de reduzir o custo do solo-cimento adicionando a mistura casca de arroz, sílica ativa, metacaolinita (argila calcinada), cinza volante e outros. Estas adições minerais possuem alguma quantidade de sílica e alumínio que na presença de água, promovem uma reação pozolânica (a cal oriunda da hidratação do cimento combina-se quimicamente formando compostos semelhantes aos silicatos e aluminatos de cálcio hidratado).

Neste contexto, o uso do solo-cimento com aproveitamento de resíduos da construção, pode significar o retorno da utilização do solo, pois se trata de uma matéria-prima abundante, com potencial para reduzir o custo das construções habitacionais e induzir os projetistas ao hábito de construir harmonizando projeto arquitetônico, materiais locais e sistema construtivo (LIMA, 2007).

Os fatores que influenciam a qualidade do solo-cimento são: teor de cimento, tipo de solo, método de mistura e compactação, sendo que o tipo do solo é o fator que mais influencia na qualidade final do produto (SOUZA, 2006).

O solo-cimento difere do concreto de cimento Portland em vários aspectos. Uma diferença significativa é a forma como as partículas dos agregados ou do solo se mantêm unidas. No concreto há bastante material para cobrir a superfície dos agregados e encher os vazios que se encontram entre eles. No solo-cimento a pasta não é suficiente para cobrir os agregados e preencher os vazios, resultando numa matriz que une módulos de material não cimentado (ICPA, 1991).

## 2.5 TIJOLO DE SOLO-CIMENTO

Os tijolos de solo-cimento são uma alternativa para a construção da alvenaria em habitações e em outras edificações e a viabilidade de sua produção depende da existência de solos adequados para a sua confecção.

A terra passou a ser usada de forma comprimida quando o colombiano G. Ramires criou a prensa manual para a fabricação de tijolos, a CINVA-RAM. Ela foi inventada quando este trabalhava no Chile no Centro Interamericano de Vivienda y Planejamento – CINVA em 1961. A partir daí iniciou o desenvolvimento da tecnologia de prensas manuais e hidráulicas para fabricação de diversos tipos de tijolos e blocos de solo-cimento compactado. No Brasil, a partir de 1977, esses tijolos começaram a ser pesquisados, principalmente pelo IPT (GRANDE 2003).

A qualidade do tijolo de solo-cimento prensado é função do empacotamento dos grãos do solo depois de compactado. O equipamento responsável pela moldagem e compactação dos tijolos é a prensa que desempenha papel fundamental na qualidade final do produto. O material resultante deste empacotamento deve apresentar baixa porosidade e alta densidade. As Ilustrações 2.14 e 2.15 mostram tijolos de solo-cimento executados para esta pesquisa, feitos por uma prensa manual da marca Gutward.



**Ilustração 2.14** – Tijolos de solo-cimento



**Ilustração 2.15** – Vista lateral dos tijolos

Ferraz Junior (1995) apud Grande (2003) comparou as características de diversas prensas existentes no mercado e apresentou como resumo a Tabela 2.1, a seguir:

**Tabela 2.1** - Produtividade das prensas para componentes de solo estabilizado

<b>Tipo de prensa</b>		<b>Energia normal de compactação</b> (ensaio Proctor normal) (1MPa = 6 kgf.cm <sup>2</sup> /cm <sup>3</sup> )	<b>Taxa de compactação de solo</b>	<b>Produção</b> (tijolo/dia)
<b>Manual</b>	Mecânica	1,5 - 2,0	1,38	300 a 1200
	Hidráulica	2,0 - 10,0	1,65	200 a 2800
<b>Motorizada</b>	Mecânica	4,0 - 24,0	>1,65	1600 a 12000
	Hidráulica	>20,0	>2,00	-

Fonte: Ferraz Junior (1995) apud Grande (2003), modificado.

Conforme a ABCP (1985), a mistura de solo-cimento para produção de tijolos, blocos e painéis de parede precisa ter:

- Preparação do solo (desterroamento, pulverização e peneiramento);
- Preparação da mistura (homogeneização da mistura seca e uniformização de umidade da mistura);
- Moldagem (efetuada em prensas manuais ou hidráulicas);
- Cura e armazenamento (após 6 horas de moldados e durante os 7 primeiros dias, os tijolos devem ser mantidos úmidos por meio de sucessivas molhagens).

O teor de umidade e o grau de compactação têm grande importância no resultado das características de resistência à compressão e absorção de água sendo importante para obter um solo-cimento de qualidade. O teor de umidade é dado pelo ensaio de Proctor que encontra a umidade ótima da mistura e pela umidade higroscópica pertencente ao material. A umidade ótima do solo é aquela onde se é possível obter a densidade máxima do material com uma dada quantidade de Energia de Compactação. Umidade higroscópica é aquela encontrada na terra na natureza.

Os solos ideais para produzir tijolos de solo-cimento adequados, segundo a norma NBR 10832 (ABNT, 1989), têm que possuir:

- 100% dos grãos passando na peneira ABNT 4,8 mm (nº. 04);
- 10% a 50% dos grãos passando na peneira ABNT 0,075 mm (nº. 200);
- Limite de Liquidez  $\leq 45\%$  e

- Índice de Plasticidade  $\leq 18\%$ .

O Limite de Plasticidade e o Limite de Liquidez são limites entre os quais o solo se encontra na sua fase plástica. O Índice de Plasticidade define o quão plástico é um solo. O Limite de Liquidez é o valor que determina se um solo se apresenta com uma umidade muito elevada a ponto de ficar num estado de um fluido muito denso (PIRES, 2004).

A mistura fresca é colocada dentro dos moldes, é prensada e transformada em tijolos. Estes são retirados da prensa e colocados em local coberto e molhados sistematicamente durante uma semana para serem curados.

O desenvolvimento dos sistemas de produção dos tijolos de solo-cimento viabiliza programas habitacionais uma vez que é uma tecnologia de fácil assimilação pelos operadores dos equipamentos. As prensas utilizadas em sua fabricação são simples e de baixo custo e podem ser instaladas no próprio canteiro de obras.

A resistência à compressão é, em geral, superior à do tijolo convencional, assim também como a qualidade e o aspecto final das peças, com maior regularidade dimensional e planicidade de suas faces (SOUZA, 2006).

Além das vantagens já descritas os tijolos de solo-cimento oferecem conforto térmico e acústico superior ao das construções convencionais e redução de desperdícios nos canteiros de obras gerando menor quantidade de entulho.

Os tijolos de solo-cimento podem ser usados conforme critérios estabelecidos nos projetos (os mesmos usados em alvenaria convencional) e para obter custos finais mais baixos possibilitam a elaboração de projetos modulares que reduzem assim o desperdício de peças.

Outras vantagens dos tijolos de solo-cimento estabilizado, segundo a ABCP (1985): pode ser produzido com o próprio solo do local e dentro do canteiro de obras, não emprega mão de obra muito especializada e, por ter suas formas regulares, utiliza menores quantidades de argamassa podendo ser usados sem revestimento.

Segundo Walker (1994) apud Passos et al. (2001) tijolos deste material (utilizando 10% de cimento) consomem 0,1MJ/kg de energia, enquanto os tijolos cerâmicos, com queima em forno, consomem de 8 a 16 vezes mais o que ressalta a importância dessa tecnologia do ponto de vista ambiental e social.

Somado a esses benefícios, esses tijolos oferecem ainda outra grande vantagem ambiental: aceitam em sua composição o acréscimo de uma série de resíduos, dando um destino a materiais descartados e simultaneamente, melhorando suas condições mecânicas.

A ABCP (1985) recomenda moldar tijolos com proporções, em volume de cimento e solo de 1:10, 1:12 e 1:14. O traço adequado vai ser aquele em que os tijolos apresentarem menor consumo de cimento e atender os critérios de resistência à compressão e absorção de água prescritos na norma NBR 8491 (ABNT, 1984a) que determina valores para tijolos maciços de solo-cimento. Segundo a norma, o valor mínimo para a média dos valores de resistência à compressão deve ser de 2,0 MPa, com idade mínima de sete dias, sendo que nenhum valor individual deve ser inferior a 1,7MPa. A absorção de água dos tijolos não deve ser superior a 20% de seu volume e nenhum valor individual deve ser superior a 22% (ver Quadro 2.1).

<b>Características</b>	<b>Nº de amostras</b>	<b>Exigência NBR 8491/84</b>
Resistência à Compressão	10	Valor médio $\geq 2,0$ MPa
		Valor individual $\geq 1,7$ MPa
Absorção de água	3	Valor médio $\leq 20\%$
		Valor individual $\leq 22\%$

**Quadro 2.1**– Limites especificados pela NBR 8491/84 para controle de qualidade de Tijolos maciços de solo-cimento.

## 2.6 RECICLAGEM E CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS

A quantidade de entulho gerado em construções nas cidades brasileiras demonstra um enorme desperdício de material. Cada brasileiro produz, em média, 230 quilos a 1 tonelada de resíduo de construção e demolição por ano (SASSINE, 2008). Os custos 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.

Para minimizar o problema, há a necessidade de reciclar esse entulho que, hoje nas grandes cidades, aparece com números bem significativos. Os resíduos de construção e demolição (RCD) consistem em concreto, estuque, telhas, metais, madeira, gesso, aglomerados, pedras, etc. Muitos desses materiais e a maior parte do asfalto e do concreto utilizado em obras

podem ser reciclados. Esta reciclagem pode tornar o custo de uma obra mais baixo e diminuir também o custo de sua disposição.

A reciclagem de resíduos no Brasil é ainda muito tímida, com exceção da intensa reciclagem praticada pelas indústrias de cimento e de aço (ÂNGULO ET. AL., 2001).

A reciclagem teve início na Europa após a Segunda Guerra Mundial, tendo sido amplamente empregada para sua reconstrução. A reciclagem pode ser uma oportunidade de transformação de fontes de despesas (JOHN, 1999).

Segundo Agopyan (2001) apud Lima (2007) o país com melhor índice de aproveitamento de resíduos de construção e demolição é a Holanda, com índices próximos a 80%. A escassez de recursos naturais é que promove essa alta taxa de aproveitamento, já que o país tem que importar areia da Sibéria. Países com território pequeno são levados a criar um eficiente sistema de aproveitamento de entulho, pois não dispõem de locais para disposição.

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 um 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.

Em 2002, o estabelecimento da Resolução nº. 307 (CONAMA, 2002) veio como resposta à necessidade da gestão e manejo corretos dos resíduos da construção civil, e considera que os RCD pertencem a classe de resíduos tipo A (resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados compostos por diversos materiais de origem mineral). Essa Resolução proibiu a deposição destes resíduos em aterros sanitários, em encostas, corpos d'água, lotes vagos e em áreas protegidas por lei, evitando assim, contaminações onde forem depositados. Em 2004, foi criado um conjunto de normas brasileiras que abrangem os resíduos da construção civil (SIMAS, 2004 apud LIMA, 2007). Na prática, o órgão criou responsabilidades para toda a cadeia envolvida: geradores, transportadores, receptores e municípios. Como resultado destas mudanças, teve início um ciclo de novos procedimentos e atividades controladas para fazer valer a regra.

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

Segundo John (1999), 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.

Ângulo et al. (2001) afirmam que a inexistência de marcas de qualidade ambiental de produtos mostra que as empresas brasileiras que eventualmente reciclam não utilizam sua contribuição ambiental como ferramenta de marketing, diferente de outros países. Talvez a causa deste aparente desinteresse seja um receio de que o público consumidor leigo associe o produto reciclado a produto de baixa qualidade.

A reciclagem de entulho pode ser realizada com instalações e equipamentos de baixo custo, mas exige investimentos. Pode ser realizado na própria obra que gera o resíduo, eliminando os custos de transporte. É possível contar com diversas opções tecnológicas, mas todas elas exigem áreas e equipamentos destinados à seleção, trituração e classificação de materiais.

Conforme Ângulo et al. (2002) apud Ulsen (2006), a quantificação do volume de RCD gerados em cidades brasileiras é dificultada pela carência de informações, mas estima-se que no Brasil, seja gerado, em média 500 kg/ano.hab de resíduos de construção, totalizando 68,5 milhões de t/ano para a população brasileira.

No Quadro 2.2 a seguir, John (2000) apud Ulsen (2006) observa que a geração de RCD per capita é maior em países da Europa e no Japão do que no Brasil.

<b>Países</b>	<b>Quantidade (kg/hab)</b>	<b>Período considerado</b>
Suécia	140-680	1996
Holanda	820-1300	--
EUA	460-590	1996
Inglaterra	880-1120	1995-1996
Bélgica	730-3360	1990-1992
Dinamarca	440-2210	--
Itália	600-700	--
Alemanha	960-3660	1994-1996
Japão	780	1995
Portugal	320	anual (exclui solos)
Brasil	230-660	anual (algumas cidades)

**Quadro 2.2**– Estimativo da geração de RCD  
Fonte: John (2000) apud Ulsen (2006).

Segundo Ângulo et al. (2002) apud Ulsen (2006) o consumo de agregados no Brasil é da ordem de  $380 \times 10^6$  t/ano. A reciclagem da fração mineral dos agregados de RCD reciclados atenderia 16,2% desse mercado.

Os RCD representam de 13 a 67% em massa dos resíduos dos sólidos urbanos (RSU) tanto no Brasil como no exterior. Esses resíduos representam ainda cerca de 2 a 3 vezes a massa lixo urbano (ÂNGULO, 2005).

No Quadro 2.3, Ângulo (2000) apud Souza (2006) apresenta os valores percentuais de RCD em relação aos resíduos sólidos gerados em alguns países. Os custos com remoção desses resíduos são cada vez mais altos em função da escassez de locais para sua deposição e aumento das distâncias a serem percorridas durante essa operação. O Brasil aparece no quadro como um dos países que têm alta contribuição de RCD no total de resíduos sólidos, se comparando com os Estados Unidos, Austrália, dentre outros.

<b>Países</b>	<b>RCD (%) em massa</b>	<b>Ano</b>
Países Baixos	26	1996
Austrália	20-30	1994
Estados Unidos	20-39	1998
Alemanha	19	1994
Finlândia	13-15	1994
Brasil	54-57	1999
Inglaterra	17	1997
Holanda	13-30	1998
Bélgica	66	1994
Europa Ocidental	66	1996

**Quadro 2.3**– Participação dos RCD no total de resíduos sólidos em alguns países  
Fonte: Ângulo (2000) apud Souza (2006), modificado (continuação).

Praticamente todos os países no mundo investem num sistema formal de gerenciamento para reduzir as deposições ilegais e sistemáticas que causam assoreamento de rios, entupimento de bueiros, degradação de áreas e esgotamento de áreas de aterros, além de altos custos sócio-econômicos, especialmente em cidades de médio e grande porte. As Ilustrações 2.16 a 2.19 mostram o descarte de entulho de construção em algumas cidades do Brasil.



**Ilustração 2.16-** Deposição irregular de entulho em Belo Horizonte / MG

Fonte: Pinto (1999).



**Ilustração 2.17-** Deposição irregular de entulho em Campo Grande / MS

.Fonte: Pinto (1999).



**Ilustração 2.18-** Obstrução do Córrego dos Meninos entre Sto. André e S. Bernardo / SP

Fonte: Pinto (1999).



**Ilustração 2.19-** Aterramento de várzea em Vitória / BA.

Fonte: Pinto (1999).

Segundo Pinto (1999), a composição dos RCD, varia de país para país, em função da diversidade das tecnologias construtivas utilizadas. Nos países desenvolvidos, as atividades de renovação das edificações, da infra-estrutura e dos espaços urbanos são mais frequentes do que elaboração de construções novas.

No Brasil, a reciclagem de RCD encontra-se muito atrasada, apesar da escassez de agregados nas regiões metropolitanas (SOUZA, 2006).

Quando se analisa uma massa de material descartado pela construção civil, observa-se que, apesar dela ser heterogênea, quase a totalidade desses materiais é de alto valor agregado e de boa resistência mecânica, como por exemplo: areias, pedras britadas, concretos e argamassas endurecidas, tijolos cerâmicos, madeiras e outros materiais, que são potencialmente matérias-primas. Os materiais descartados pela construção civil nas grandes cidades são verdadeiras jazidas de matérias-primas possíveis de serem exploradas (OLIVEIRA et al., 2002 apud SOUZA, 2006). Só na cidade de São Paulo são gerados 17.000 toneladas/dia de RCD com previsão de crescimento de até três vezes em apenas oito anos (FERRAZ, 2004).

O material que sai dos canteiros de obras é composto de 64% de argamassa, 30% de componentes de vedação (tijolo maciço, tijolo furado, telhas e blocos) e 6% de outros materiais como concreto, pedra, areia, materiais metálicos e plásticos (PINTO, 1999).

O entulho pode ser processado por equipamentos conhecidos como “argamasseiras”, que moem o entulho na própria obra, obtendo granulometrias próximas as da areia, podendo então ser usado como agregado para argamassas de assentamento e revestimento. As vantagens deste processo são a utilização do resíduo no local gerador (eliminando o custo do transporte), as características pozolânicas do entulho moído, a redução no consumo do cimento e da cal e muitas vezes, o ganho na resistência à compressão das argamassas (ZORDAN, 1997).

A reciclagem de RCD para argamassas e concretos já foi estudada e tem se mostrado viável em estudos brasileiros do ponto de vista tecnológico e econômico (ÂNGULO et al., 2001).

Conforme Ulsen (2006) existe uma tendência de estudo de aplicação de RCD como agregado reciclado, que pode ser de concreto e/ou de cerâmica. Aplicações mais nobres para estes agregados exigem maior controle de qualidade quanto às suas propriedades físicas e químicas.

Dentro da Resolução nº. 307 (CONAMA, 2002), no Artigo 30 encontra-se a classificação dos resíduos, onde as argamassas de assentamento são consideradas classe A, em que os agregados (resíduos de construção, demolição, reformas, reparos, componentes cerâmicos e peças pré-moldadas) são qualificados como resíduos reutilizáveis ou recicláveis. Na classe B, encontram-se os resíduos recicláveis para outras finalidades, tais como plásticos, papel/papelão, metais, vidros, madeiras e outros. Na classe C estão dispostos os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem/recuperação. Na classe D, encontram-se os resíduos perigosos, tais como tintas, solventes, óleos e outros, ou aqueles contaminados oriundos de demolição, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros.

## 2.7 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO E RESÍDUO UTILIZADOS NA PRESENTE PESQUISA

### 2.7.1 Características físico-mecânicas do solo

O solo utilizado na execução desta pesquisa, o mesmo utilizado por Lima (2007) e Miranda (2007), foi retirado de uma obra em fase de escavação no Setor Oeste, na cidade de Goiânia – GO (Ilustração 2.20). Foi extraído de uma profundidade superior a um metro, a fim

de se evitar coletar solo com excesso de matéria orgânica e após a sua coleta foi levado para o Laboratório de Materiais da Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás e mantido ao ar livre. A classificação granulométrica do solo feita por Miranda (2007) encontrou um solo classificado como argiloso de baixa compressibilidade e de granulação fina, com 48% de argila, 14% de silte e 38% de areia. Em razão da economia de cimento, os solos mais apropriados para o solo-cimento são os que possuem teor de areia entre 45% e 50% (HABITAR, 2007 apud MIRANDA, 2007) estando este com teor de areia um pouco abaixo do recomendado.



**Ilustração 2.20**– Vista aérea do local de retirada do solo  
Fonte: Google Earth (2007).

A Tabela 2.2, apresenta a análise química do solo realizada por Miranda (2007) e mostra a quantificação da matéria orgânica, o resultado da determinação do potencial hidrogeniônico (pH) e os principais componentes químicos presentes no solo.

**Tabela 2.2** - Análise química total do solo

Determinação	Resultado
Matéria orgânica	0,1 %
pH	6,8
Óxido de alumínio ( $Al_2O_3$ )	13,50 %
Óxido de ferro ( $Fe_2O_3$ )	12,00 %

**Tabela 2.2** - Análise química total do solo (continuação)

<b>Determinação</b>	<b>Resultado</b>
Dióxido de silício (SiO <sub>2</sub> )	5,80 %
Óxido de titânio (TiO <sub>2</sub> )	2,40%
Óxido de cálcio (CaO)	0,10 %
Óxido de magnésio (MgO)	0,03 %
Óxido de sódio (Na <sub>2</sub> O)	23 ppm
Óxido de potássio (K <sub>2</sub> O)	140 ppm
Trióxido de enxofre (SO <sub>3</sub> )	80 ppm

Fonte: Miranda (2007).

Grande (2003) afirma que o solo com presença de matéria orgânica sofre ação do meio pela alcalinidade elevada, alterando a sua estabilização como matéria-prima, comprometendo a qualidade do tijolo modular. De acordo com os resultados obtidos na análise do solo observa-se que o mesmo apresenta pequena quantidade de matéria orgânica (0,1%). Como o pH é 6,8 ele se aproxima do ponto de neutralidade, sendo esta uma boa referência, pois solos ácidos têm dificuldade de se estabilizar com cimentos.

Segundo Caputo (1988) apud Miranda (2007), nos solos finos, as argilas se constituem de uma complexa constituição química. As mesmas são formadas basicamente de sílica em forma coloidal (SiO<sub>2</sub>) e sesquióxidos metálicos da forma geral R<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, onde o símbolo R refere-se ao alumínio (Al) e ao ferro (Fe). Nos resultados apresentados na Tabela 2.5, observa-se que os principais constituintes do solo analisado são 12,5 % de óxido de alumínio (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), 12 % de óxido de ferro (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) e 5,8 % de dióxido de silício (SiO<sub>2</sub>).

### **2.7.2 Características físico-mecânicas do resíduo de argamassa de cimento e areia**

O estudo das características físico-químicas e das propriedades dos resíduos por meio de ensaios e métodos apropriados é fundamental para que se faça uma seleção das possíveis aplicações dos mesmos.

O resíduo de argamassa de cimento e areia foi coletado em caçamba de tira-entulho de um canteiro de obras do Setor Cidade Jardim, em Goiânia – GO e é o mesmo utilizado por Lima (2007). Após a coleta, o mesmo foi levado até o laboratório de Furnas para ser triturado

e peneirado, com a finalidade de se eliminar os torrões e grãos com diâmetros superiores a 4,8mm, que é a granulometria adequada para a confecção de tijolos.

Após a britagem, o material triturado e peneirado foi levado para o Laboratório de Materiais da Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás, onde ficou estocado para as pesquisas.

### 2.7.2.1 Análise química do resíduo

Lima (2007) realizou análise química do material e os resultados obtidos foram apresentados na Tabela 2.6.

Comparando-se os compostos apresentados na Tabela 2.2 de análise química do solo com aqueles encontrados na análise química do resíduo (Tabela 2.3) nota-se que todos os compostos presentes no solo também estão presentes no resíduo, com exceção do dióxido de titânio e do trióxido de enxofre.

**Tabela 2.3**– Análise química do resíduo de argamassa de cimento e areia

Propriedades determinadas		Valores encontrados (%)
Análise Química		
Perda ao fogo		13,64
Óxido de magnésio (MgO)		2,28
Dióxido de silício (SiO <sub>2</sub> )		59,91
Óxido de ferro (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )		2,96
Óxido de alumínio (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )		4,97
Óxido de cálcio (CaO)		13,30
Álcalis totais	Óxido de sódio (Na <sub>2</sub> O)	0,57
	Óxido de potássio (K <sub>2</sub> O)	0,78
	Equiv. alcalino	1,09
Álcalis solúveis em água	Óxido de sódio (Na <sub>2</sub> O)	0,07
	Óxido de potássio (K <sub>2</sub> O)	0,04
	Equiv. alcalino	0,10
Sulfato de cálcio (CaSO <sub>4</sub> )		0,00

Fonte: Lima (2007), modificada.

### 2.7.2.2 Análise granulométrica do resíduo

Lima (2007) realizou a análise granulométrica obedecendo às exigências feitas pela NBR 7181 (ABNT, 1984b). O ensaio foi feito com a combinação de peneiramento e sedimentação e determina a curva granulométrica do solo classificando-o.

Com a norma NBR 7180 (ABNT, 1984c), Lima (2007) executou o ensaio de determinação do Limite de Plasticidade e com a norma NBR 6459 (ABNT, 1984d) determinou o Limite de Liquidez. Estes ensaios caracterizam o solo quanto aos índices básicos representativos da plasticidade. Os resultados de todos esses ensaios podem ser encontrados na Tabela 2.4.

**Tabela 2.4**– Características físico-mecânicas do solo, resíduo e solo com resíduo

Parâmetros		Solo	Resíduo	Solo + 10% resíduo	Solo + 15% resíduo	Solo + 30% resíduo
Distribuição granulométrica (%)	Pedregulho (>4,8mm)	0	0	0	0	0
	Areia (0,05-4,8mm)	38,0	76,28	40,92	51,34	63,19
	Silte (0,005-0,05mm)	14,0	12,50	30,14	24,92	19,57
	Argila (<0,005mm)	48,0	11,22	28,94	23,74	17,24
	Porcentagem passante na peneira nº 200 (0,074 mm)	43,28	24,38	50,31	49,77	43,82
Índices físicos (%)	Umidade natural	5,53	0,97	5,94	5,78	4,75
	Massa específica dos grãos (g/cm <sup>3</sup> )	2,71	2,65	2,70	2,70	2,69
	Limite de liquidez	31,70	-	26,81	27,90	26,36
	Limite de plasticidade	20,91	-	19,56	18,21	18,75
	Índice plasticidade	10,79	-	7,25	9,69	7,61
Classificação	Descrição visual do solo	Argila	Areia	Argila	Argila	Argila arenosa
	Unificada	Argila	Areia	Argila	Argila	Areia
	AASHTO	A4	A2	A4	A4	A4

Fonte: Lima (2007).

Conforme a classificação da AASHTO - American Association of State Highway and Transportation Officials – o solo em estudo foi identificado como A4, ou seja, uma areia silto-argilosa, possuindo 48% de argila, 38% de areia e 14% de silte. O resíduo apresenta granulação grossa, classificado como areia argilosa. As composições de solo com resíduo ficaram dentro dos limites de solo argiloso de baixa compressibilidade, de granulação fina. Apesar de a literatura recomendar para a técnica de solo-cimento, solos que possuam 45% a 50% de teor de

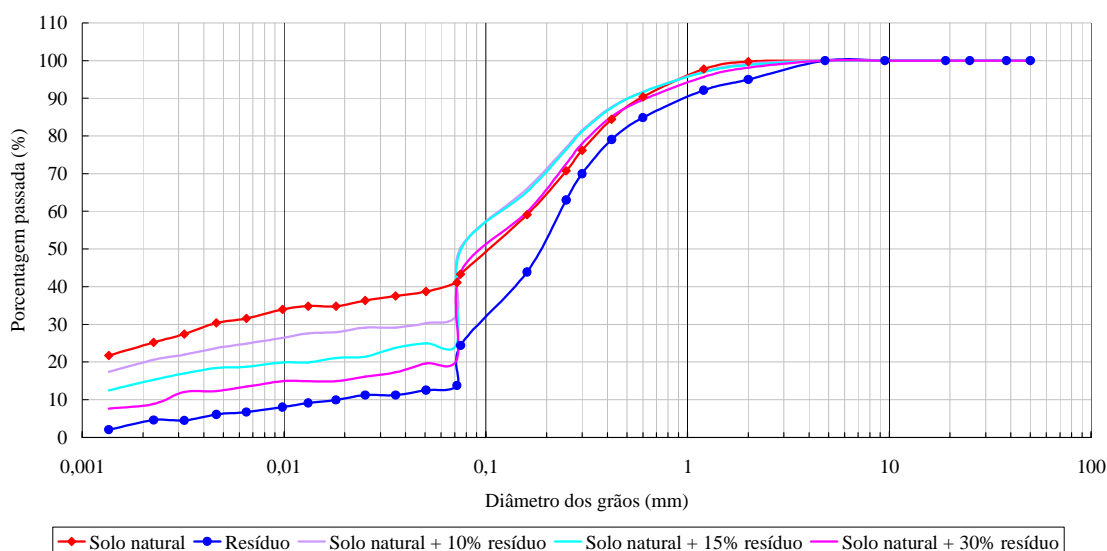
areia, optou-se por não corrigir o solo disponível a fim de verificar se o próprio resíduo faria esta correção.

Os critérios estabelecidos pela seleção do solo na NBR 10832 (ABNT, 1989), destinado a execução de tijolos maciços de solo-cimento, determinam que os grãos do solo devam passar 100% na peneira 4,8 mm e 10% a 50% devem passar na peneira 0,075 mm. De acordo com os resultados obtidos, nota-se que as porcentagens passantes nas peneiras 4,8 mm do solo analisado aproximaram-se das determinações da norma.

Passando pela peneira nº 200 tem-se o solo com 43,28% e o resíduo com 24,38%, sendo considerados então satisfatórios para a composição de solo-cimento.

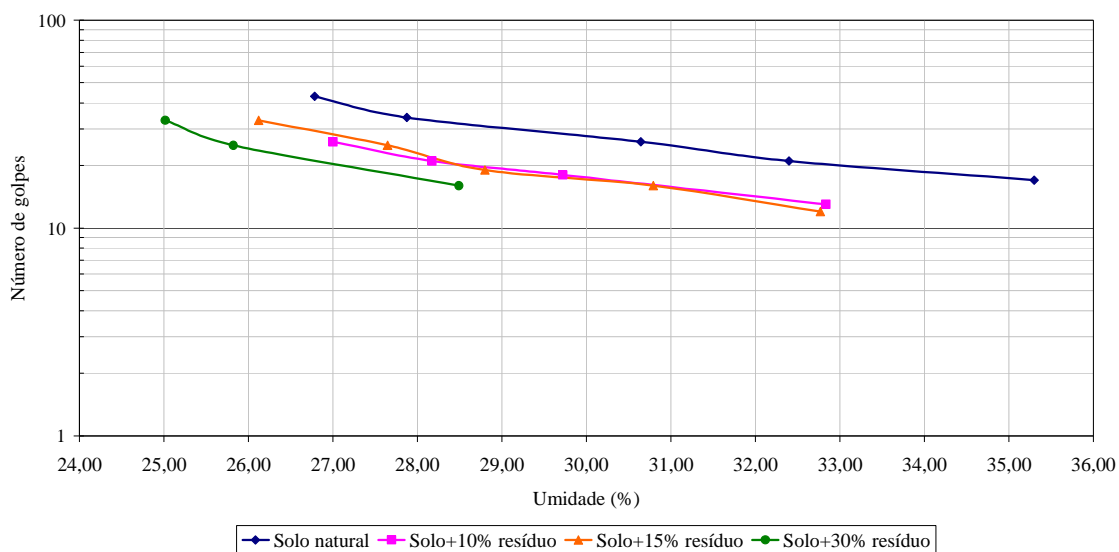
Ao se acrescentar o resíduo no solo, houve um aumento da granulometria, ou seja, quanto maior o porcentual de resíduo, menores quantidades de grãos passaram pelas peneiras 0,075 mm.

Observando-se o Gráfico 2.1 elaborado por Lima (2007) nota-se que o solo natural é o que possui maior quantidade de finos e o resíduo de argamassa de cimento e areia possui granulometria mais grossa, assemelhando-se à areia. À medida que é adicionado o resíduo no solo natural, o material resultante desta mistura vai alterando a curva granulométrica, apresentando características de grãos mais grossos.



**Gráfico 2.1-** Curvas granulométricas das misturas  
Fonte: Lima (2007).

Ao se substituir solo por resíduos nas proporções de 10, 15 e 30% houve uma redução ainda maior do Limite de Liquidez em todas as misturas (Gráfico 2.2).



**Gráfico 2.2-** Limite de Liquidez

Fonte: Lima (2007).

## 2.8 USO DE RESÍDUOS EM SOLO-CIMENTO

Algumas pesquisas com solo-cimento estão sendo elaboradas utilizando várias espécies de resíduos, na busca do melhor desempenho do material, dando também destino aos Resíduos de Construção e Demolição. Muitos desses estudos têm apresentado bons resultados finais.

Khedari et al. (2005) utilizaram em seu estudo resíduos de fibras vegetais de coco na execução de blocos de solo-cimento, com a finalidade de baixar a condutividade térmica do material, o que foi alcançado, reduzindo a transferência de calor para dentro dos edifícios e diminuindo conseqüentemente o consumo interno de ar condicionado. Concluíram que, ao aumentar a quantidade de fibras nas misturas houve um pequeno decréscimo na resistência à compressão encontrada nos blocos. Os resultados obtidos mostraram ainda que, ao se aumentar o percentual das fibras, os blocos ficaram mais leves, tornando assim as fundações mais econômicas.

A idéia de aproveitar os resíduos de argamassa de cimento e areia na composição do solo para a confecção do solo-cimento surgiu em razão de se constatar que o material, após sua britagem, possui características granulométricas que se assemelham às de areia. Sabendo-se que os solos arenosos são os mais indicados para a obtenção de um solo-cimento de qualidade, o acréscimo deste resíduo devidamente triturado ao solo, vem melhorar a granulometria da mistura.

No Brasil, a partir de 1989, iniciaram-se pesquisas usando RCD em obras de pavimentação, sob a supervisão da Prefeitura Municipal de São Paulo, onde os resultados obtidos indicaram que o processo executivo foi facilitado em função de uma melhor homogeneização e menor dispersão da umidade (BODI et al.,1995 apud Ulsen, 2006).Os RCD in natura são comumente usados na manutenção de vias secundárias.

Ao utilizar resíduo de argamassa de cimento em tijolos de solo-cimento, Ferraz e Segantini (2004) verificaram que os resultados dos ensaios de resistência à compressão melhoraram à medida que foram feitas adições de resíduos, atendendo aos requisitos mínimos estabelecidos pelas normas brasileiras. Os ensaios de absorção de água mostraram que o acréscimo destes resíduos promove a diminuição de absorção de água dos tijolos de solo-cimento (Tabela 2.5).

**Tabela 2.5**– Resistência à compressão e absorção dos tijolos.

<b>Traço</b>	<b>Resistência à compressão média (MPa)</b>	<b>Absorção (%)</b>
Solo + 6% de cimento	1,62	17,5
Solo + 8% de cimento	2,31	17,2
Solo + 10% de cimento	2,69	17,0
Solo + 6% de cimento + 20% de resíduo	2,17	17,2
Solo + 8% de cimento + 20% de resíduo	2,77	16,8
Solo + 10% de cimento+ 20% de resíduo	3,25	16,4
Solo + 6% de cimento + 40% de resíduo	3,23	12,9
Solo + 8% de cimento + 40% de resíduo	3,72	12,6
Solo + 10% de cimento+ 40% de resíduo	4,12	12,4

Fonte: Ferraz e Segantini (2004), modificada

Lima (2007) concluiu em seus estudos com resíduo de argamassa de cimento e areia em tijolos de solo-cimento que as composições de melhor resistência foram compostas por 10% de cimento e com 15% e 30% de resíduo tendo em vista o uso racional do cimento e o máximo uso do resíduo. Para os ensaios de absorção os melhores valores foram obtidos nesta mesma composição solo-cimento-residuo (Tabela 2.6).

**Tabela 2.6-** Determinação da resistência à compressão e absorção de água dos tijolos com 10% de cimento

<b>Resíduo (%)</b>	<b>Idade (dia)</b>	<b>Ordem</b>	<b>Resistência à Compressão (MPa)</b>	<b>Média Aritmética (MPa)</b>	<b>Absorção (%)</b>	<b>Média Aritmética (%)</b>
0	7	1	1,31	1,43	16,93	19,16
		2	1,31		22,29	
		3	1,66		18,27	
	28	1	2,19	2,04	-	-
		2	2,08		-	
		3	1,85		-	
10	7	1	1,30	1,67	22,42	23,83
		2	1,87		23,45	
		3	1,86		25,62	
10	28	1	1,99	1,92	-	-
		2	1,97		-	
		3	1,80		-	
15	7	1	1,80	1,80	-	-
		2	1,66		-	
		3	1,95		-	
	28	1	2,01	1,85	-	-
		2	1,79		-	
		3	1,75		-	
30	7	1	1,44	1,82	9,57	12,50
		2	1,00		17,55	
		3	1,16		10,38	
	28	1	1,84	1,85	-	-
		2	1,71		-	
		3	2,00		-	

Dimensões médias dos tijolos furados (cm): 25,0 x 12,5 x 6,25 (comprimento x largura x altura)  
com 02 furos de diâmetro = 5 cm.  
Fonte: Lima (2007), modificada.

Pesquisas realizadas por Souza (2006) mostraram que ao se adicionar Resíduos de Concreto (RC) à mistura de solo-cimento para a fabricação de tijolos as características

granulométricas do solo usado nos ensaios melhoraram propiciando condições técnicas favoráveis na confecção dos blocos e também redução no consumo de cimento. A resistência à compressão aumentou em função do aumento da quantidade de RC, para os traços de até 40% de RC em relação à massa de solo. Para os traços com 60% de RC os valores de resistência ficaram próximos dos obtidos com 40% de RC, indicando haver estabilização no aumento da resistência para adições entre 40% e 60% de RC. O acréscimo de RC também promoveu a redução nos valores de absorção, melhorando assim a qualidade dos tijolos executados com este tipo de resíduo (Tabela 2.7).

**Tabela 2.7**– Resistência média à compressão nos tijolos de solo-cimento

Traço	Resistência Média (MPa)				
	07 dias	28dias	56 dias	120 dias	240 dias
solo + 6% de cimento	1,60	3,40	4,11	4,70	4,84
solo + 8% de cimento	2,31	4,20	5,03	6,63	6,80
solo + 10% de cimento	2,69	5,57	7,30	7,71	7,96
solo + 6% de cimento+ 20% de resíduo	2,50	3,74	4,15	5,02	5,49
solo + 8% de cimento+ 20% de resíduo	2,89	4,74	5,34	7,21	7,35
solo + 10% de cimento+ 20% de resíduo	3,21	5,93	7,43	8,26	8,62
solo + 6% de cimento+ 40% de resíduo	2,78	4,39	4,94	5,81	6,03
solo + 8% de cimento+ 40% de resíduo	3,03	5,18	6,23	8,14	8,22
solo + 10% de cimento+ 40% de resíduo	3,74	6,86	8,12	9,31	9,93
solo + 6% de cimento+ 60% de resíduo	2,78	4,64	4,94	5,73	6,07
solo + 8% de cimento+ 60% de resíduo	3,08	5,09	6,44	8,02	8,23
solo + 10% de cimento+ 60% de resíduo	3,86	6,96	7,97	9,80	9,93

Fonte: Souza (2006), modificada.

Miranda (2007) ao utilizar resíduo gerado no beneficiamento do mármore e granito em tijolos de solo-cimento, verificou que o emprego do mesmo possibilita a economia de cimento. Em sua pesquisa, conforme mostra Tabela 2.8, foi observado que seus resultados, quanto à resistência à compressão, foram satisfatórios com o acréscimo do resíduo, utilizando vários teores de cimento. Quanto aos ensaios de absorção de água foram notadas variações muito pequenas com o acréscimo dos mesmos resíduos. Concluiu-se, portanto, que o resíduo possibilitou condições técnicas favoráveis para se produzir tijolos prensados de solo-cimento com qualidade.

**Tabela 2.8-** Determinação da resistência à compressão dos tijolos com 10% de cimento

<b>Resíduo (%)</b>	<b>Idade (dia)</b>	<b>Ordem</b>	<b>Grau de compactação (%)</b>	<b>Resistência à Compressão (MPa)</b>	<b>Média Aritmética (MPa)</b>
0	7	7	99,80	3,46	3,57
		8	100,18	3,63	
		9	99,90	3,60	
0	28	10	100,29	4,03	3,90
		11	99,86	3,96	
		12	100,03	3,69	
10	7	7	97,76	3,63	3,72
		8	100,54	4,16	
		9	100,38	3,37	
	28	10	100,45	3,35	3,07
		11	100,63	3,23	
		12	100,76	2,65	
15	7	7	100,05	3,11	2,93
		8	100,20	2,92	
		9	99,67	2,75	
	28	10	100,06	3,46	3,18
		11	100,15	3,26	
		12	99,71	2,83	
30	7	7	100,00	3,40	3,30
		8	100,48	3,00	
		9	100,52	3,50	
	28	10	100,31	3,29	3,23
		11	99,95	3,15	
		12	100,20	3,24	

Dimensões médias dos tijolos (cm): 23,0 x 11,0 x 6,0 (comprimento x largura x altura).

Fonte: Miranda (2007) modificada.

## 2.9 ADITIVOS PLASTIFICANTES

Os aditivos plastificantes são aditivos líquidos, prontos para o uso, adicionados em pequenas quantidades a concretos de cimento Portland modificando algumas de suas propriedades, com objetivo de melhor adequá-los a determinadas condições, elevando assim a qualidade de seu desempenho.

Aditivos plastificantes são produtos isentos de cloretos e usados diluídos na água de amassamento do concreto conferindo ao mesmo, maior plasticidade. É importante que sua proporção em relação à quantidade de cimento seja pequena e que, quando for feita a sua dissolução prévia na água de amassamento, também seja verificada sua homogeneização. Alguns deles podem ser empregados na fabricação de blocos que, ao reduzir a quantidade de água, tornam esses blocos mais resistentes.

Os aditivos plastificantes podem ocasionar o aumento da fluidez sem aumento da água, podem reduzir o teor de água para obter uma determinada consistência (com os aditivos redutores de água), reduzindo a relação água/cimento ou ainda o consumo do cimento. Estes produtos têm seu período de eficiência bem limitado, pois logo após o início das reações de hidratação, compostos já se formam e estes aprisionam os tensoativos. Quando usado em excesso acontece um retardo demasiado da pega.

Para a execução de tijolos de solo-cimento com emprego de plastificantes é necessária a aplicação de aditivo na forma líquida na água de amassamento das misturas. Após a elaboração das misturas, os tijolos deverão ser submetidos à prensagem com a finalidade de empacotar os grãos, da mesma forma que são feitos os tijolos tradicionais de solo-cimento. O tempo de cura desses tijolos deverá ser respeitado para que se obtenham resultados satisfatórios.

## 2.10 USO DE TIJOLOS EM MODULAÇÃO

A alvenaria de vedação tradicional, que é a mais utilizada hoje nas edificações, caracteriza-se por apresentar soluções construtivas improvisadas, tijolos recortados para passagem de instalações, seguidos por remendos de argamassa para preenchimento dos vazios e ainda por desperdício de materiais.

Sabe-se que os desperdícios provocados pelo sistema convencional encarecem a construção. Baseado em um dos objetivos desta pesquisa, que é de diminuir os danos ao meio ambiente por meio da economia de materiais, optou-se por apresentar um sistema construtivo modular, em que os tijolos são assentados apenas com um filete de argamassa ou cola, reduzindo também o tempo de construção da obra.

A palavra “módulo” tem origem no latim *modulu*. Segundo Ferreira (1999) apud Greven e Baldaulf (2007) módulo pode ser definido como medida reguladora das proporções de uma obra arquitetônica; ou ainda como quantidade que se toma como unidade de qualquer medida.

O uso do módulo na Arquitetura pode ser observado na Grécia, sob caráter estético, em Roma, sob caráter estético-funcional e no Japão, sob caráter funcional.

Com o advento da industrialização, ocorrida em vários setores no século XX, a construção civil também passou por uma profunda revisão, onde profissionais da área iniciaram vários estudos a respeito da pré-fabricação e, conseqüentemente, da Coordenação Modular (CHEMILLIER, 1980 apud GREVEN e BALDAULF, 2007).

Os primeiros estudos brasileiros sobre Coordenação modular aconteceram em 1946, no Rio de Janeiro baseados na norma francesa publicada em 1942. Em 1950, foi publicada a norma NB-25R: Modulação das Construções que posicionou o Brasil como um dos primeiros países a estudar e possuir uma norma sobre o assunto. Infelizmente os estudos iniciados nesta data não tiveram continuidade e hoje a modulação é muito pouco empregada aqui. Os países industrializados da Europa e da América do Norte, que adotaram a Coordenação modular nas décadas de 50 e 60, seguem atualmente utilizando-a no dia-a-dia da construção civil, desde o projeto de seus componentes, passando pela formação dos profissionais nas Universidades e chegando aos canteiros de obras.

O aprimoramento dos equipamentos para a fabricação de tijolos de solo-cimento tem contribuído para a racionalização das técnicas de construção, possibilitando a elaboração de projetos com maior qualidade, permitindo o uso da técnica inclusive em obras de padrão mais sofisticado. Podem ser produzidos tijolos maciços, tijolos modulares com encaixe, canaletas, placas de revestimento e até elementos decorativos (Ilustração 2.21).



**Ilustração 2.21-** Tijolos modulares e peças acessórias para uso da técnica  
Fonte: [www.lapintijolos.com.br](http://www.lapintijolos.com.br)

### 2.10.1 Coordenação modular

Alguns autores acreditam que a Modulação não deve ser vista apenas como um instrumento de projeto e, sim também como uma metodologia sistemática de industrialização.

A utilização da Coordenação modular, relacionada à sustentabilidade, traz um melhor aproveitamento dos componentes construtivos e, em consequência disto, traz também a otimização de consumo de matérias-primas, de consumo energético para a produção desses componentes e, por fim, de sobras desses componentes em função dos inúmeros cortes que sofrem na etapa da construção (GREVEN; BALDAULF, 2007).

A Coordenação modular tem como objetivo a racionalização da construção. Todas as etapas do processo construtivo ficam envolvidas. Os componentes da construção passam por uma padronização dimensional, a partir da qual tem as mesmas características dimensionais, e por uma redução da variedade de tipos mediante o emprego de medidas preferidas a serem escolhidas na série de medidas preferíveis. A produção dos componentes é seriada, e não mais sob medida. O processo traz aumento da produtividade e uma conseqüente redução de custos, objetivos sempre buscados pela construção civil.

O projeto de arquitetura é um ponto muito importante na definição do módulo a ser adotado. Modular a alvenaria é projetar utilizando uma unidade modular que é definida por três dimensões principais: comprimento, largura e altura. O comprimento e a largura determinam o módulo horizontal, ou o módulo em planta. A altura determina o módulo vertical a ser adotado nas elevações. É importante que o comprimento ou largura sejam iguais ou múltiplos para que se tenha um único módulo em planta. Com isto a amarração das paredes será simplificada e o sistema construtivo será racionalizado (RAMALHO; CORRÊA, 2003, p.13).

A norma NBR 5706 (ABNT, 1977) define Coordenação modular como uma técnica que permite relacionar as medidas de projeto com as medidas modulares por meio de um reticulado espacial modular de referência. É feito aí, um ajuste modular. O reticulado modular de referência deve ser empregado em cada uma das três etapas da construção: no projeto, na fabricação de seus componentes e como guia para colocação no local da construção. Quando se trabalha com Coordenação Modular, consideram-se as medidas “em osso” para o posicionamento dos componentes. Também chamado de módulo-base, o módulo é universalmente representado por “M” e desempenha três funções essenciais:

- É o denominador comum de todas as medidas ordenadas;
- É o incremento unitário de toda e qualquer dimensão modular, a fim de que a soma ou a diferença de duas dimensões modulares também seja modular; e

- É um fator numérico, expresso em unidades do sistema de medida adotado ou a razão de uma progressão.

Além do módulo-base são necessários multimódulos e submódulos. Os multimódulos são aqueles  $nM$  onde  $n$  é um número positivo inteiro qualquer e os submódulos são aqueles que, por sua natureza são obrigatoriamente inferiores que o Módulo como, por exemplo, espessuras de painéis, certos tipos de tubos e de perfis. Eles são representados por  $M/n$  e nunca devem ser adotados como módulo-base.

Nas alvenarias de tijolos modulares devem ser evitados os improvisos e para isto é necessário que os projetos sejam bem planejados.

A produção dos tijolos de solo-cimento em prensas manuais ou hidráulicas oferece vantagens de obter medidas precisas, facilitando assim a modulação. A possibilidade de usar os furos dos tijolos (Ilustração 2.22) para instalações hidráulicas, elétricas, telefônicas e ainda para passagem de ferros assumindo assim o papel estrutural das edificações agrega ainda mais valor ao produto. Esses furos contribuem ainda para redução de peso do mesmo. É necessário que no ato da execução não haja cruzamento das instalações para não inviabilizá-la.



**Ilustração 2.22-** Tijolos modulares  
(dimensões 25,0 x 12,5 x 6,25 cm).

Ao se pensar na planta arquitetônica, deve-se estar atento para a coordenação de todos os projetos necessários para a execução da obra. A perfeita compatibilidade dos projetos de arquitetura, estrutural e de instalações é essencial ao desenvolvimento de uma modulação perfeita. O projeto elétrico deve considerar os furos existentes nos tijolos para a passagem de eletrodutos. O hidro-sanitário deve observar os furos ao posicionar as prumadas de água e esgoto e a localização de ramais hidráulicos assim como o estrutural deve considerar os furos, suas posições e tamanhos para posicionamento de ferros e posteriormente dos pilares.

É importante saber que as dimensões e a localização das portas, janelas e shafts para instalações hidro-sanitárias deverão ser estudadas em função do módulo adotado e antes da conclusão do posicionamento final dos tijolos.

O projeto arquitetônico modular deve conter uma planta baixa com a numeração das paredes, plantas da primeira e segunda fiadas de tijolos, paginação ou elevação de cada parede, definição quanto ao uso de vergas e contravergas. Todas as paredes de um projeto devem ser detalhadas separadamente.

Podem ser três as posições do componente em relação ao reticulado modular de referência e estas serão escolhidas em função de necessidades técnicas e econômicas, que determinará qual será a mais conveniente. As posições são:

- Posição simétrica – componente com eixo posicionado sobre a linha do reticulado modular de referência, facilitando na prática, a marcação da obra (Ilustração 2.23).



**Ilustração 2.23-** Tijolos modulares Componentes em posição simétrica em relação à linha do reticulado modular de referência.

Fonte: Greven e Baldauf, 2007.

- Posição assimétrica – componente terá seu eixo posicionado de forma deslocada em relação à linha do reticulado modular de referência, mas essa excentricidade deve ser de preferência, submodular (Ilustração 2.24).



**Ilustração 2.24** – Componentes em posição assimétrica em relação à linha do reticulado modular de referência.

Fonte: Greven e Baldauf, 2007.

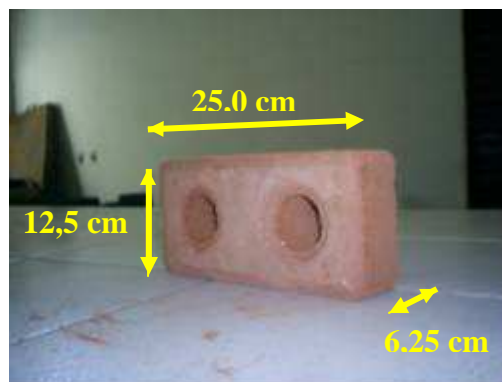
- Posição lateral – componente terá uma de suas faces posicionada lateralmente em relação à linha do reticulado modular de referência (Ilustração 2.25).



**Ilustração 2.25** – Componentes em posição lateral em relação à linha do reticulado modular de referência.  
Fonte: Greven e Baldauf, 2007

### 2.10.2 Projeto modular horizontal

Para iniciar a modulação em planta baixa é preciso que alguns parâmetros sejam definidos, como por exemplo, o tamanho do tijolo. A partir dessas medidas é definida a unidade modular, que será o ponto de partida para o estudo da planta baixa. Assim as dimensões internas dos ambientes em planta devem ser múltiplas da unidade modular. O módulo proposto pela pesquisa é de 25,0 x 12,5 x 6,25 cm (Ilustração 2.26).

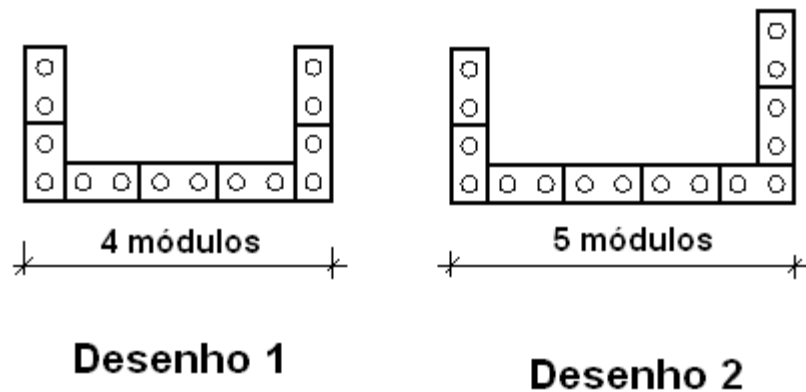


**Ilustração 2.26-** Tijolo modular de solo-cimento

É necessária ainda a utilização de tijolos especiais (o meio tijolo e o tijolo e meio) para o fechamento de vãos e nas ligações entre paredes tanto em cantos como em bordas. O ideal é iniciar o projeto pelos encontros em “L” ou “T”, fechando depois os vãos das alvenarias. Para se começar o projeto e definir a primeira fiada de tijolos é preciso conhecer alguns conceitos, tais como:

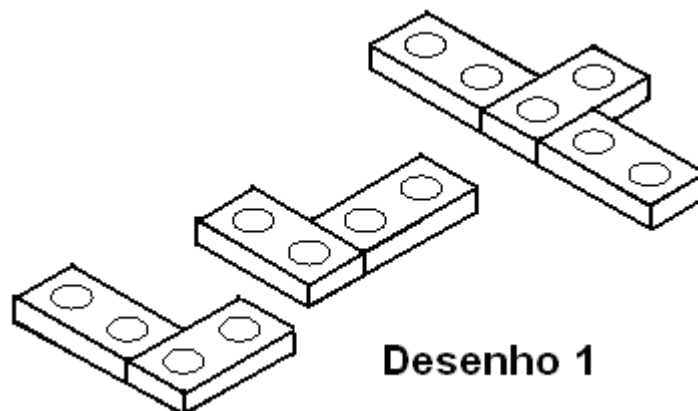
- Os tijolos usados em modulação podem estar paralelos ou perpendiculares entre si, sendo estas definições tomadas em relação a eixos segundo o comprimento das peças;
- Quando a dimensão entre tijolos de canto ou borda vizinhos é um número par vezes o módulo, os tijolos se apresentarão paralelos (desenho 1- Ilustração 2.27);

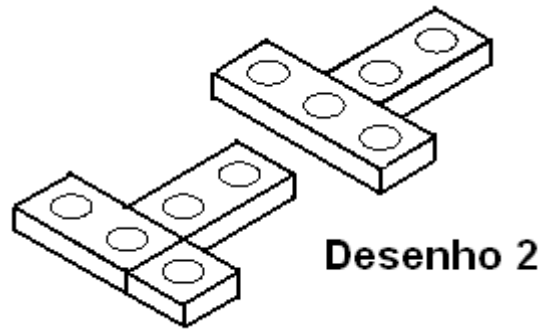
- Quando a dimensão for um número ímpar vezes o módulo os tijolos se apresentarão perpendiculares (desenho 2- Ilustração 2.27);
- Depois de definir a primeira fiada, para se estudar as subseqüentes, é preciso se evitar as juntas a prumo, sempre defasando as mesmas.



**Ilustração 2.27**– Interações entre os tijolos  
Fonte: Ramalho e Corrêa, 2003.

- O ideal é que as paredes tenham sempre medidas múltiplas do módulo para que suas bordas e cantos sejam perfeitos (desenho 1- Ilustração 2.28);
- Às vezes se torna necessário o uso de meio tijolo (meio módulo) e um tijolo e meio (um módulo e meio) para se obter um perfeito fechamento das paredes, em consequência da existência de vãos (desenho 2- Ilustração 2.28).





**Ilustração 2.28**– Detalhes dos cantos das paredes  
Fonte: Ramalho e Corrêa, 2003.

### 2.10.3 Projeto modular vertical

A modulação vertical raramente provoca mudanças significativas no arranjo arquitetônico. Ela é mais simples, pois se trata apenas de ajustar a distância de piso e teto para que seja um múltiplo do módulo vertical a ser adotado.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Os experimentos desta pesquisa foram desenvolvidos no Laboratório de Materiais de Construção, no Laboratório de Solos, ambos na Escola de Engenharia Civil (EEC/UFG), e ainda no Laboratório de Máquinas Agrícolas da Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos (EA/UFG).

#### 3.1 MATERIAIS

##### 3.1.1 Solo

O solo utilizado neste estudo foi o mesmo empregado por Lima (2007) em sua pesquisa e foi coletado em uma obra em fase de escavação no Setor Oeste, na cidade de Goiânia – GO. Foi extraído de uma profundidade superior a um metro, evitando assim, coletar solo com excesso de matéria orgânica. Após a coleta, o solo foi levado para o Laboratório de Materiais da Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás, onde foi mantido ao ar livre. Apresenta-se na Ilustração 3.1 uma amostra do solo utilizado na pesquisa.

Antes de ensacá-lo, foi feita uma secagem prévia ao ar livre, em local coberto e protegido das precipitações. Os torrões foram desmanchados e então, o solo foi passado pela peneira de 4,8mm, sendo acondicionado em sacos plásticos, onde ficou aguardando o momento de sua utilização. Desses sacos de solo foram retiradas amostras para obtenção de suas umidades higroscópicas.



**Ilustração 3.1**– Amostra do solo utilizado na fabricação de tijolos

### 3.1.2 Resíduo de argamassa de cimento e areia

O resíduo de argamassa de cimento e areia foi coletado por Lima (2007) em uma caçamba de tira-entulho de um canteiro de obras de um edifício em construção do Setor Cidade Jardim, em Goiânia – GO.

Após a coleta, o resíduo foi levado até o Laboratório do Departamento de Apoio e Controle Técnico de Furnas Centrais Elétricas S.A, em Aparecida de Goiânia, onde foi triturado e peneirado, a fim de se eliminar os torrões e grãos com diâmetros superiores a 4,8 mm, que é a granulometria adequada para a confecção de tijolos.

Após a britagem, o material foi levado para o Laboratório de Materiais da Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás, onde foi estocado para a pesquisa. A Ilustração 3.2 apresenta uma amostra do resíduo de argamassa de cimento e areia.



**Ilustração 3.2**– Amostra do resíduo de argamassa de cimento e areia utilizado.

### 3.1.3 Cimento

Como no estudo de Lima (2007), o cimento usado nos ensaios de compactação e na fabricação dos tijolos foi o cimento Portland composto com filler, CP II -F-32, da marca Goiás, adquirido em estabelecimento comercial no ramo da construção.

### 3.1.4 Água

A água utilizada nos ensaios de compactação e na confecção dos tijolos foi coletada na rede pública de abastecimento da cidade de Goiânia – GO.

### 3.1.5 Aditivo plastificante

O aditivo plastificante empregado foi o RHEOMIX 610 fabricado pela empresa BASF. As dosagens usuais do aditivo empregado em concretos, determinadas pelo fabricante,

variam entre 0,1 e 0,3 litros por 100 kg de cimento, adicionadas à água de amassamento. A escolha inicial foi a de 0,1 litros/100 kg de cimento, para que seu custo não onerasse a produção dos tijolos. Além dos traços inicialmente propostos, foi feito também um traço (solo + 20% de resíduo + 10% de cimento), com a dosagem do plastificante modificada para 0,2 litros por 100 kg de cimento, para que fosse avaliado o comportamento do material, ao se dobrar a quantidade de aditivo na maior dosagem de resíduo utilizada na pesquisa.

### 3.1.6 Equipamentos de laboratório

Para a realização dos ensaios de compactação foram utilizados equipamentos do Laboratório de Solos da Escola de Engenharia Civil (EEC/UFG). Na fabricação dos tijolos foi empregada uma prensa manual da marca Gutward. Para tanto foram usadas as dependências do Laboratório de Máquinas Agrícolas da Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos (EA/UFG). Os ensaios de compressão simples e os de absorção foram realizados com auxílio dos equipamentos do Laboratório de Materiais da Escola de Engenharia Civil (EEC/UFG).

A Ilustração 3.3 mostra alguns equipamentos utilizados no ensaio de compactação: cilindro de Proctor, o extrator e a balança.



**Ilustração 3.3**– Equipamentos usados no ensaio de compactação.

A Ilustração 3.4 mostra a prensa manual onde foram feitos os tijolos de solo-cimento, com dimensões são de 25,0 x 12,5 x 6,25 cm. Sua capacidade de fabricação é de dois tijolos por vez.



**Ilustração 3.4**– Prensa manual empregada.

A Ilustração 3.5 apresenta a balança, da marca Marte, empregada na pesagem do material para a fabricação dos tijolos.

A Ilustração 3. 6 mostra a máquina universal de ensaios de compressão simples, usada para os prismas dos tijolos que possui dispositivo de velocidade de carregamento e capacidade de 200 MPa.



**Ilustração 3.5**– Balança



**Ilustração 3.6**– Máquina universal.

A Ilustração 3.7 exhibe a balança, da marca Bel, empregada na pesagem dos tijolos para o ensaio de absorção de água e a Ilustração 3.8 apresenta a estufa universal, da marca Fabbe-Primar utilizada para a secagem dos tijolos.



**Ilustração 3.7**– Balança



**Ilustração 3.8**– Estufa universal.

## 3.2 MÉTODOS

### 3.2.1 Resíduos de argamassa de cimento e areia

A caracterização dos resíduos e sua análise química foram feitas por Lima (2007) segundo as recomendações feitas pela ABNT e já apresentadas na revisão bibliográfica.

### 3.2.2 Estudo e definição das dosagens das misturas de solo-cimento-resíduo

Foram usadas na composição das misturas, porcentagens diferentes de solo e de resíduo com a substituição do solo pelo resíduo nas porcentagens de 5%, 10%, 15% e 20%. O cimento foi adicionado na porcentagem de 10% em relação à massa total da mistura.

Com o intuito de investigar a influência do aditivo plastificante nas propriedades dos tijolos de solo-cimento, foram repetidas as mesmas composições de solo-cimento- resíduo acrescentando à sua água de amassamento o aditivo.

As composições equivalentes, em porcentagem, de cada material seco em relação à massa total e a quantidade de aditivo utilizada estão apresentadas na Tabela 3.1.

**Tabela 3.1**– Composição dos tijolos com 10% de cimento

Composição		Solo (%)	Resíduo (%)	Cimento (%)	Soma (%)	Aditivo plastificante (ml/tijolo)
<b>SEM ADITIVOS</b>	Solo Natural ( <b>SN</b> )	90,9	-	9,1	100	-
	Solo + 5% de resíduo ( <b>S<sub>5</sub>R</b> )	86,4	4,5	9,1	100	-
	Solo + 10% de resíduo ( <b>S<sub>10</sub>R</b> )	81,8	9,1	9,1	100	-
	Solo + 15% de resíduo ( <b>S<sub>15</sub>R</b> )	77,3	13,6	9,1	100	-
	Solo + 20% de resíduo ( <b>S<sub>20</sub>R</b> )	72,7	18,2	9,1	100	-

**Tabela 3.1**– Composições da massa dos tijolos com 10% de cimento (continuação)

Composição		Solo (%)	Resíduo (%)	Cimento (%)	Soma (%)	Aditivo plastificante (ml/tijolo)
<b>COM ADITIVOS</b>	Solo Natural ( <b>SNA</b> )	90,9	-	9,1	100	0,26
	Solo + 5% de resíduo ( <b>S<sub>5</sub>RA</b> )	86,4	4,5	9,1	100	0,26
	Solo + 10% de resíduo ( <b>S<sub>10</sub>RA</b> )	81,8	9,1	9,1	100	0,26
	Solo + 15% de resíduo ( <b>S<sub>15</sub>RA</b> )	77,3	13,6	9,1	100	0,26
	Solo + 20% de resíduo ( <b>S<sub>20</sub>RA</b> )	72,7	18,2	9,1	100	0,26
	Solo + 20% de resíduo ( <b>S<sub>20</sub>RAA</b> )	72,7	18,2	9,1	100	0,52

Nos estudos de Lima (2007), foram feitas substituições de 10%, 15% e 30% de solo por resíduos de argamassa de cimento e areia onde foram obtidos resultados que não esclareceram o comportamento dos tijolos, quanto à sua resistência à compressão, na substituição de 5% e de 20% por resíduos. Por esse motivo, nesta pesquisa, foram estudadas, composições feitas por solo natural sem substituição por resíduo e com substituição de 5%, 10%, 15% e 20% por resíduo em relação à massa do solo, empregando-se em cada composição 10% de teor de cimento em relação à massa da mistura solo/resíduo, totalizando cinco composições. A Tabela 3.2 apresenta a quantidade de tijolos que foram moldados.

**Tabela 3.2**– Quantidade total de tijolos moldados e ensaiados

Composição	Quantidade de tijolos - 10% de cimento				Total
	Compressão		Absorção		
	7 dias	28 dias	7 dias	28 dias	
<b>SN</b>	3	3	3	3	12
<b>S<sub>5</sub>R</b>	3	3	3	3	12
<b>S<sub>10</sub>R</b>	3	3	3	3	12
<b>S<sub>15</sub>R</b>	3	3	3	3	12
<b>S<sub>20</sub>R</b>	3	3	3	3	12
<b>SNA</b>	3	3	3	3	12
<b>S<sub>5</sub>RA</b>	3	3	3	3	12
<b>S<sub>10</sub>RA</b>	3	3	3	3	12

**Tabela 3.2**– Quantidade total de tijolos moldados e ensaiados (continuação)

Composição	Quantidade de tijolos - 10% de cimento				Total
	Compressão		Absorção		
	7 dias	28 dias	7 dias	28 dias	
<b>S<sub>15</sub>RA</b>	3	3	3	3	12
<b>S<sub>20</sub>RA</b>	3	3	3	3	12
<b>S<sub>20</sub>RAA</b>	3	3	3	3	12
<b>TOTAL</b>	33	33	33	33	132

Com a finalidade de se determinar os valores de umidade ótima e massa específica aparente seca máxima foram realizados ensaios de compactação segundo as recomendações da norma NBR 12023 (ABNT, 1992b).

Após obter os valores de umidade ótima para cada composição foram calculadas as quantidades de água a serem adicionadas ao solo. Conhecendo-se a umidade higroscópica de cada saco de armazenagem foram feitos os cálculos com as quantidades de materiais a serem utilizados. O conhecimento da umidade ótima de cada mistura permite que, ao se fazer a massa para a confecção dos tijolos, se adicione a quantidade de água ideal, já que seu excesso impede a compactação correta e favorece o aparecimento de fissuras por contração no período de cura. A mistura deve ser preparada e usada imediatamente, não devendo se preparar mais massa que a necessária para duas horas de trabalho (ICPA, 1991).

### 3.2.3 Cálculo do material para execução dos tijolos

Os ensaios de compactação, realizados conforme a norma NBR 12023 (ABNT, 1992) forneceram os valores de umidade ótima (%), a massa específica aparente seca ( $\text{g/cm}^3$ ), a massa específica aparente úmida ( $\text{g/cm}^3$ ) e a umidade higroscópica do solo (%). Conhecendo-se as dimensões do recipiente da prensa que produziu os tijolos (25 x 12,5 x 6,25 cm com dois furos de 5,0cm de diâmetro) foi calculado o seu volume cujo valor é  $1776 \text{ cm}^3$ .

Os dados obtidos no ensaio de compactação associados à formulação apresentada a seguir, possibilitaram a execução dos cálculos dos materiais usados para a confecção dos tijolos.

a. Massa da Amostra Compactada – ( $M_h$ )

$$\gamma_s = \frac{M_h \times 100}{V(100 + h)} \quad (3.1)$$

Onde:

$M_h$  é a Massa da Amostra Compactada;

$\gamma_s$  é a Massa Específica Seca;

$V$  é o Volume do recipiente e

$h$  é a Umidade Ótima.

b. Determinação da Massa da Mistura Seca – ( $M_s$ )

$$M_s = \frac{M_h}{(1 + h)} \quad (3.2)$$

Onde:

$M_s$  é Massa de Mistura Seca (massa de solo seco + cimento)

c. Determinação da massa de solo com umidade higroscópica ( $M_{solo,hig.}$ )

$$M_{solo,hig} = M_s * (h_{hig} + 1) \quad (3.3)$$

Onde:

$M_s^*$  é a massa de solo seco (massa da mistura seca - cimento)

$h_{hig}$  é a umidade higroscópica do solo

Logo, a massa da água contida no solo com umidade higroscópica ( $M_{água,hig}$ ) é dada por:

$$M_{água,hig} = M_{solo,hig} - M_s^* \quad (3.4)$$

d. Massa da água a adicionar ( $M_{água,adic}$ )

$$M_{água,adic} = \frac{h}{100} M_s - M_{água,hig} \quad (3.5)$$

Raciocínio semelhante é feito para as composições com o resíduo.

Por meio da formulação apresentada foram calculadas as quantidades de materiais necessárias para a confecção dos tijolos para cada composição.

### 3.2.3.1 Composição SN

Para a determinação da massa da Mistura Seca ( $M_s$ ) nesta composição aplicou-se a equação (3.2). com isto, obtiveram-se as seguintes quantidades:

$$\text{Solo seco} = 0,9091 \times M_s$$

$$\text{Cimento} = 0,09091 \times M_s$$

### 3.2.3.2 Composição S5R

Para a determinação da massa da Mistura Seca ( $M_s$ ) nesta composição aplicou-se a equação (3.2) e obteve-se um resultado que também é a soma do solo seco, do resíduo e do cimento formada por:

$$\text{Solo seco} = 0,8636 \times M_s$$

$$\text{Resíduo} = 0,045 \times M_s$$

$$\text{Cimento} = 0,09091 \times M_s$$

### 3.2.3.3 Composição S10R

De maneira semelhante, obtiveram-se para esta composição:

$$\text{Solo seco} = 0,8181 \times M_s$$

$$\text{Resíduo} = 0,09091 \times M_s$$

$$\text{Cimento} = 0,09091 \times M_s$$

### 3.2.3.4 Composição S15R

Foram obtidas as seguintes quantidades:

$$\text{Solo seco} = 0,773 \times M_s$$

$$\text{Resíduo} = 0,136 \times M_s$$

$$\text{Cimento} = 0,09091 \times M_s$$

### 3.2.3.5 Composição S20R

Foram obtidos as quantidades:

$$\text{Solo seco} = 0,727 \times M_s$$

$$\text{Resíduo} = 0,1818 \times M_s$$

$$\text{Cimento} = 0,09091 \times M_s$$

Com estes dados foi possível calcular a quantidade de materiais secos a serem usados na composição de cada mistura. Para o cálculo da água a ser adicionada foram usadas as

equações 3.3, 3.4 e 3.5, conhecendo-se a umidade ótima para cada composição e a água existente no solo natural utilizado (valores obtidos no ensaio de compactação realizado conforme a norma NBR 12023 - ABNT, 1992)

Para o cálculo da quantidade de aditivo, considerou-se a composição escolhida, 0,1 litros/100kg de cimento para as composições SN, S<sub>5</sub>RA, S<sub>10</sub>RA, S<sub>15</sub>RA e S<sub>20</sub>RA. Na composição S<sub>20</sub>RAA foi usado o dobro, 0,2 litros/100kg de cimento. Como a quantidade de cimento a ser utilizada para a produção de um tijolo é muito pequena, o valor de aditivo encontrado para cada peça foi de 0,26ml/tijolo. Na composição cujo teor de resíduo é de 20% foram feitos tijolos com a quantidade de plastificante dobrada, ou seja, 0,52 ml/tijolo de aditivo.

### 3.2.4 Processo de confecção dos tijolos

As Ilustrações 3.9 a 3.15 trazem fotografias do processo de confecção dos tijolos, desde a homogeneização da massa seca, acréscimo de água na mistura, até a prensagem dos tijolos, sua estocagem e cura.



**Ilustração 3.9-** Homogeneização da mistura seca.



**Ilustração 3.10-** Colocação da água na mistura seca



**Ilustração 3.11-** Homogeneização da mistura



**Ilustração 3.12-** Colocação da mistura na prensa.



**Ilustração 3.13-** Prensagem do material



**Ilustração 3.14-** Retirada do tijolo da prensa.



**Ilustração 3.15-** Estocagem e cura dos tijolos.

A confecção dos tijolos foi feita com auxílio de uma prensa manual, da marca Gutward e obedeceu à NBR 10832 (ABNT, 1989). A prensagem foi controlada e foram conferidos rigorosamente alguns parâmetros tais como a massa dos materiais a ser colocada na fôrma e teores de cimento, de resíduos, de aditivo e água, a fim de uniformizar as características de todos os tijolos.

Os tijolos que foram confeccionados com acréscimo de aditivo plastificante tiveram o produto adicionado na água de amassamento, esta calculada conhecendo-se o valor da umidade ótima para cada composição. Em se tratando de uma pesquisa inicial sobre a incorporação de aditivo plastificante em solo-cimento, optou-se por não determinar a umidade ótima com a adição do referido produto; tal procedimento reduziria a água de amassamento, podendo comprometer as reações de hidratação do cimento.

Os tijolos confeccionados foram aceitos ou rejeitados para utilização nos ensaios seguintes de acordo com as recomendações da norma NBR 8491 (ABNT, 1984a) que fixa as condições exigíveis no recebimento de tijolos maciços de solo-cimento.

Os tijolos foram curados e ensaiados, de acordo com a NBR 8492 (ABNT, 1984e). Esta norma determina que a média dos valores de resistência a compressão dos tijolos não seja menor do que 2,0 MPa e que nenhum valor individual seja inferior a 1,7 MPa aos sete dias. A mesma norma considera, para os ensaios de absorção de água, que a média dos valores não deve ser maior do que 20% e que os valores individuais não devem ser superiores a 22%.

A cura foi iniciada após 6 horas da moldagem e durante os primeiros sete dias, com aspersão de água por meio de regador munido de chuveiro em um galpão evitando os efeitos do vento e a incidência dos raios solares.

No 7º dia foram realizados os ensaios de absorção de água, conforme a NBR 8492 (ABNT, 1984e), nos quais os tijolos foram secos em estufa, entre 105°C e 110°C e posteriormente imersos em um tanque com água durante 24 horas. Após esse tempo, eles foram retirados e enxugados superficialmente com um pano úmido e pesados antes de decorridos três minutos.

Após o 7º dia também foram iniciados os ensaios de resistência a compressão, de acordo com o determinado pela NBR 8492 (ABNT, 1984e).

As Ilustrações 3.16 a 3.20 indicam algumas etapas dos ensaios de absorção e de compressão simples realizados no Laboratório de Materiais da Escola de Engenharia (UFG), tais como a secagem dos tijolos na estufa e sua pesagem posterior (ensaio de absorção), submersão dos prismas em água por 24 horas e ensaio de compressão simples).



**Ilustração 3.16-** Secagem dos tijolos na estufa



**Ilustração 3.17-** Pesagem do tijolo após sua secagem na estufa.



**Ilustração 3.18-** Prismas submersos na água para ensaio de resistência a compressão simples



**Ilustração 3.19-** Corpo de prova a ser rompido



**Ilustração 3.20-** Corpo de prova já rompido.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 ENSAIOS DE COMPACTAÇÃO

Com a realização dos ensaios de compactação para as misturas de solo-cimento e solo-cimento-resíduo foram obtidas a massa específica aparente úmida, a massa específica aparente seca máxima e a umidade ótima de compactação. Os ensaios foram realizados de acordo com a norma NBR 12023 (ABNT, 1992b) e se encontram na Tabela 4.1.

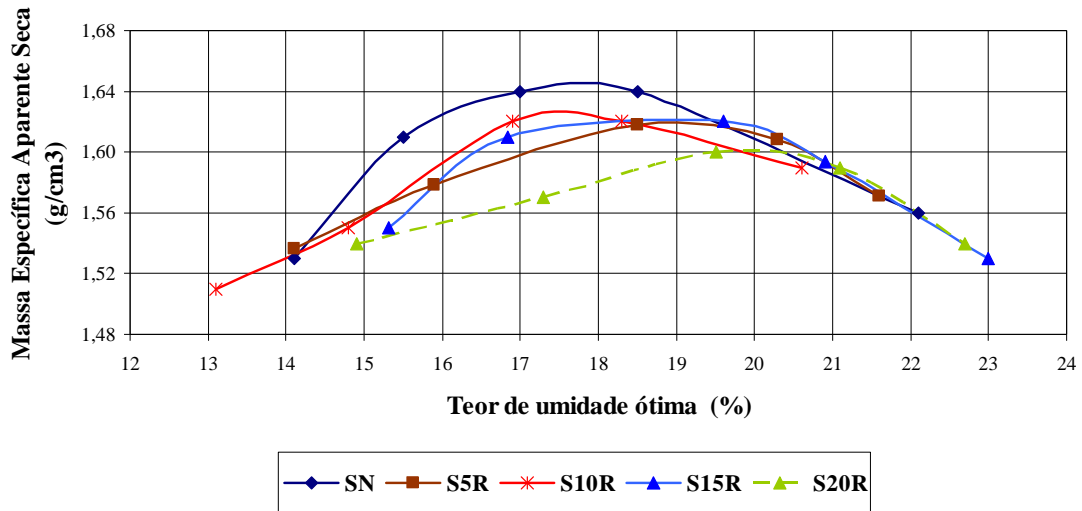
**Tabela 4.1-** Resultados dos ensaios de compactação de Proctor das composições

<b>Composição</b>	<b>Massa Específica Aparente Úmida (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Massa Específica Aparente Seca Máxima (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Umidade Ótima (%)</b>
<b>SN</b>	1,92	1,64	17,8
<b>S<sub>5</sub>R</b>	1,92	1,62	18,5
<b>S<sub>10</sub>R</b>	1,91	1,63	17,6
<b>S<sub>15</sub>R</b>	1,93	1,63	18,4
<b>S<sub>20</sub>R</b>	1,91	1,60	19,5

Com os resultados alcançados pode-se notar que a massa específica aparente seca máxima diminui em função do aumento da quantidade de resíduo incorporado ao solo variando de 1,64 g/cm<sup>3</sup> para 1,60 g/cm<sup>3</sup>.

As curvas de compactação, apresentadas no Gráfico 4.1, foram traçadas aplicando-se as coordenadas cartesianas normais, encontrando-se no eixo das abcissas os teores de umidade e nas ordenadas, as massas específicas aparentes secas correspondentes. Os valores usados para traçar este gráfico se encontram na Tabela 4.1. A ordenada máxima da curva de compactação representa o valor da massa específica aparente seca enquanto, na mesma curva, o eixo das abcissas representa o valor da umidade ótima correspondente.

Observando-se os resultados obtidos verifica-se que à medida que houve aumento da substituição do solo pelo resíduo, houve também uma tendência de acréscimo no valor da umidade ótima.



**Gráfico 4.1**– Curvas de compactação do solo e solo-resíduo com 10% de cimento.

Conhecendo-se a granulometria do solo e do resíduo, esperava-se que à medida que se aumentasse a substituição do solo pelo resíduo, para uma mesma quantidade de cimento, houvesse uma redução na umidade ótima, pois se estaria aumentando a granulometria do material seco. Porém, ao observar os resultados alcançados, com exceção da composição S<sub>10R</sub>, houve um acréscimo da umidade ótima em função do aumento percentual de resíduos, o que pode ser explicado pela não uniformidade da granulometria das amostras tanto do solo, como do resíduo ou ainda pela imprecisão do método.

Como em Lima (2007), a incorporação de diferentes proporções de resíduo ao solo não resultou em grandes variações nos valores de massa específica dos grãos.

## 4.2 ENSAIOS DE ABSORÇÃO

Os valores resultantes na determinação da absorção de água dos tijolos de solo-cimento-resíduo, com e sem adição de plastificante encontram-se nas Tabelas 4.2 e 4.3. Os resultados encontrados nem sempre atenderam às exigências da NBR 8491 (ABNT, 1984a), que determina que as amostras ensaiadas não devem apresentar a média dos valores de absorção de água maior do que 20%, nem os valores individuais devem ser superiores a 22%.

Tabela 4.2– Determinação da absorção de água dos tijolos de solo-cimento-resíduos SEM aditivos

Composição	Idade (dia)	Ordem	Massa do tijolo seco (g)	Massa do tijolo saturado (g)	Absorção de Água (%)	Média Aritmética (%)
SN	7	1	2849,6	3671,4	28,8	25,8
		2	2800,1	3460,5	23,6	
		3	2698,8	3371,6	24,9	
	28	1	2793,2	3498,3	25,2	23,6
		2	2850,3	3508,2	23,1	
		3	2774,2	3399,0	22,5	
S <sub>5</sub> R	7	1	2807,7	3482,3	24,0	24,0
		2	2740,4	3421,2	24,8	
		3	2843,0	3503,7	23,2	
	28	1	2769,6	3393,2	22,5	23,1
		2	2788,7	3440,0	23,4	
		3	2857,8	3525,4	23,4	
S <sub>10</sub> R	7	1	2895,6	3581,9	23,7	23,8
		2	2834,2	3509,6	23,8	
		3	2867,1	3552,2	23,9	
	28	1	2872,2	3531,0	22,9	23,1
		2	2916,6	3588,2	23,0	
		3	2916,7	3603,1	23,5	
S <sub>15</sub> R	7	1	2864,1	3503,5	22,3	22,2
		2	2848,6	3481,9	22,2	
		3	2876,3	3508,2	22,0	
	28	1	2867,2	3469,2	21,0	20,8
		2	2895,2	3504,2	21,0	
		3	2858,3	3438,8	20,3	
S <sub>20</sub> R	7	1	2863,9	3517,1	22,8	21,2
		2	2932,6	3473,9	18,5	
		3	2848,0	3483,7	22,3	
	28	1	2998,9	3748,9	25,0	24,0
		2	2954,3	3680,8	24,6	
		3	2875,6	3520,4	22,4	
MÉDIA	7 dias					23,4
	28 dias					22,9

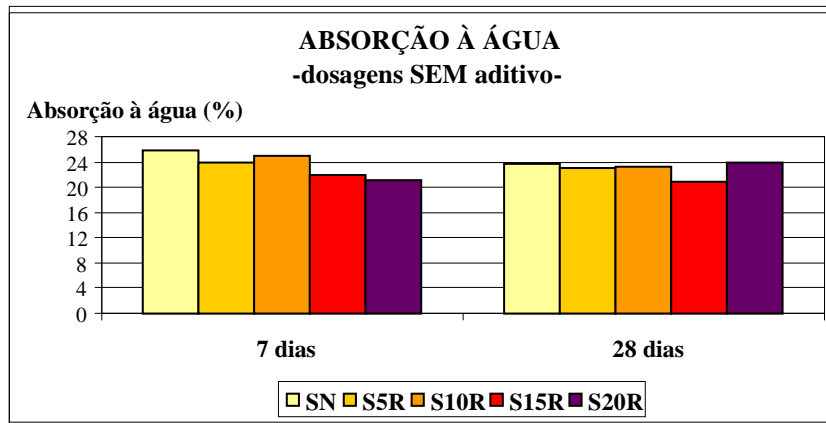
**Tabela 4.3**– Determinação da absorção de água dos tijolos de solo-cimento-resíduos COM aditivos

<b>Composição</b>	<b>Idade (dia)</b>	<b>Ordem</b>	<b>Massa do tijolo seco (g)</b>	<b>Massa do tijolo saturado (g)</b>	<b>Absorção de Água (%)</b>	<b>Média Aritmética (%)</b>
<b>SNA</b>	7	1	2895,1	3586,3	23,9	23,2
		2	2818,4	3435,3	21,9	
		3	2843,5	3518,2	23,7	
	28	1	2846,7	3478,0	22,2	21,8
		2	2876,4	3502,9	21,8	
		3	2910,3	3529,0	21,3	
<b>S<sub>5</sub>RA</b>	7	1	2865,1	3533,3	23,3	23,7
		2	2826,0	3499,3	23,8	
		3	2847,0	3527,8	23,9	
	28	1	2857,8	3453,8	20,9	21,1
		2	2879,7	3468,5	20,4	
		3	2850,1	3473,5	21,9	
<b>S<sub>10</sub>RA</b>	7	1	2873,4	3536,0	23,1	23,1
		2	2855,8	3501,8	22,6	
		3	2821,5	3488,5	23,6	
	28	1	2869,6	3489,8	21,6	20,7
		2	2886,7	3470,2	20,2	
		3	2931,9	3525,0	20,2	
<b>S<sub>15</sub>R</b>	7	1	2869,6	3457,6	20,5	22,9
		2	2830,4	3511,7	24,1	
		3	2862,4	3553,5	24,1	
	28	1	2805,2	3387,9	20,8	20,8
		2	2912,1	3472,9	19,3	
		3	2858,6	3494,1	22,2	
<b>S<sub>20</sub>RA</b>	7	1	2830,6	3429,7	21,2	20,6
		2	2830,8	3378,7	19,4	
		3	2836,9	3443,0	21,4	
	28	1	2879,1	3458,2	20,1	22,5
		2	2872,2	3542,4	23,3	
		3	2873,6	3566,5	24,1	
<b>S<sub>20</sub>RAA</b>	7	1	2872,7	3405,8	18,6	19,1
		2	2885,1	3425,6	18,7	
		3	2853,7	3425,5	20,0	
	28	1	2856,7	3526,3	23,4	22,5
		2	2897,1	3561,0	22,9	
		3	2863,3	3472,6	21,3	
<b>MÉDIA</b>	7 dias					22,1
	28 dias					21,55

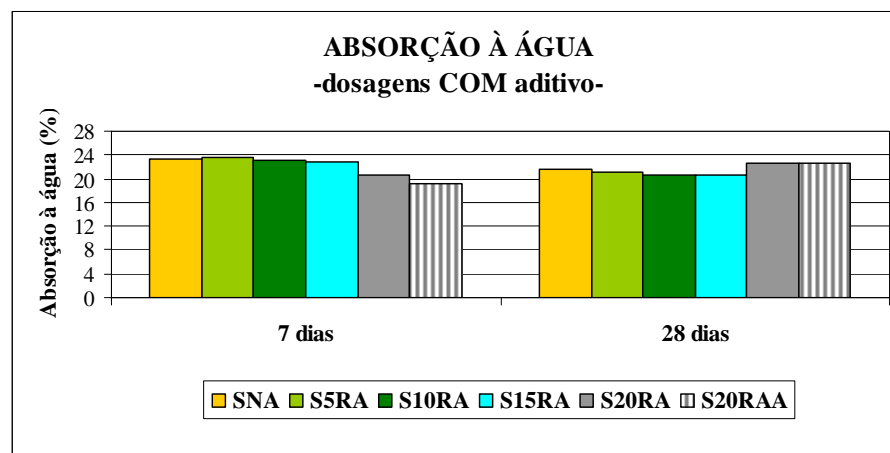
Considerando-se os resultados obtidos com os ensaios, algumas análises foram feitas observando alguns parâmetros. São elas:

#### 4.2.1 Evolução da absorção de água com o tempo

Os valores de absorção dos tijolos sem aditivo e com aditivo estão apresentados nos Gráficos 4.2 e 4.3.



**Gráfico 4.2**– Evolução da absorção de água com o tempo nas dosagens SEM aditivo.



**Gráfico 4.3**– Evolução da absorção de água com o tempo nas dosagens COM aditivo

Observa-se que, de forma geral, houve uma tendência de redução da absorção de água aos 28 dias, em relação aos oito dias. Este comportamento ocorreu tanto nas composições sem aditivo quanto nas composições com aditivo. O valor médio da absorção de todas as composições, sem aditivo aos sete dias, foi de 23,4%; aos 28 dias, foi de 22,9%, ou seja, ligeiramente inferior. Com a adição do aditivo plastificante estes valores foram de 22,1% e 21,55%, com sete e 28 dias respectivamente.

Procedendo-se uma análise estatística entre os resultados aos sete e 28 dias observou-se que, para as composições  $S_5R$ ,  $S_{10}R$  e  $S_{15}R$ , sem aditivo, houve uma influência positiva do tratamento na média dos resultados. O mesmo não ocorreu para a composição  $S_{20}R$ , que indicou um efeito negativo do tratamento entre os resultados aos sete e 28 dias. Para a composição SN, a análise indicou que os resultados são estatisticamente iguais. O teste utilizado foi o teste  $t$ , ao nível de significância  $P=0,05$ .

Para as composições com aditivo, todas as análises indicaram diferenças significativas entre os valores aos sete e 28 dias, exceto na composição  $S_{20}RA$ . Nesta dosagem nota-se que houve aumento no valor da absorção aos 28 dias em relação aos valores obtidos aos sete dias.

O resumo da análise estatística encontra-se no Apêndice.

## **4.2.2 Evolução da absorção variando-se as porcentagens do resíduo**

### 4.2.2.1 Composições sem aditivo plastificante

#### a. Resultados aos sete dias

Na Tabela 4.2 e Gráfico 4.2 observa-se uma tendência de redução da absorção à medida que se aumenta a quantidade de resíduo; todavia, fazendo-se uma análise de variância ao nível de significância de 0,05 constatou-se que as médias são estatisticamente iguais.

#### b. Resultados aos 28 dias

Na Tabela 4.2 observa-se a composição  $S_{15}R$  foi a que apresentou menor valor de absorção. A análise estatística indicou ser esta a única composição cuja média dos valores é estatisticamente diferente da composição de referência, SN.

### 4.2.2.2 Composições com aditivo plastificante

#### a. Resultados aos sete dias

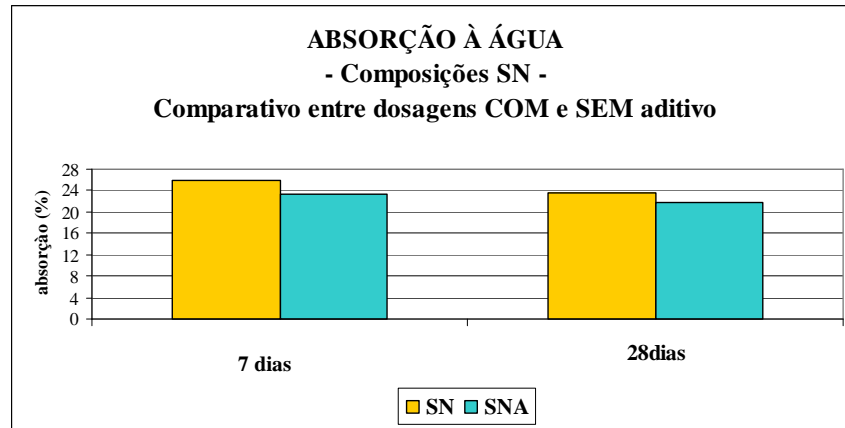
Aos sete dias, observa-se uma tendência de redução da absorção, à medida que se acrescenta a quantidade de resíduo. A análise estatística demonstrou que as composições  $S_{20}RA$  e  $S_{20}RAA$  apresentam médias estatisticamente diferentes em relação à composição SNA.

#### b. Resultados aos 28 dias

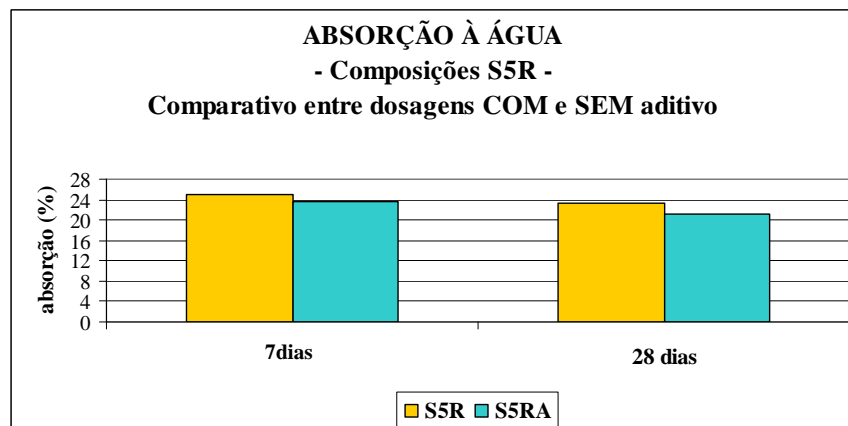
Como pode ser observado do Gráfico 4.3, aos 28 dias houve pequenas variações nas médias obtidas para as diferentes composições. Apesar das dosagens  $S_{20}RA$  e  $S_{20}RAA$  apresentarem médias um pouco maiores, a análise estatística demonstrou que tais diferenças foram devidas às variações aleatórias.

### 4.2.3 Evolução da absorção com a incorporação do aditivo plastificante

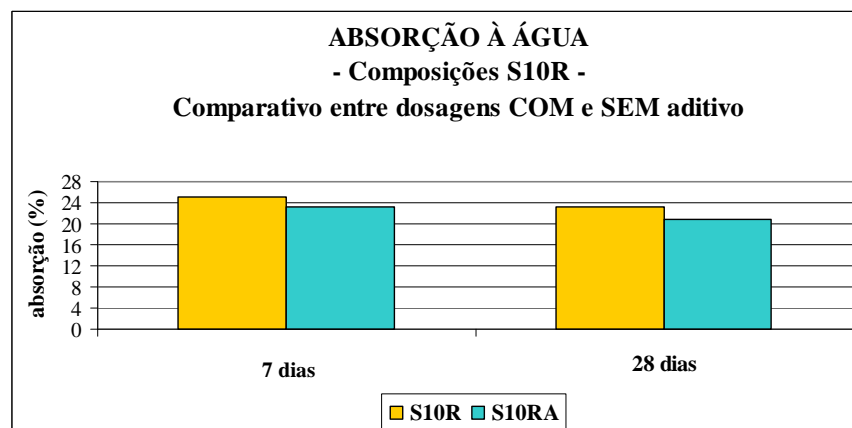
Os Gráficos 4.4 a 4.8, foram obtidos com os dados relativos às Tabelas 4.2 e 4.3 e avaliam a evolução da absorção com o uso do plastificante.



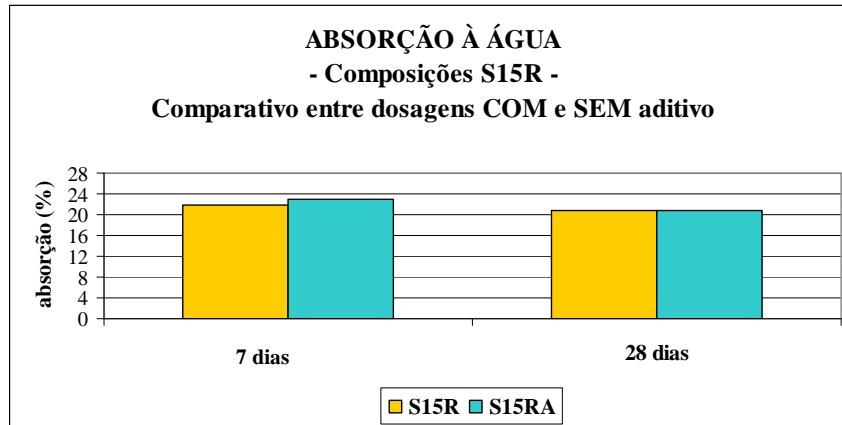
**Gráfico 4.4-** Comparativo entre composições de 0% de resíduo executadas COM e SEM aditivo.



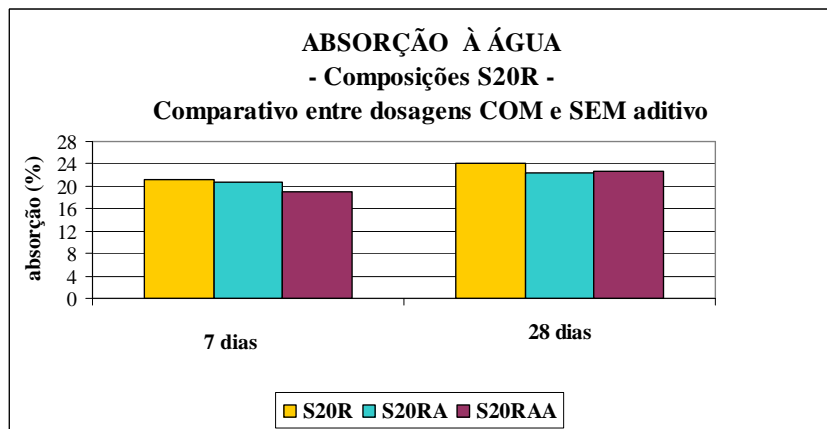
**Gráfico 4.5-** Comparativo entre composições de 5% de resíduo executadas COM e SEM aditivo.



**Gráfico 4.6-** Comparativo entre composições de 10% de resíduo executadas COM e SEM aditivo.



**Gráfico 4.7-** Comparativo entre composições de 15% de resíduo executadas COM e SEM aditivo.



**Gráfico 4.8-** Comparativo entre composições de 20% de resíduo executadas COM e SEM aditivo.

Ao analisar os gráficos observa-se que:

a. Resultados aos sete dias

Comparando-se os valores médios das absorções dos tijolos sem e com aditivo plastificante, aos sete dias, observa-se uma tendência de redução da absorção com a incorporação do aditivo. Da análise estatística realizada, os tijolos cujas composições são SN/SNA, S<sub>10</sub>R/ S<sub>10</sub>RA e S<sub>20</sub>R/ S<sub>20</sub>RA apresentaram variações significativas nas médias das absorções.

b. Resultados aos 28 dias

Também aos 28 dias, a comparação das médias das absorções entre as composições sem e com aditivo plastificante apontam para um efeito positivo do aditivo. A análise estatística comprovou que, à exceção dos resultados entre S<sub>15</sub>R/ S<sub>15</sub>RA e S<sub>20</sub>R/ S<sub>20</sub>RA, todas as médias são diferentes, corroborando o efeito benéfico do aditivo na redução da absorção de água.

### 4.3 ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

A Tabela 4.4 e a Tabela 4.5 fornecem os valores das resistências à compressão nas variações de porcentagens de resíduo em 0%, 5%, 10%, 15% e 20%, sem e com adição de plastificante, aos sete e aos 28 dias.

**Tabela 4.4**– Resistência à compressão dos tijolos de solo-cimento, aos sete e 28 dias, SEM o uso de aditivo plastificante.

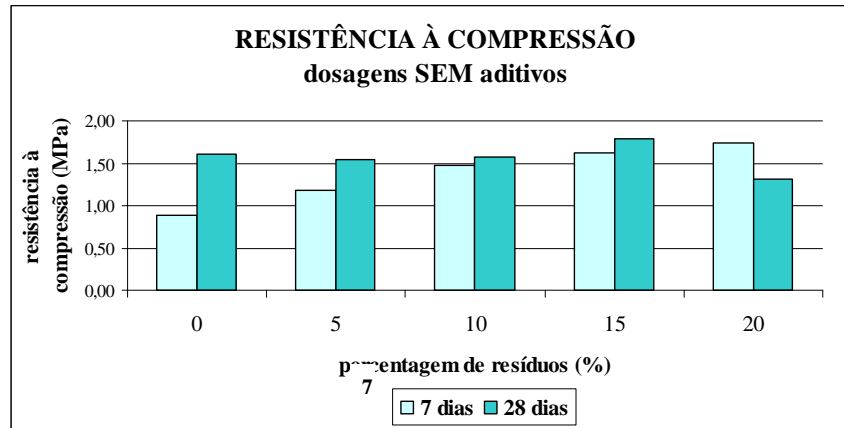
Composição	Idade (dia)	Ordem	Carga Máxima (kgf)	Média das Áreas das Duas Faces (cm <sup>2</sup> )	Resistência à Compressão		Resistência Média à Compressão
					kgf/cm <sup>2</sup>	MPa	MPa
SN	7	1	700,00	130,99	5,34	0,53	0,88
		2	1400,00	135,35	10,34	1,03	
		3	1400,00	131,03	10,68	1,07	
	28	1	2100,00	137,24	15,30	1,53	1,61
		2	1900,00	135,37	14,04	1,40	
		3	2600,00	136,61	19,03	1,90	
S <sub>5</sub> R	7	1	1400,00	131,65	10,63	1,06	1,18
		2	1500,00	132,87	11,29	1,13	
		3	1800,00	134,12	13,42	1,34	
	28	1	2350,00	139,78	16,81	1,68	1,54
		2	2100,00	138,49	15,16	1,52	
		3	2000,00	140,39	14,25	1,42	
S <sub>10</sub> R	7	1	1650,00	134,73	12,25	1,22	1,47
		2	1900,00	139,76	13,60	1,36	
		3	2500,00	135,99	18,38	1,84	
	28	1	2400,00	144,83	16,57	1,66	1,58
		2	2100,00	142,92	14,69	1,47	
		3	2200,00	135,97	16,18	1,62	
S <sub>15</sub> R	7	1	2200,00	134,15	16,03	1,60	1,62
		2	2200,00	137,25	16,33	1,63	
		3	2200,00	134,74	16,33	1,63	
	28	1	2600,00	140,38	18,52	1,85	1,73
		2	2000,00	139,14	14,37	1,44	
		3	2800,00	136,61	20,50	2,05	
S <sub>20</sub> R	7	1	2350,00	133,49	17,60	1,76	1,74
		2	2500,00	141,66	17,65	1,76	
		3	2300,00	136,63	16,83	1,68	
	28	1	1500,00	140,99	10,64	1,06	1,30
		2	1900,00	139,13	13,66	1,37	
		3	2100,00	141,62	14,83	1,48	

**Tabela 4.5**– Resistência à compressão dos tijolos de solo-cimento, aos sete e 28 dias, COM o uso de aditivo plastificante.

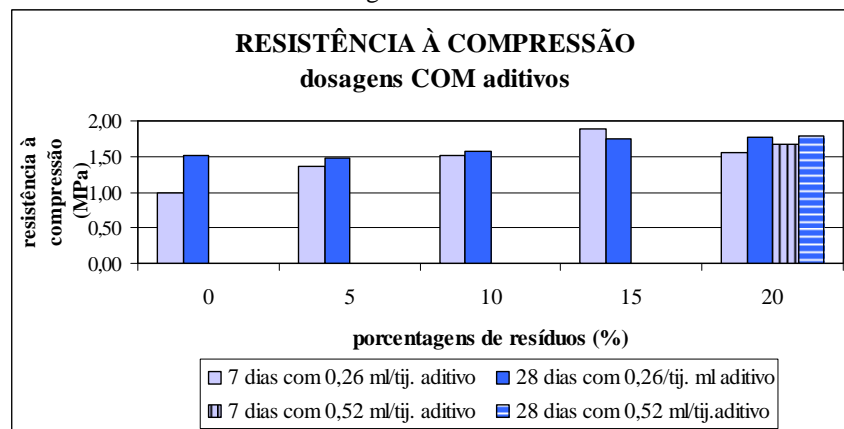
Composição	Idade (dia)	Ordem	Carga Máxima (kgf)	Média das Áreas das Duas Faces (cm <sup>2</sup> )	Resistência à Compressão		Resistência Média à Compressão
					kgf/cm <sup>2</sup>	MPa	
SNA	7	1	1000,00	132,27	7,56	0,76	0,99
		2	1100,00	128,55	8,56	0,86	
		3	1800,00	132,27	13,61	1,36	
	28	1	2200,00	137,23	16,03	1,60	1,52
		2	2500,00	135,37	18,47	1,85	
		3	1500,00	136,62	10,98	1,10	
S <sub>5</sub> RA	7	1	1850,00	137,23	13,48	1,35	1,36
		2	1750,00	138,48	12,64	1,26	
		3	2050,00	139,74	14,67	1,47	
	28	1	2150,00	136,62	15,74	1,57	1,47
		2	1900,00	134,74	14,10	1,41	
		3	2000,00	138,50	14,44	1,44	
S <sub>10</sub> RA	7	1	1950,00	136,60	14,28	1,43	1,52
		2	2150,00	135,37	15,88	1,59	
		3	2100,00	135,37	15,51	1,55	
	28	1	1800,00	134,75	13,36	1,34	1,58
		2	1950,00	136,62	14,27	1,43	
		3	2650,00	134,12	19,76	1,98	
S <sub>15</sub> RA	7	1	2500,00	134,15	18,64	1,86	1,87
		2	2500,00	136,60	18,30	1,83	
		3	2600,00	134,74	19,30	1,93	
	28	1	2050,00	134,76	15,21	1,52	1,75
		2	2700,00	137,84	19,59	1,96	
		3	2350,00	132,89	17,68	1,77	
S <sub>20</sub> RA	7	1	2200,00	139,75	15,74	1,57	1,55
		2	2200,00	135,99	16,18	1,62	
		3	2050,00	139,13	14,73	1,47	
	28	1	2300,00	132,27	17,39	1,74	1,76
		2	2500,00	132,91	18,81	1,88	
		3	2200,00	131,64	16,71	1,67	
S <sub>20</sub> RA	7	1	2000,00	138,48	14,44	1,44	1,67
		2	2300,00	137,89	16,68	1,67	
		3	2600,00	137,24	18,94	1,89	
	28	1	2250,00	128,60	17,50	1,75	1,79
		2	2400,00	132,23	18,15	1,82	
		3	2300,00	128,60	17,89	1,79	

### 4.3.1 Evolução das resistências com o tempo

A evolução dos valores da resistência à compressão das composições pode ser verificada nos Gráficos 4.9 e 4.10



**Gráfico 4.9**– Resistência média à compressão dos tijolos, com a evolução do tempo. Dosagens SEM aditivo



**Gráfico 4.10**– Resistência média à compressão dos tijolos, com a evolução do tempo. Dosagens COM aditivo

Da Tabela 4. e do Gráfico 4.9 observa-se que, para as composições sem aditivo plastificante, houve uma tendência de aumento das resistências dos tijolos aos 28 dias, em comparação às resistências aos sete dias, com exceção da composição  $S_{20R}$ , onde houve uma tendência de redução. Nota-se ainda que à medida que se aumentaram as porcentagens de resíduo, a diferença entre os valores obtidos aos sete dias e aos 28 dias, tendeu a diminuir. A análise estatística evidenciou que, para as dosagens SN,  $S_5R$ , e  $S_{20R}$ , as diferenças entre as médias são significativas.

É interessante ressaltar que, para a composição S<sub>20</sub>R houve aumento da absorção e redução da resistência à compressão. Tal fato pode estar relacionado a um possível aumento no índice de vazios para esta mistura.

Nas composições com aditivo plastificante observa-se a mesma tendência de aumento da resistência com o tempo, exceto para a composição S<sub>15</sub>RA. Nota-se também, que, à medida que se aumentam as porcentagens de resíduo, a diferença entre os valores aos 28 e sete dias, tende a diminuir. A análise estatística apontou que, para as composições SNA e S<sub>20</sub>RA, as diferenças entre as médias são significativas.

### 4.3.2 Evolução das resistências variando-se as porcentagens de resíduos

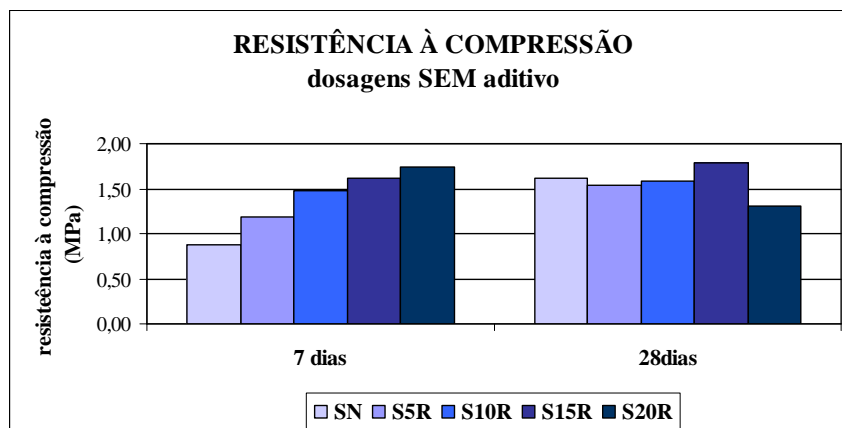
#### 4.3.2.1 Evolução das resistências sem aditivo plastificante

##### a. Resultados aos sete dias

Ao observar a Tabela 4.4 e o Gráfico 4.11 verifica-se que a resistência à compressão dos tijolos tende a aumentar à medida que aumenta o teor de resíduo. A análise de variância demonstrou que, a partir das composições S<sub>10</sub>R, as médias das resistências são diferentes, em relação à composição SN, sem a incorporação do resíduo.

##### b. Resultados aos 28 dias

Observando a Tabela 4.4 e o Gráfico 4.11 nota-se que, apesar das médias tenderem a uma redução à medida que se aumenta o teor do resíduo, a análise estatística demonstrou que as variações ocorridas são devidas as variações aleatórias, não sendo influenciadas pelo tratamento.



**Gráfico 4.11**– Comportamento da média aritmética da resistência à compressão dos tijolos, com a variação das porcentagens dos resíduos.

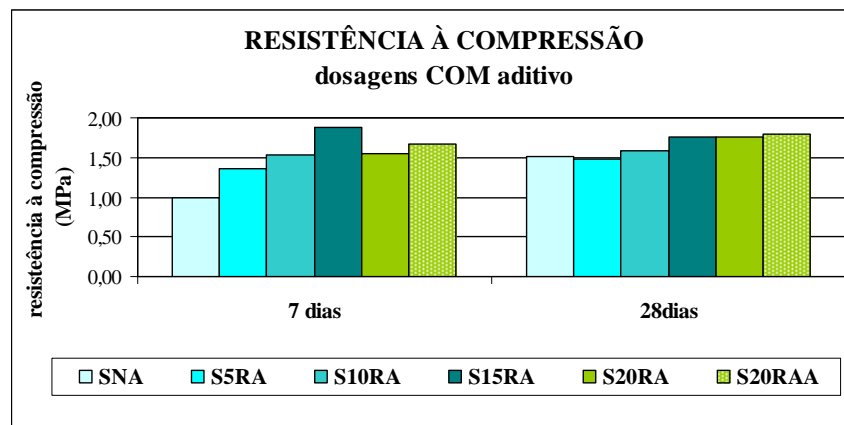
#### 4.3.2.2 Evolução das Resistências com aditivo plastificante

##### a. Resultado aos sete dias

Observa-se aqui (Tabela 4.5 e Gráfico 4.12) comportamento semelhante em relação aos resultados sem a incorporação do aditivo, ou seja, a resistência à compressão dos tijolos tende a aumentar à medida que aumenta o teor de resíduo até a composição S<sub>15</sub>RA. A análise de variância demonstrou que, a partir da composição S<sub>10</sub>RA as médias das resistências são diferentes, em relação à composição SNA.

##### b. Resultados aos 28 dias

Da análise da variância realizada, pode-se concluir que as médias das resistências à compressão observadas para as diferentes composições são estatisticamente iguais. Pode-se assim inferir que, independentemente da incorporação do aditivo plastificante, aos 28 dias, a adição do resíduo não interfere no valor da resistência à compressão dos tijolos.



**Gráfico 4.12**– Comportamento da média aritmética da resistência à compressão dos tijolos, com a variação das porcentagens dos resíduos.

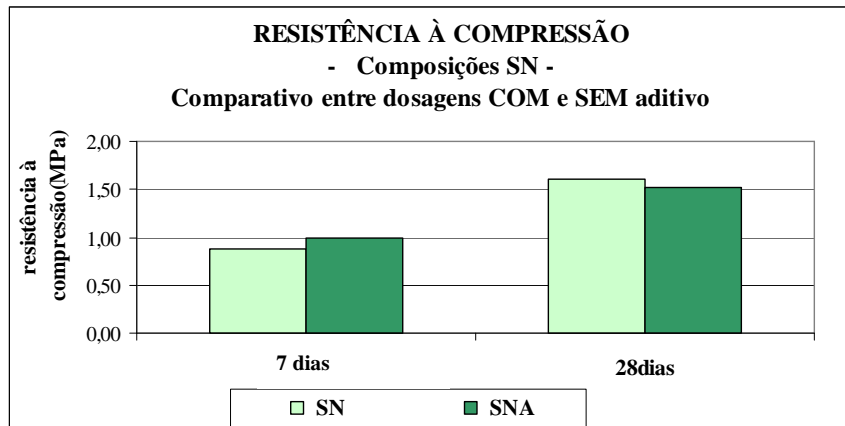
#### 4.3.3 Evolução das resistências acrescentando-se aditivo plastificante

##### a. Resultados aos sete dias

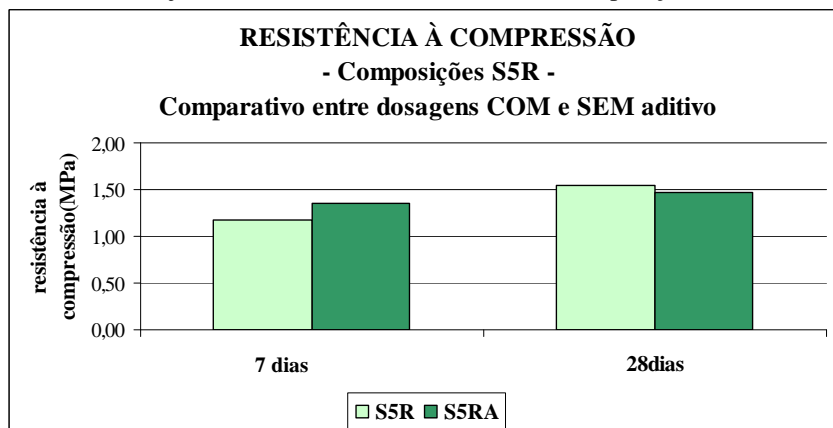
Observando-se a Tabela 4.4 e a Tabela 4.5 e os Gráficos 4.13 a 4.17 verifica-se uma tendência de aumento da resistência média das composições com aditivo em relação às composições sem aditivo, até a composição S<sub>15</sub>RA. Para as composições S<sub>20</sub>RA e S<sub>20</sub>RAA, observa-se uma tendência de queda. Pela análise estatística, os resultados significativos foram entre as composições S<sub>5</sub>R/S<sub>5</sub>RA, S<sub>15</sub>R/S<sub>15</sub>RA e S<sub>20</sub>R/S<sub>20</sub>RA.

b. Resultados aos 28 dias

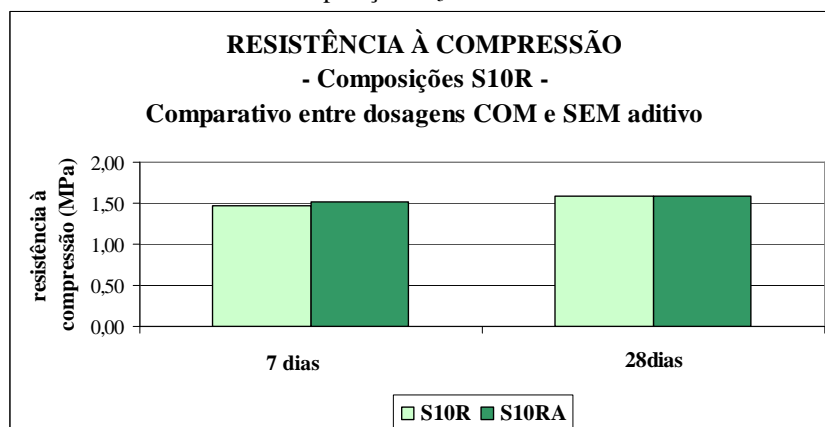
Para as composições SN/SNA, S<sub>5</sub>R/S<sub>5</sub>RA e S<sub>15</sub>R/S<sub>15</sub>RA, observam-se pequenas reduções das resistências médias dos tijolos com aditivo em relação aquelas sem aditivos. Entretanto, verificou-se que tais variações não são significativas. Para as composições S<sub>20</sub>R/S<sub>20</sub>RA, as variações foram devidas ao tratamento indicando o efeito benéfico do aditivo plastificante para estas composições.



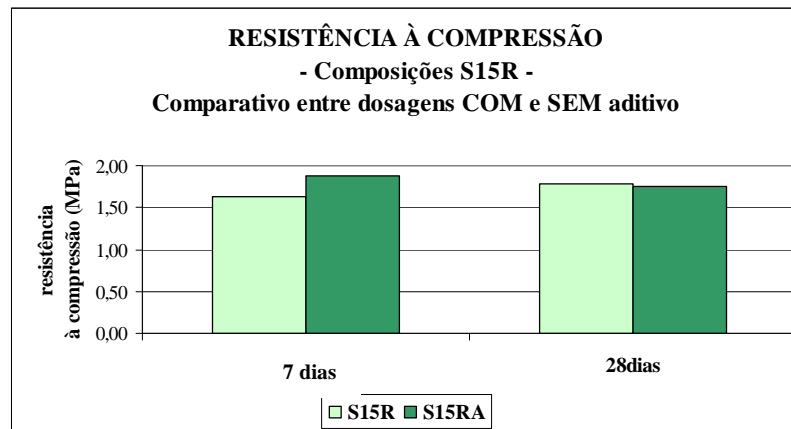
**Gráfico 4.13**– Comportamento da média aritmética da resistência à compressão dos tijolos, SEM e COM uso de aditivos. Composições SN



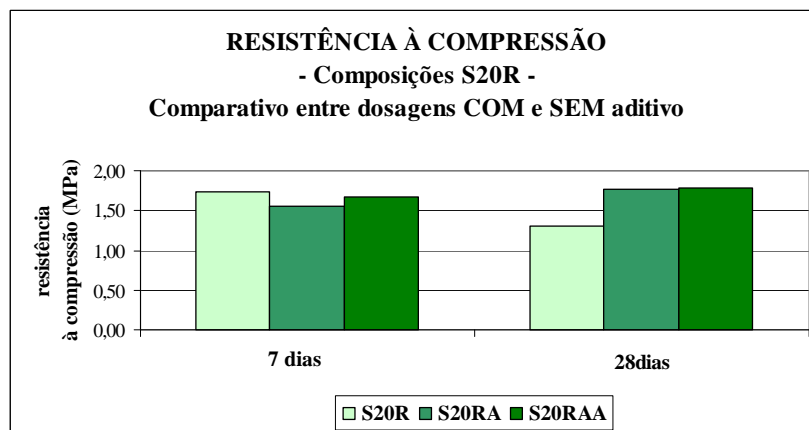
**Gráfico 4.14**– Comportamento da média aritmética da resistência à compressão dos tijolos, SEM e COM uso de aditivos. Composições S<sub>5</sub>R



**Gráfico 4.15**– Comportamento da média aritmética da resistência à compressão dos tijolos, SEM e COM uso de aditivos. Composições S<sub>10</sub>R



**Gráfico 4.16**– Comportamento da média aritmética da resistência à compressão dos tijolos, SEM e COM uso de aditivos. Composições S<sub>15</sub>R



**Gráfico 4.17**– Comportamento da média aritmética da resistência à compressão dos tijolos, SEM e COM uso de aditivos. Composições S<sub>20</sub>R

#### 4.4 MODULAÇÃO

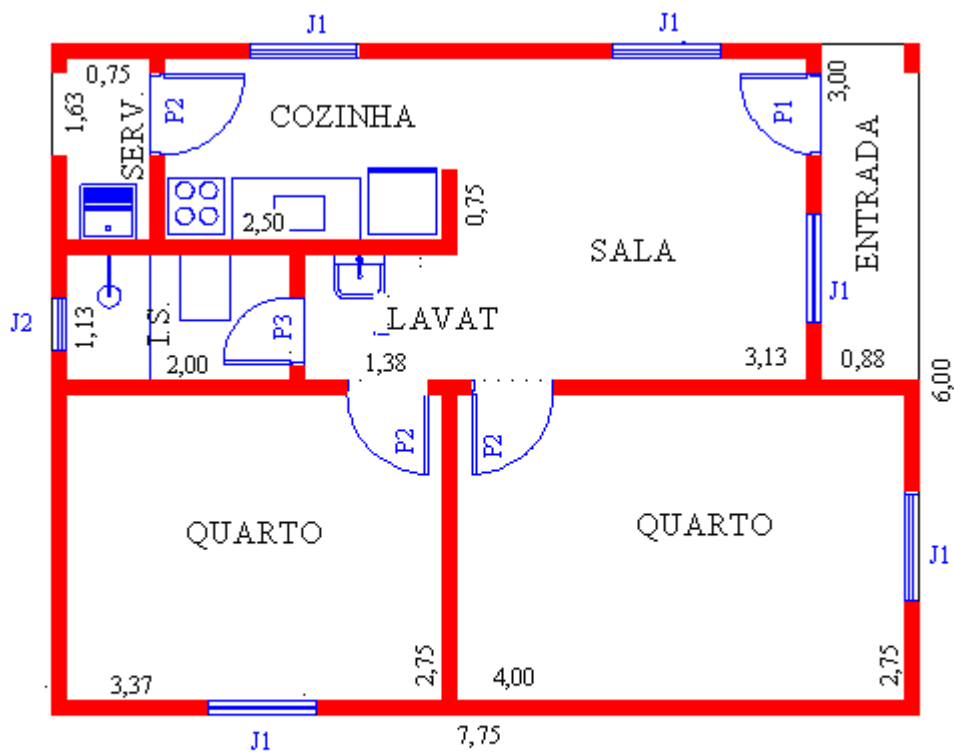
O estudo apresentou a proposta de um projeto de residência popular, cuja área é igual a 46,5 m<sup>2</sup>, onde foram considerados os pressupostos mencionados no item 2.10. As dimensões foram projetadas a fim de se obter aproveitamento total dos tijolos, sem realizar quebras evitando assim desperdícios. Para este projeto foram previstas as disposições dos tijolos em fiadas e suas interações com portas e janelas.

O módulo utilizado na proposta equivale ao tamanho do tijolo de solo-cimento, cujas dimensões são de 25 x 12,5 x 6,25 cm. A partir deste o módulo, apareceram mais duas opções com objetivo de facilitar no fechamento perfeito das paredes. São elas: o meio tijolo (com dimensões de 12,5 x 12,5 x 6,25 cm) e o tijolo e meio (com dimensões de 37,5 x 12,5 x 6,25 cm).

Foram feitas para este projeto a planta baixa com a numeração das paredes existentes (Ilustração 4.1), plantas de primeira e segunda fiadas (Ilustrações 4.2 e 4.3),

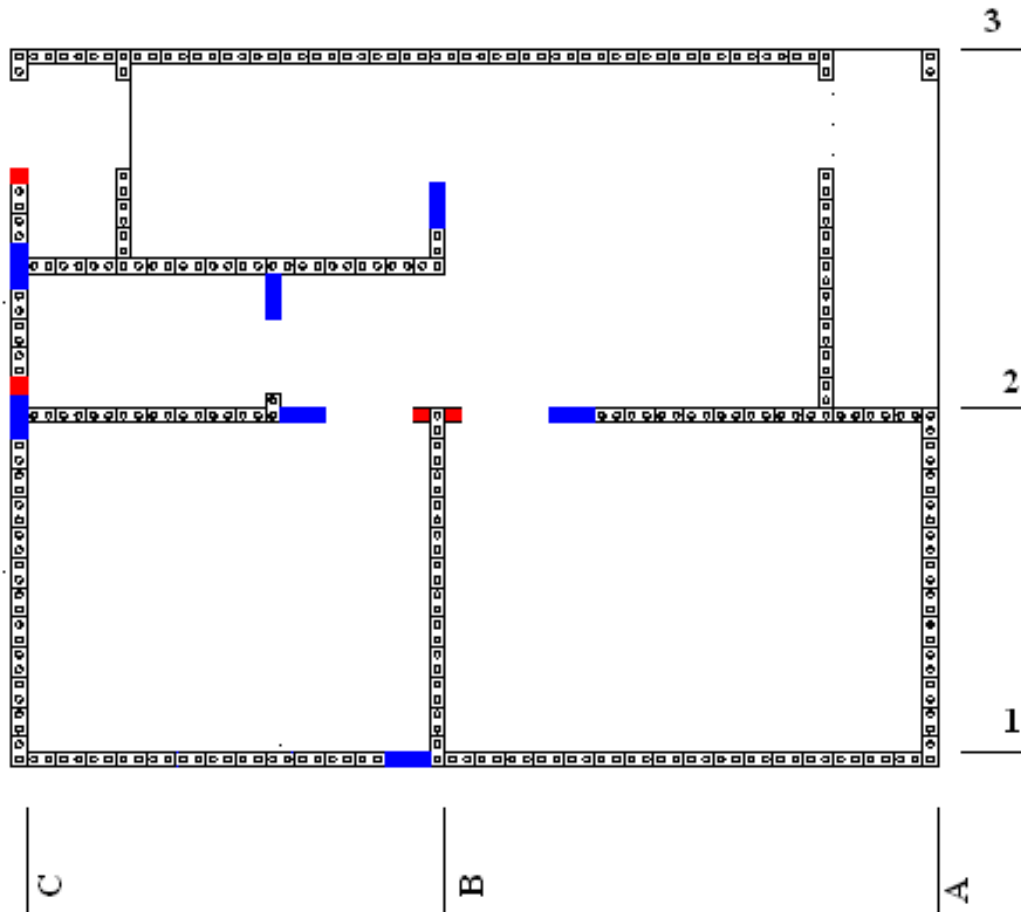
elevações de cada parede e locação de vergas e contravergas (Ilustrações 4.4 e 4.5) e fachadas (Ilustrações 4.6 e 4.7).

É importante ressaltar que as tubulações elétricas, telefônicas e hidráulicas serão instaladas nos furos existentes dos tijolos, evitando assim, quebras desnecessárias das paredes e desperdício de material. Neste projeto também foi considerada a existência de uma parede hidráulica, entre a Cozinha e o Banheiro para que ali se concentrem todas as tubulações de água e esgoto. A existência deste tipo de parede confere à construção, mais um elemento de economia e praticidade.



**PLANTA BAIXA**  
a = 46,5m<sup>2</sup>

**Ilustração 4.1**– Planta baixa do projeto usado na modulação.



### AMARRAÇÃO - 1ª FIADA




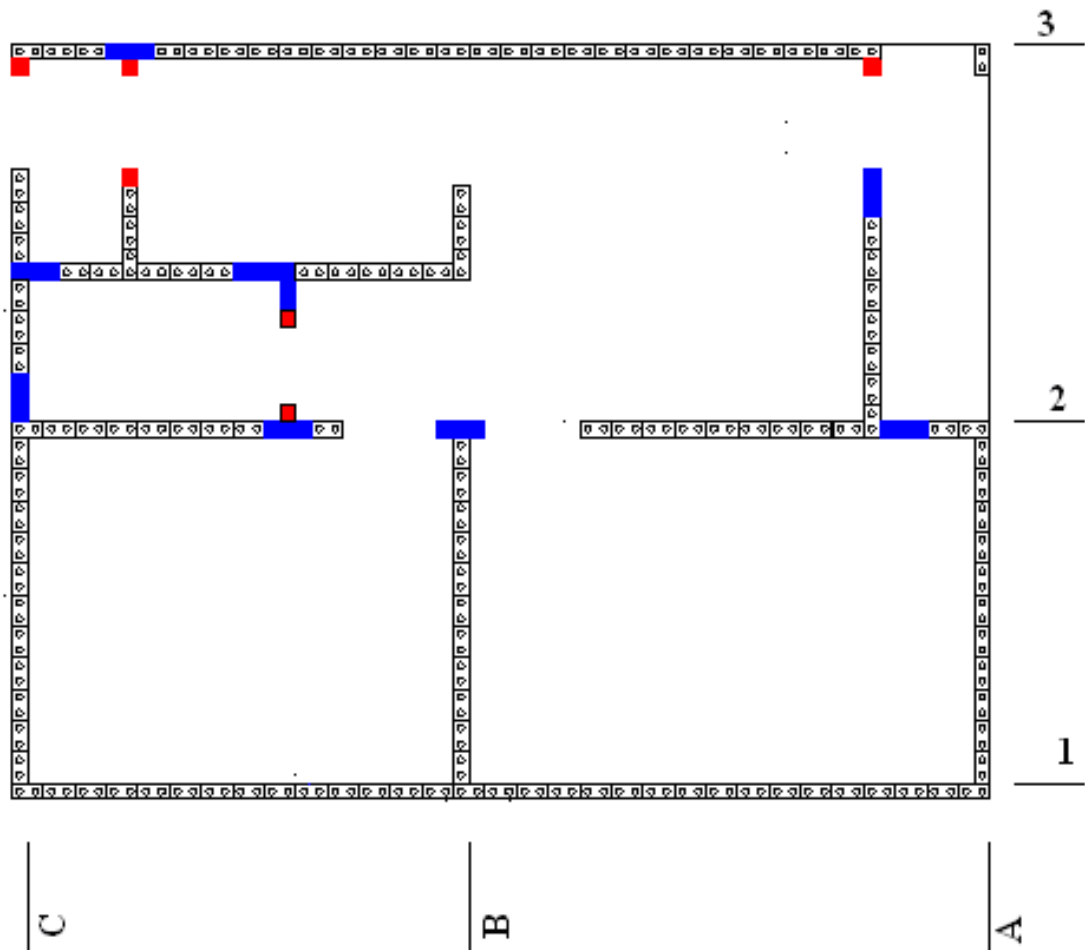



	MEIO TIJOLO - 6,25 X 12,5 X 12,5 cm
	TIJOLO INTEIRO - 6,25 X 12,5 X 25,0 cm
	UM TIJOLO E MEIO - 6,25 X 12,5 X 37,25 cm

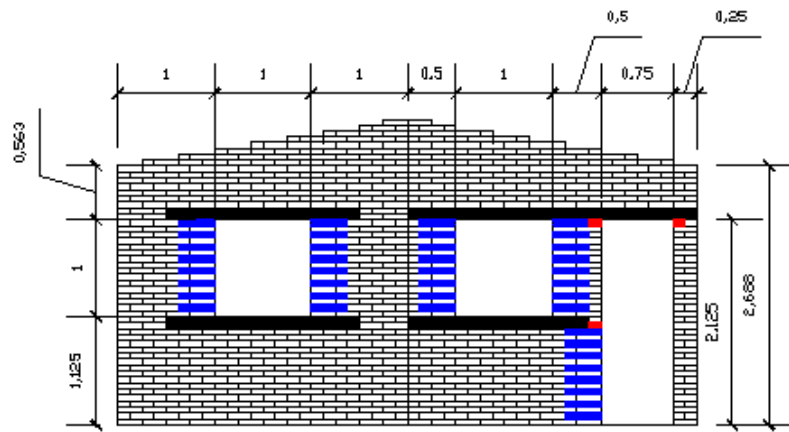
Ilustração 4.2– Planta 1ª fiada de tijolos



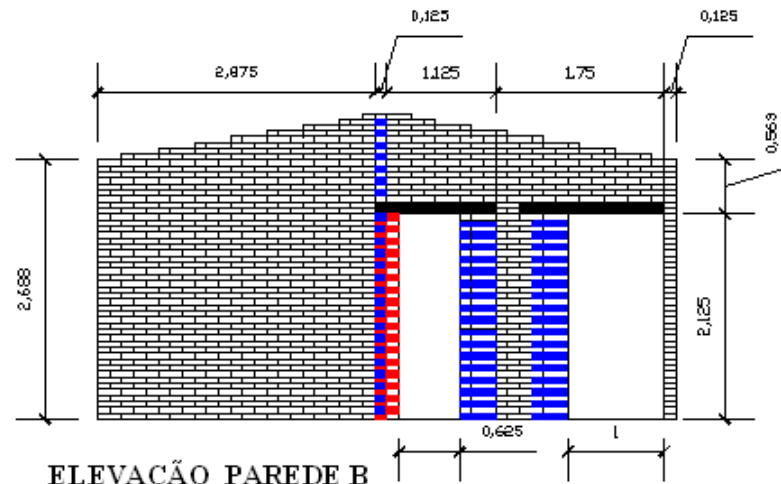
**AMARRAÇÃO - 2ª FIADA**

	MEIO TIJOLO - 6,25 X 12,5 X 12,5 cm
	TIJOLO INTEIRO - 6,25 X 12,5 X 25,0 cm
	UM TIJOLO E MEIO - 6,25 X 12,5 X 37,25 cm

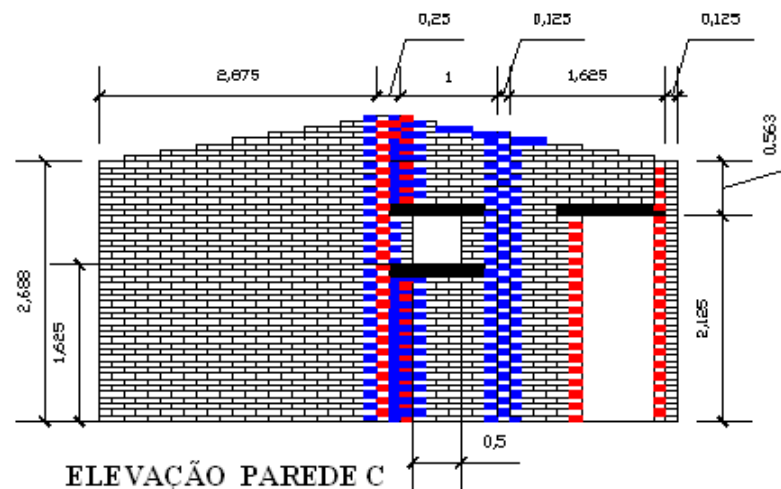
**Ilustração 4.3**– Planta 2ª fiada de tijolos



ELEVAÇÃO PAREDE A

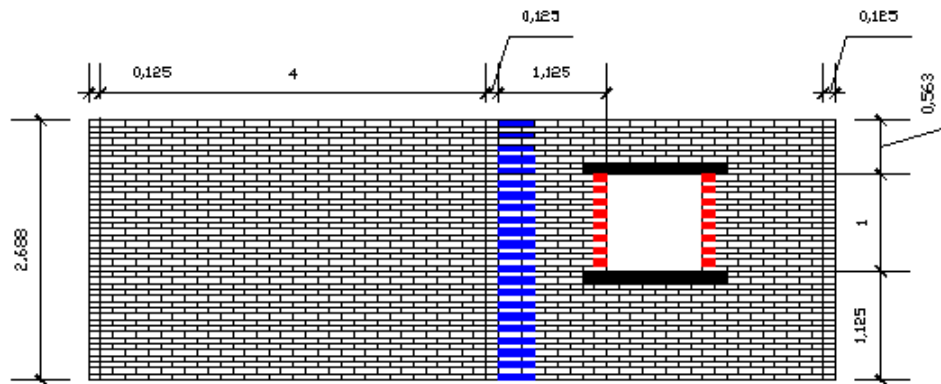


ELEVAÇÃO PAREDE B

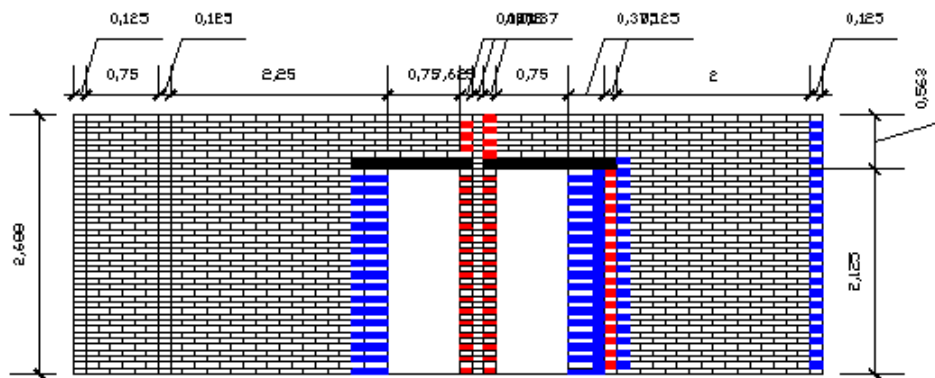


ELEVAÇÃO PAREDE C

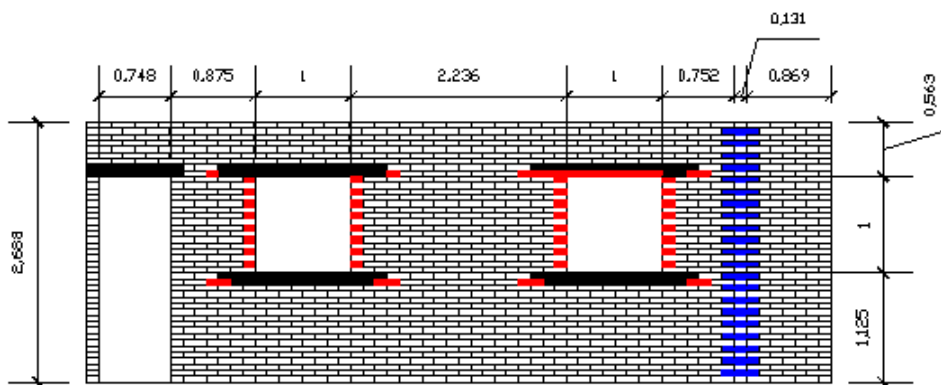
Ilustração 4.4– Elevações A, B e C.



ELEVAÇÃO PAREDE 1

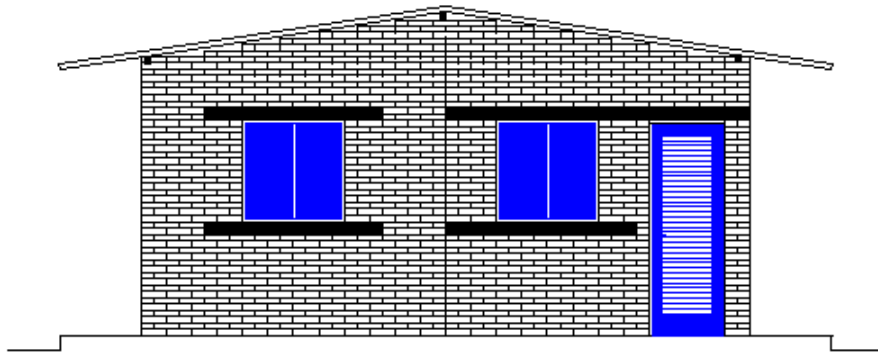


ELEVAÇÃO PAREDE 2

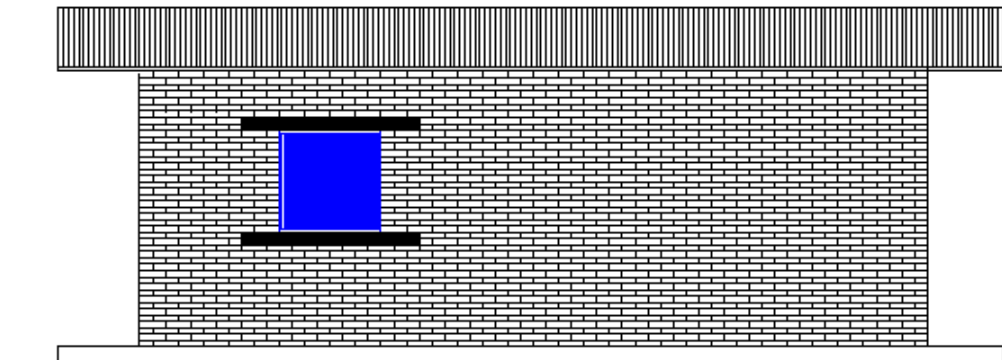


ELEVAÇÃO PAREDE 3

Ilustração 4.5– Elevações 1, 2 e 3.

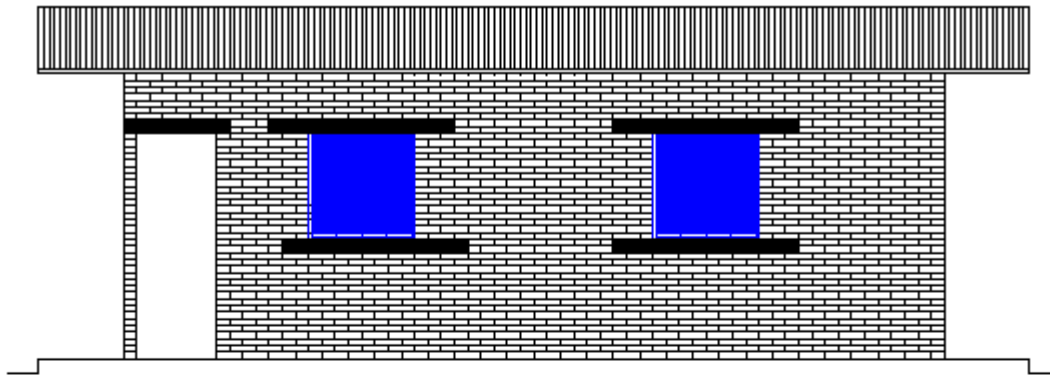


FACHADA PRINCIPAL

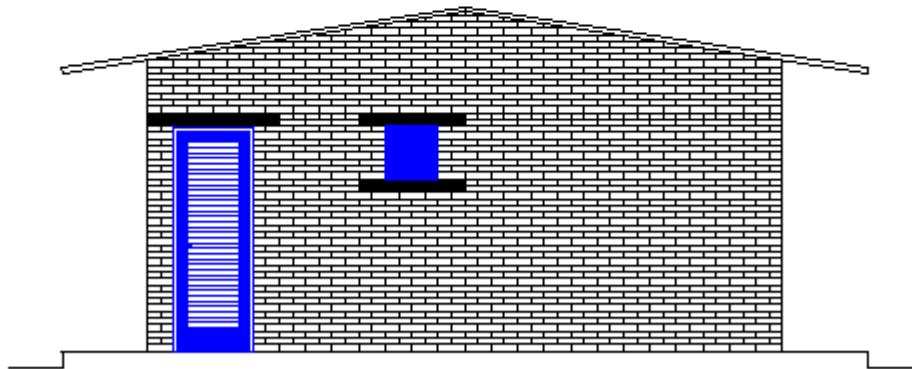


FACHADA LATERAL  
ESQUERDA

**Ilustração 4.6**– Fachadas Principal e Lateral Esquerda



FACHADA LATERAL  
DIREITA



FACHADA FUNDOS

**Ilustração 4.7**– Fachadas Lateral Direita e Fundos

## **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

### **5.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-MECÂNICA DAS MISTURAS DE SOLO- CIMENTO- RESÍDUO E ADITIVO PLASTIFICANTE**

#### **5.1.1 Efeito da adição do resíduo**

Quanto ao aspecto da absorção de água, ficou comprovado o efeito benéfico da incorporação do resíduo para a composição S<sub>15</sub>R. Nas demais composições, tal incorporação não alterou esta propriedade.

Quanto ao aspecto de resistência à compressão, a adição do resíduo não alterou os resultados aos 28 dias.

#### **5.1.2 Efeito da incorporação do aditivo plastificante**

Quanto à absorção de água houve um efeito positivo da incorporação do aditivo plastificante até as composições S<sub>10</sub>R; nas demais composições não houve variação significativa. Já quanto à resistência à compressão, o efeito positivo do aditivo foi verificado para a composição S<sub>20</sub>R.

#### **5.1.3 Comparações com o os estudos de Lima (2007)**

- Ao se comparar os resultados desta pesquisa com aqueles fornecidos por Lima (2007), nota-se que a composição que apresentou maior resistência à compressão e menor índice de absorção de água em sua pesquisa, foi aquela com 30% de resíduo, enquanto no presente estudo os melhores resultados foram alcançados nas composições onde foram utilizados 15% de resíduo (sem aditivo);
- Ao se comparar ainda os resultados obtidos por Lima (2007) com aqueles alcançados nesta pesquisa, observa-se um decréscimo nos valores adquiridos neste último estudo realizado. As diferenças nos resultados podem existir devido à falta de uniformidade nas características do resíduo, como por exemplo, na granulometria. Como a mistura dos componentes foi feita manualmente, pode ter ocorrido uma falta de uniformidade no momento da associação dos componentes secos.

### **5.2 CONCLUSÕES GERAIS**

A proposta inicial desta pesquisa foi estudar a viabilidade técnica da utilização de resíduos de argamassa de cimento e areia para promover a preservação do meio ambiente,

pois com o aproveitamento deste material, são evitados o lançamento e o descarte em locais inadequados, a formação dos “lixões”, os assoreamentos e entupimentos das redes de águas pluviais, alagamentos, etc. Por meio dos resultados obtidos ficou evidenciada tal viabilidade. Quanto à adição do plastificante, sua utilização viabilizou também o uso de maiores adições de resíduos.

O estudo de modulação utilizando tijolos de solo-cimento propicia a otimização da construção de moradias minimizando seus custos, economizando tempo na construção e evitando desperdício de material.

### 5.3 SUGESTÕES PARA OUTRAS PESQUISAS

O uso de resíduos para a fabricação de tijolos de solo-cimento merece ainda ser explorado em pesquisas, por ser um tema atual e importante, com tantas preocupações com o meio ambiente. Outras sugestões para futuras pesquisas:

- Repetir o estudo usando um misturador que possibilite uma melhor homogeneização das composições propostas, avaliação de outros tempos de cura (estudando idades mais avançadas – 56, 120, 240 e 360 dias), coleta de mais amostras para análises químicas a fim de estudar a variabilidade de suas propriedades, realização de ensaios de durabilidade;
- Como o solo natural é argiloso, estudar misturas solo-cal, pois a cal é indicada para solos argilosos, enquanto o cimento é para solos arenosos;
- Desenvolvimento de uma dosagem de traço que possibilite valores mais elevados da resistência dos tijolos para o emprego em edificações de dois ou mais pavimentos;
- Estudar um melhor arranjo granulométrico, propiciando redução no consumo de cimento e valores de resistência mais elevados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ÂNGULO, S. C. **Variabilidade de agregados graúdos de resíduos de construção e demolição reciclados** 2000. 155p. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo – USP. São Paulo-SP: EPUSP, 2000.

ÂNGULO, S. C.; ZORDAN, S. E.; JOHN, V. M. **Desenvolvimento sustentável e a reciclagem de resíduos na construção civil**. São Paulo, 2001. In: IV Seminário Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na construção civil – materiais reciclados e suas aplicações. CT206 – IBRACON.

AMERICAN STANDARD FOR TESTING MATERIAL. ASTM C125-07. **Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates**.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Fabricação de tijolos de solo-cimento com a utilização de prensas manuais**. São Paulo. ABCP. 1985. 4p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Dosagem das misturas de solo-cimento: normas de dosagem e métodos de ensaio**. São Paulo. ABCP. 1986. 51p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Guia básico de utilização do cimento Portland**. São Paulo: ABCP, 2002. 27p

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5706 - **Coordenação modular da construção**. Rio de Janeiro, 1977.

\_\_\_\_\_ - NBR 6457 - **Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização**. Rio de Janeiro, 1986.

\_\_\_\_\_ - NBR 6502 – **Rochas e Solos**. Rio de Janeiro, 1995.

\_\_\_\_\_ - NBR 6459 – **Solo: Determinação do limite de liquidez**. Rio de Janeiro, 1984d.

\_\_\_\_\_ - NBR 7180– **Solo – Determinação do limite de plasticidade**. Rio de Janeiro, 1984c.

\_\_\_\_\_ - NBR 7181 – **Solo - Análise granulométrica**. Rio de Janeiro, 1984b.

\_\_\_\_\_ - NBR 8491 - **Tijolo maciço de solo-cimento**. Rio de Janeiro, 1984a.

\_\_\_\_\_ - NBR 8492 - **Tijolo maciço de solo-cimento. Determinação da resistência à compressão e absorção de água**. Rio de Janeiro, 1984e.

\_\_\_\_\_ - NBR 10832 – **Fabricação de tijolo maciço de solo-cimento com a utilização de prensa manual**. Rio de Janeiro, 1989.

\_\_\_\_\_ - NBR 11768– **Aditivos para concreto de cimento Portland**. Rio de Janeiro, 1992.

\_\_\_\_\_ - NBR 12023 – **Solo-cimento – Ensaio de compactação**. Rio de Janeiro, 1992b.

BECERRA, F.; FERREIRA, R. C.; SALINAS ANDÚJAR, J. A.; **Aplicaciones de la tierra estabilizada com cemento em construcciones em el medio rural**. In: V International Congress of Project Engineering, 2000, Lleida. Association Española de Ingeniería de Proyectos/Universidad de Lleida, 2000.

BUENO, B.S.; VILAR, O. M.; **Mecânica dos Solos**. Universidade Federal de Viçosa, 1980.131p.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 307**. Ministério do Meio Ambiente. 2002.

CONCIANI, W.; OLIVEIRA, J. L. M. **Moradias populares: opções para a melhoria da qualidade**. Disponível em: <[http://portal.mec.gov.br/setec-PortalSetec.ApresentaçãoCEFET/MT.25.11.2004](http://portal.mec.gov.br/setec-PortalSetec/ApresentaçãoCEFET/MT.25.11.2004)>. Acesso em janeiro, 2007.

EMHUSA. **Foto: Casa construída em Macaé-RJ com tijolos de solo-cimento**. Disponível em <<http://www.emhusa.rj.gov.br>>. Acesso em março, 2007.

FERRAZ, A. L.N.; SEGATINI, A. A. S. **Estudo de aplicação de resíduo de argamassa de cimento nas propriedades de tijolos de solo-cimento**. In: Holos Environment – Revista Científica do Centro de Estudos Ambientais CEA/UNESP. São Paulo, 2003.

FERRAZ, A. L. N.; SEGATINI, A. A. S. **Estudo de aplicação de resíduo de argamassa de cimento nas propriedades do solo-cimento compactado**. 46º Congresso Brasileiro do Concreto – IBRACON – Vol. V Pré-Fabricados em Concreto. p. 229. Anais. Florianópolis. SC. 2004.

FERREIRA, R. C.; **Desempenho físico-mecânico e propriedades termo-físicas de tijolos e mini-painéis de terra crua tratada com aditivos químicos**. Campinas, 2003. 204p. Tese (Doutorado). UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas.

FERREIRA, R. C.; SILVA, E. M. **Tijolos prensados de solo-cimento em alvenaria aparente auto-portante no “Conjunto Nossa Morada”**. Anais III ENECS- Encontro Nacional sobre edificações e comunidades sustentáveis, São Carlos, SP. 2003. Acesso em março, 2007.

FIGUEIROLA, V.; **Alvenaria de solo-cimento**. TÉCNICE. Ed. 85, abril-2004. Disponível em <<http://www.revistatechne.com.br>>

GOOGLE EARTH Disponível em <<http://earth.google.com/>>. Acesso em novembro, 2007.

GONÇALVES, J. S. **Contribuição para a normalização da alvenaria estrutural com uso de tijolo de terra crua para construção urbana**. João Pessoa, 2005. 147p. Dissertação de Mestrado – Centro de Tecnologia Universidade Federal da Paraíba.

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.

HABITARE, Revista. Rio de Janeiro, ano 4. ago. 2004. **Fotos disponíveis em:** <<http://habitare.infohab.org.br>>. Acesso em setembro, 2006.

GREVEN, H. A.; BALDAULF, A. S. F. **Introdução à coordenação modular da construção no Brasil: uma abordagem atualizada**. Coleção Habitare, volume 9. ANTAC Porto Alegre, 2007. Disponível em: [http://www.habitare.org.br/publicacao\\_colecao10.aspx](http://www.habitare.org.br/publicacao_colecao10.aspx). Acesso em setembro, 2008.

ICPA, Instituto del Cemento Portland Argentino, Boletín. **Suelo-cemento: un material con muchas aplicaciones**. Buenos Aires, Argentina, n.º. 139. enero-febrero. 1991. Disponível em: <<http://www.icpa.org.ar>>. Acesso em junho, 2007.

JOHN, V. M. **Panorama sobre a reciclagem de resíduos na construção civil**. In: II Seminário – Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil. IBRACON, Comitê Técnico CT 206, Meio Ambiente. Anais. São Paulo, 1999.

KHEDARI, J.; WATSANATHAPORN, P.; HIRUNLABH, J.; **Desenvolvimento de blocos de solo-cimento com fibras de baixa condutividade térmica**. Tailândia, 2005.p. 111-116. **Cement & Concrete Composites**.

LAPIN TIJOLOS. **Tijolos modulares e peças acessórias para uso da técnica**. Fotos tipos de tijolos. Disponível em <<http://www.lapintijolos.com.br>>. Acesso em: 01 abr.2008.

LIMA, F. X. R. F. **Estudo de aplicação de resíduo de argamassa de cimento em tijolos de solo-cimento e sua influência no desempenho térmico das edificações**. Goiânia, 2007. Dissertação (Mestrado) Engenharia do Meio Ambiente - Universidade Federal de Goiás.

METHA, P. K., MONTEIRO, P. J. M. **Concreto – Estrutura, Propriedades e Materiais**. São Paulo: PINI, 1994. 573p.

MILANI, A. P. S.; **Avaliação físico-mecânica de tijolos de solo-cimento e de solo-cal adicionados de casca de arroz**. Campinas, 2005. 113p. Dissertação (Mestrado) Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas.

MIRANDA, R. A. C. **Estudo da aplicação de resíduo de marmorarias em Tijolos de solo-cimento**. Goiânia, 2007. Dissertação (Mestrado) Engenharia do Meio Ambiente - Universidade Federal de Goiás.

OIKOS. **Fotos disponíveis em:** < <http://www.oikos.com.br/>>. Acesso em março, 2007.

PARATI. **Foto Igreja de Santa Rita**. Disponível em: <<http://www.parati.com.br/rita.htm>>. Acesso em setembro, 2006.

PASSOS, M. E. M.; LIMA, S. M. Z.; SANTOS, F. A. **Utilização de tijolos de solo-cimento na construção de casas populares: treinamento de mão-de-obra e resultados**. Belo Horizonte, 2001. CEFET/MG. Disponível em: <<http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGET2001>>. Acesso em março, 2008.

PINTO, T.P.; **Metodologia para gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana** – São Paulo, 1999. Tese (Doutorado) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – USP.

PIRES, I. B. A. **A utilização do tijolo ecológico para construção de habitações populares.** Salvador, 2004. Trabalho de Conclusão de Curso de graduação em Engenharia Civil da Universidade de Salvador. BA.

RAMALHO, M. A.; CORRÊA, M. R. S. **Projeto de edifícios de alvenaria estrutural.** São Paulo: PINI, 2003. 174p.

REDDY, B. V. V.; **Sustainable building technologies.** Índia. In: Current Science Special Section: Application of S&T to rural areas. Vol.87, nº. 7. Out.2004.

REIS, A. **O solo como material de construção.** Revista Habitare. Rio de Janeiro, ano 4 ago. 2004. Disponível em: <<http://habitare.infohab.org.br>>. Acesso em: Out, 2004.

RODRIGUES, P. F. **Construções em terra crua. Tecnologias, potencialidades e patologias.** Faculdade de Ciências e Tecnologia- Universidade Nova Lisboa, 2005. Disponível em: <<http://www.dec.fct.unl.pt/seccoes/smtc/Musa>>. Acesso em abril, 2007.

SAHARA – **O solo-cimento na fabricação de Tijolo Modular – Brick.** Disponível em:<<http://www.sahara.com.br>>. Acesso em setembro, 2006.

SASSINE, V. J. Área verde vira depósito de entulho. **O Popular.** Goiânia, 13 jul. 2008. Cidades, p.3.

SILVA, C. G. T. **Conceitos e Preconceitos relativos à Terra Crua.** Rio de Janeiro, 2000.155p. Dissertação (Mestrado) – Escola Nacional de Saúde Pública, Fundação Oswaldo Cruz.

SILVEIRA, P. E. M. **A aplicação do resíduo de construção e demolição reciclado no compósito solo-cimento.** Rio Claro, 2005. 132p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.

SIMAS, J. **Avaliação do desempenho de blocos de concreto para alvenaria com e sem função estrutural produzidos com resíduos de concreto compactado com rolo.** Dissertação de Mestrado Escola de Engenharia Civil – EEC, Universidade Federal de Goiás – UFG. Goiânia, 2004.

SOUZA, M. I. B.; **Análise da adição de resíduos de concreto em tijolos prensados de solo-cimento.** Ilha Solteira, 2006, 122p. Dissertação (Mestrado) Universidade Estadual Paulista.

SOUZA, M. I.; B. PEREIRA, J. A.; SEGANTINI, A. A. S. **Tijolos de solo-cimento com resíduos de construção.** TÉCHNE. Ed. 113, agosto-2006. pgs.60-65.

ULSEN, C.; **Caracterização tecnológica de resíduos de construção e demolição.** São Paulo, 2006, 200p. Dissertação (Mestrado) Universidade de São Paulo.

VARGAS, M.; **Introdução a mecânica dos solos.** Ed. Mc Graw-Hill do Brasil Ltda, 1978. 510p.

VITRUVIUS. **Foto Clínica Hospital Popular, La Villa.** Disponível em: <<http://www.vitruvius.com.br>>. Acesso em: março, 2007.

WIKIPEDIA. **Fotos disponíveis** em: <<http://pt.wikipedia.org>>. Acesso em fev, 2007.

ZORDAN, S. E; **Entulho da Indústria da construção civil**. Escola Politécnica da USP.1997.  
Disponível em: <http://www.reciclagem.pcc.usp.br>. Acesso em: mar, 2007.

## APÊNDICE

### ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS OBTIDOS

#### 1. Absorção de água com o tempo – teste $t$ ; $P = 0,05$ .

Composição	Médias		SP <sup>2</sup>	$t_{cal}$	$t_{tab}$	Resultado
	7 dias	28 dias				
SN	25,8	23,6	4,67	2,49	2,78	N. significativo
S <sub>5</sub> R	24,0	23,1	0,46	3,25		Significativo
S <sub>10</sub> R	23,8	23,1	0,06	7,00		Significativo
S <sub>15</sub> R	22,2	20,8	0,095	11,13		Significativo
S <sub>20</sub> R	21,2	24,0	3,75	3,54		Significativo
SRA	27,2	21,8	0,71	4,07		Significativo
S <sub>5</sub> RA	23,7	21,8	0,35	10,77		Significativo
S <sub>10</sub> RA	23,1	20,7	0,45	8,76		Significativo
S <sub>15</sub> RA	22,9	20,8	3,21	2,87		Significativo
S <sub>20</sub> RA	20,6	22,5	2,85	2,76		N. significativo
S <sub>20</sub> RAA	19,1	22,5	0,91	8,73		Significativo

#### 2. Absorção variando-se a porcentagem de resíduo

##### 2.1. Composições sem aditivo plastificante

Composições	7 dias					28 dias				
	SN	S <sub>5</sub> R	S <sub>10</sub> R	S <sub>15</sub> R	S <sub>20</sub> R	SN	S <sub>5</sub> R	S <sub>10</sub> R	S <sub>15</sub> R	S <sub>20</sub> R
<b>T</b>	77,3	72	71,4	66,5	63,6	70,8	69,3	69,4	62,3	72
<b>r</b>	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
<b>Média</b>	25,8	24,0	23,8	22,2	21,2	23,6	23,1	23,1	20,8	24,0
<b>G.L.trat</b>	4					4				
<b>G.L.total</b>	14					14				
<b>G.L.res.</b>	10					10				
<b>Correção</b>	8204					7879,9				
<b>SQT</b>	64,54					28,04				
<b>SQTr</b>	37,49					19,03				
<b>SQR</b>	27,05					9,01				
<b>QMTr</b>	9,37					4,76				
<b>QMR</b>	2,705					0,901				
<b>Valor F</b>	3,46					5,28				
<b>F tab</b>	3,48					3,48				
<b>Resultado</b>	Não significativo					Significativo				
<b>d.m.s</b>	-					2,54				

## 2.2. Composições com aditivo plastificante

Composições	7 dias						28 dias					
	SNA	S <sub>5</sub> RA	S <sub>10</sub> RA	S <sub>15</sub> RA	S <sub>20</sub> RA	S <sub>20</sub> RAA	SNA	S <sub>5</sub> RA	S <sub>10</sub> RA	S <sub>15</sub> RA	S <sub>20</sub> RA	S <sub>20</sub> RAA
<b>T</b>	69,5	71,0	69,3	68,7	61,9	57,3	65,3	63,2	62,0	62,3	67,5	67,6
<b>r</b>	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
<b>Média</b>	23,2	23,7	23,1	22,9	20,6	19,1	21,8	21,1	20,7	20,8	22,5	22,5
<b>G.L.trat</b>	5						5					
<b>G.L.total</b>	17						17					
<b>G.L.res.</b>	12						12					
<b>Correção</b>	8787						8359,2					
<b>SQT</b>	64,43						29,13					
<b>SQTr</b>	49,11						10,7					
<b>SQR</b>	15,32						18,43					
<b>QMTr</b>	9,82						2,14					
<b>QMR</b>	1,28						1,53					
<b>Valor F</b>	7,67						1,4					
<b>F tab</b>	3,11						3,11					
<b>Resultado</b>	Significativo						Não significativo					
<b>d.m.s</b>	3,10						-					

## 3. Evolução da absorção com aditivo plastificante

Composições	Médias		SP <sup>2</sup>	t <sub>calc.</sub>	t <sub>tab.</sub>	Resultados
	1	2				
8 dias	SN/SNA	25,8	23,2	4,27	3,08	Significativo
	S <sub>5</sub> R/S <sub>5</sub> RA	24,0	23,7	0,3725	1,20	Não significativo
	S <sub>10</sub> R/S <sub>10</sub> RA	23,8	23,1	0,13	4,75	Significativo
	S <sub>15</sub> R/S <sub>15</sub> RA	22,2	22,9	2,17	1,16	Não significativo
	S <sub>20</sub> R/S <sub>20</sub> RA	21,2	20,7	3,37	0,66	Não significativo
	S <sub>20</sub> R/S <sub>20</sub> RAA	21,2	19,1	3,07	2,94	Significativo
28 dias	SN/SA	23,6	21,8	1,108	4,19	Significativo
	S <sub>5</sub> R/S <sub>5</sub> RA	23,1	21,1	0,418	7,49	Significativo
	S <sub>10</sub> R/S <sub>10</sub> RA	23,1	20,7	0,38	9,53	Significativo
	S <sub>15</sub> R/S <sub>15</sub> RA	20,7	20,7	-	0	Não significativo
	S <sub>20</sub> R/S <sub>20</sub> RA	24,0	22,5	3,22	2,05	Não significativo
	S <sub>20</sub> R/S <sub>20</sub> RAA	24,0	22,5	1,58	2,96	Significativo

#### 4. Evolução da resistência com o tempo

Composição	Médias		SP <sup>2</sup>	$t_{cal}$	$t_{tab}$	Resultado
	7 dias	28 dias				
SN	0,88	1,61	0,079	6,36	2,78	Significativo
S <sub>5</sub> R	1,18	1,54	0,019	6,40		Significativo
S <sub>10</sub> R	1,47	1,58	0,058	1,12		Não significativo
S <sub>15</sub> R	1,62	1,78	0,049	1,77		Não significativo
S <sub>20</sub> R	1,73	1,30	0,025	6,67		Significativo
SRA	0,99	1,52	0,125	3,68		Significativo
S <sub>5</sub> RA	1,36	1,47	0,037	1,40		Não significativo
S <sub>10</sub> RA	1,52	1,58	0,064	0,58		Não significativo
S <sub>15</sub> RA	1,87	1,75	0,026	1,87		Não significativo
S <sub>20</sub> RA	1,55	1,76	0,009	5,51		Significativo
S <sub>20</sub> RAA	1,67	1,79	0,026	1,82		Não significativo

#### 5. Evolução da resistência à compressão com variação de resíduo

##### 5.1 Composições sem aditivo plastificante

Composições	7 dias					28 dias				
	SN	S <sub>5</sub> R	S <sub>10</sub> R	S <sub>15</sub> R	S <sub>20</sub> R	SN	S <sub>5</sub> R	S <sub>10</sub> R	S <sub>15</sub> R	S <sub>20</sub> R
T	2,63	3,58	4,42	4,86	5,20	4,83	4,62	4,75	5,34	3,91
r	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Média	0,88	1,18	1,47	1,62	1,73	1,61	1,54	1,58	1,78	1,30
G.L.trat.	4					4				
G.L. total	14					14				
G.L. res.	10					10				
Correção	28,4					36,7				
SQT	1,898					0,831				
SQTr	1,458					0,353				
SQR	0,44					0,478				
QMTr	0,3645					0,088				
QMR	0,044					0,048				
Valor F	8,28					1,84				
F tab	3,48					3,48				
Resultado	Significativo					Não significativo				
d.m.s	0,56					2,54				

## 5.2 Composições com aditivo plastificante

Composições	7 dias						28 dias					
	S <sub>N</sub> A	S <sub>5</sub> RA	S <sub>10</sub> RA	S <sub>15</sub> RA	S <sub>20</sub> RA	S <sub>20</sub> RAA	S <sub>N</sub> A	S <sub>5</sub> RA	S <sub>10</sub> RA	S <sub>15</sub> RA	S <sub>20</sub> RA	S <sub>20</sub> RAA
<b>T</b>	2,98	4,08	4,57	5,62	4,66	5,00	4,55	4,42	4,75	5,25	5,29	5,36
<b>r</b>	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
<b>Média</b>	0,99	1,36	1,52	1,87	1,55	1,67	1,52	1,47	1,58	1,75	1,76	1,79
<b>G.L.trat.</b>	5						5					
<b>G.L. tot.</b>	17						17					
<b>G.L. res.</b>	12						12					
<b>Correção</b>	40,23						48,74					
<b>SQT</b>	1,70						0,955					
<b>SQTr</b>	1,34						0,286					
<b>SQR</b>	0,36						0,669					
<b>QMTr</b>	0,268						0,0572					
<b>QMR</b>	0,03						0,0558					
<b>Valor F</b>	8,93						1,03					
<b>F tab</b>	3,11						3,11					
<b>Resultado</b>	Significativo						Não significativo					
<b>d.m.s</b>	0,475						-					

## 6 Evolução da resistência à compressão com incorporação do aditivo plastificante

Composições	Médias		SP <sup>2</sup>	t <sub>calc.</sub>	t <sub>tab.</sub>	Resultados
	1	2				
8 dias	SN/SNA	0,88	0,99	0,097	0,78	Não significativo
	S <sub>5</sub> R/S <sub>5</sub> RA	1,18	1,36	0,016	3,49	Significativo
	S <sub>10</sub> R/S <sub>10</sub> RA	1,47	1,58	0,0588	1,11	Não significativo
	S <sub>15</sub> R/S <sub>15</sub> RA	1,62	1,87	0,00148	15,95	Significativo
	S <sub>20</sub> R/S <sub>20</sub> RA	1,73	1,55	0,004	6,97	Significativo
	S <sub>20</sub> R/S <sub>20</sub> RAA	1,73	1,67	0,0264	0,90	Não significativo
28 dias	SN/SA	1,61	1,52	0,1066	0,67	Não significativo
	S <sub>5</sub> R/S <sub>5</sub> RA	1,54	1,47	0,0122	1,55	Não significativo
	S <sub>10</sub> R/S <sub>10</sub> RA	1,58	1,58	-	0	Não significativo
	S <sub>15</sub> R/S <sub>15</sub> RA	1,78	1,75	0,0727	0,27	Não significativo
	S <sub>20</sub> R/S <sub>20</sub> RA	1,30	1,76	0,0295	6,56	Significativo
	S <sub>20</sub> R/S <sub>20</sub> RAA	1,30	1,79	0,0244	7,68	Significativo