

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE ESTRUTURAS

PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DE BLOCOS
ESTRUTURAIS PRODUZIDOS COM AGREGADOS RECICLADOS
DE CONCRETO

Danilo Mascarenhas Prado

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia
de São Carlos da Universidade de São Paulo,
como parte dos requisitos para a obtenção do
Título de Mestre em Engenharia de Estruturas.

Orientador: Prof. Associado Márcio Antonio Ramalho

São Carlos

2006

AGRADECIMENTOS

Quando não conseguimos realizar nosso objetivo tentamos colocar a culpa em alguém, mas no fundo sabemos que a culpa é inteiramente nossa por não sabermos retirar as pedras e as pessoas erradas do caminho.

Quando conseguimos concluir com êxito nosso objetivo temos a obrigação de dividir nossa felicidade e agradecer àqueles que nos ajudaram. Sem a contribuição dessas pessoas, chegar até aqui seria impossível.

Agradeço principalmente aos meus pais, por toda educação e apoio que me transmitiram. Minha mãe, Vera Lúcia Mascarenhas Leite, por me ensinar a passar por cima de qualquer problema e meu Pai, Elias Ximenes do Prado Júnior, que me ensinou a pensar sempre um pouco mais além.

A todos os meus familiares e amigos do Piauí, em especial meus irmãos, que são meus amigos eternos.

Aos meus novos amigos, que com certeza chamarei um dia de velhos amigos, Alice, Anderson, Danusa, Fernanda, Gustavo, Kenneth, Ricardo e Tatiane, entre outros, pois sem os momentos que convivemos as lembranças do mestrado não seriam as mesmas.

À Thais Nina, uma mulher muito especial e importante na minha vida, a qual a distância afastará, mas as lembranças serão eternas.

A todos os professores que já tive desde o maternal à pós-graduação, por terem me repassado parte dos seus conhecimentos.

À Alexandre Buttler, que foi um excelente companheiro de trabalho – sempre dedicado a ensinar e desenvolver o estudo, por mais cansativo que este fosse.

Ao professor Marcio Antonio Ramalho, pela orientação neste trabalho.

À indústria Tatu Pré-moldados, por acreditar no estudo e fornecer infra-estrutura para a produção dos blocos utilizados nesta pesquisa.

Ao CNPq e à CAPES pelo financiamento da bolsa de estudo, à FAPESP pelo auxílio à pesquisa e ao Departamento de Estruturas da USP de São Carlos, pela oportunidade que me foi dada de realizar uma pós-graduação.

SUMÁRIO

SUMÁRIO	i
LISTA DE FIGURAS	ii
LISTA DE TABELAS	iii
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	iv
LISTA DE SÍMBOLOS	iv
RESUMO	vii
ABSTRACT	viii
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Considerações iniciais	1
1.2. Objetivo	3
1.3. Justificativa	3
1.4. Metodologia	5
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	9
2.1. Estudos já realizados	9
2.2. Fundamentação teórica	15
3. ENSAIOS E PROCEDIMENTOS EMPREGADOS	31
3.1. Aspectos gerais	31
3.2. Agregados	32
3.3. Corpos de prova	45
3.4. Blocos de concreto	52
3.5. Prismas de três blocos de concreto	66
4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	67
4.1. Resultados obtidos para agregados	67
4.2. Ensaio piloto de corpos de prova	84
4.3. Ensaio piloto para comparação entre corpos de prova e blocos	88
4.4. Resultados obtidos para corpos de prova	92
4.5. Resultados obtidos para blocos de concreto	100
4.6. Resultados obtidos para prisma de blocos de concreto	116
5. CONCLUSÕES	119
5.1. Considerações finais	119
5.2. Sugestões para o prosseguimento da pesquisa	122
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	124

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 3.1 – Equipamentos usados para granulometria</i>	33
<i>Figura 3.2 – Ensaio massa específica proposto pela NBR 9937</i>	34
<i>Figura 3.3 – Espuma no frasco de Chapman</i>	36
<i>Figura 3.4 – Ensaio de granulometria proposto por leite – agregado graúdo</i>	37
<i>Figura 3.5 – Ensaio de granulometria proposto por leite – agregado miúdo</i>	39
<i>Figura 3.6 – Velocidade de secagem x umidade, [BROWN et al (1965) apud DIAS (2004)]</i>	40
<i>Figura 3.7 – Ensaio de granulometria proposto Dias</i>	41
<i>Figura 3.8 – Ensaio de massa unitária</i>	43
<i>Figura 3.9 – Ensaio de abrasão na máquina “Los Angeles”</i>	43
<i>Figura 3.10 – Ensaio de argamassa aderida</i>	45
<i>Figura 3.11 – Moldagem de corpos de prova</i>	46
<i>Figura 3.12 – Ensaio de resistência à compressão de corpos de prova</i>	47
<i>Figura 3.13 – Ensaio de tração diametral de corpos de prova</i>	48
<i>Figura 3.14 – Ensaio de módulo de deformação de corpos de prova</i>	49
<i>Figura 3.15 – Ensaio de massa específica, absorção de água e índice de vazios em corpos de prova</i>	50
<i>Figura 3.16 – Ensaio de coesão para corpos de prova</i>	51
<i>Figura 3.17 – Britagem e peneiramento do concreto</i>	53
<i>Figura 3.18 – Armazenamento dos agregados</i>	54
<i>Figura 3.19 – Controle dos traços em número de voltas</i>	54
<i>Figura 3.20 – Mistura do material com controle de umidade</i>	55
<i>Figura 3.21 – Moldagem, cura e transporte dos blocos</i>	56
<i>Figura 3.22 – Ensaio de estabilidade dimensional e aspecto visual</i>	57
<i>Figura 3.23 – Ensaio de Massa específica e índice de vazios</i>	58
<i>Figura 3.24 – Ensaio de absorção de água, teor de umidade e área líquida</i>	59
<i>Figura 3.25 – Ensaio de absorção de água imediata (IRA)</i>	61
<i>Figura 3.26 – Ensaio de compressão dos blocos</i>	62
<i>Figura 3.27 – Ensaio de tração indireta dos blocos</i>	63
<i>Figura 3.28 – Ensaio piloto de módulo de deformação do bloco</i>	64
<i>Figura 3.29 – Ensaio de módulo de deformação do bloco</i>	65
<i>Figura 3.30 – Ensaio prismas de três blocos de concreto</i>	66
<i>Figura 4.1 – Curva granulométrica dos agregados graúdos</i>	70
<i>Figura 4.2 – Curva granulométrica dos agregados miúdos</i>	70
<i>Figura 4.3 – Determinação da absorção de água por meio de gráfico</i>	75
<i>Figura 4.4 – Gráfico de comparação entre os métodos de absorção de água</i>	77
<i>Figura 4.5 – Comparação visual entre corpos de prova com 50, 40, 30% de pedrisco</i>	87
<i>Figura 4.6 – Produção de corpos de prova e blocos na indústria para uso no ensaio piloto</i>	89

<i>Figura 4.7 – Baias de alimentação da indústria.....</i>	<i>93</i>
<i>Figura 4.8 – Problemas na produção de blocos.....</i>	<i>102</i>
<i>Figura 4.9 – Gráficos das resistências à compressão mínimas, médias e máximas de cada traço.....</i>	<i>107</i>

LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 1.1 – Percentual de perdas na construção.....</i>	<i>8</i>
<i>Tabela 2.1 – Custos de gerenciamento de resíduos de construção.....</i>	<i>17</i>
<i>Tabela 2.2 – Percentual de perdas na construção.....</i>	<i>18</i>
<i>Tabela 2.3 – Especificações do RILEM Recommendation.....</i>	<i>20</i>
<i>Tabela 2.4 – Fatores de correção das propriedades do concreto com agregado reciclado.....</i>	<i>20</i>
<i>Tabela 4.1 – Composição granulométrica dos agregados graúdos reciclados.....</i>	<i>68</i>
<i>Tabela 4.2 – Composição granulométrica dos agregados miúdos reciclados.....</i>	<i>69</i>
<i>Tabela 4.3 – Composição granulométrica dos agregados naturais.....</i>	<i>69</i>
<i>Tabela 4.4 – Absorção de água e massa específica de agregados graúdos pelo método da norma brasileira.....</i>	<i>71</i>
<i>Tabela 4.5 – Massa específica de agregados miúdos pelo método da norma brasileira.....</i>	<i>72</i>
<i>Tabela 4.6 – Absorção de agregados graúdos reciclados pelo método proposto por Leite (2001).....</i>	<i>73</i>
<i>Tabela 4.7 – Absorção de água de agregados graúdo pelo método de DIAS (2004).....</i>	<i>76</i>
<i>Tabela 4.8 – Absorção de água de agregados miúdos pelo método de DIAS (2004).....</i>	<i>76</i>
<i>Tabela 4.9 – Comparação dos resultados de absorção de agregados graúdos para cada um dos métodos avaliados com os valores da NBR 9937 (1987).</i>	<i>78</i>
<i>Tabela 4.10 – Massa unitária solta de agregados graúdos.....</i>	<i>79</i>
<i>Tabela 4.11 – Massa unitária solta e compactada de agregados miúdos.....</i>	<i>79</i>
<i>Tabela 4.12 – Abrasão Los Angeles.....</i>	<i>80</i>
<i>Tabela 4.13 – Angulosidade dos agregados graúdos e miúdos.....</i>	<i>81</i>
<i>Tabela 4.14 – Argamassa aderida.....</i>	<i>82</i>
<i>Tabela 4.15 – Resumo das propriedades dos agregados.....</i>	<i>83</i>
<i>Tabela 4.16 – Produção de corpos de prova variando a quantidade de golpes, umidade e percentual de pedrisco para o traço 1:18.....</i>	<i>86</i>
<i>Tabela 4.17 – Características dos CPs variando o traço e a quantidade de golpes.....</i>	<i>88</i>
<i>Tabela 4.18 – Dados comparativos do ensaio piloto de blocos e CPs.....</i>	<i>90</i>
<i>Tabela 4.19 – Porcentagem dos agregados na composição do concreto.....</i>	<i>94</i>
<i>Tabela 4.20 – Resistência à compressão, módulo de deformação e traço em peso de CPs.....</i>	<i>95</i>
<i>Tabela 4.21 – Resistência à tração, coesão, massa específica, e absorção de água dos CPs.....</i>	<i>97</i>
<i>Tabela 4.22 – Resumo dos corpos de prova não apropriados para produção de blocos.....</i>	<i>99</i>
<i>Tabela 4.23 – Porcentagem dos agregados miúdos na composição dos blocos.....</i>	<i>101</i>

<i>Tabela 4.24 – Estabilidade dimensional dos blocos</i>	<i>103</i>
<i>Tabela 4.25 – Absorção de água, IRA, massa específica e índice de vazios dos blocos.....</i>	<i>104</i>
<i>Tabela 4.26 – Resistência à compressão dos blocos.....</i>	<i>106</i>
<i>Tabela 4.27 – Resistência à tração dos blocos</i>	<i>110</i>
<i>Tabela 4.28 – Módulo de deformação dos blocos.....</i>	<i>111</i>
<i>Tabela 4.29 – Comparação da massa específica, absorção e índice de vazios entre blocos e CPs.</i>	<i>113</i>
<i>Tabela 4.30 – Comparação entre as resistências à compressão dos blocos e corpos de prova</i>	<i>115</i>
<i>Tabela 4.31 – Resistência à compressão e módulo de deformação das argamassas.....</i>	<i>116</i>
<i>Tabela 4.32 – Módulo de deformação e resistência à compressão dos prismas.....</i>	<i>117</i>

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<i>ABNT -</i>	<i>Associação Brasileira de Normas Técnicas</i>
<i>ASTM -</i>	<i>American Society for Testing and Materials</i>
<i>CONAMA -</i>	<i>Conselho Nacional do Meio Ambiente</i>
<i>EESC -</i>	<i>Escola de Engenharia de São Carlos</i>
<i>NBR -</i>	<i>Norma Brasileira Registrada</i>
<i>RILEM -</i>	<i>Réunion Internationale des Laboratoires d'Essais et de Recherches sur les Matériaux et les Constructions</i>
<i>USGS -</i>	<i>United States Geological Survey</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

<i>a/c -</i>	<i>relação água/cimento</i>
<i>Angul. -</i>	<i>valor relativo da angulosidade do agregado</i>
<i>A_{liq} -</i>	<i>área líquida do bloco (cm²)</i>
<i>A_{bruta} -</i>	<i>área bruta do bloco (cm²)</i>
<i>Ab -</i>	<i>absorção do agregado (%)</i>
<i>Ab_{imersa} -</i>	<i>absorção do agregado para a massa imersa (%), para o ensaio proposto pro Leite</i>
<i>Ab_{seca} -</i>	<i>absorção do agregado para a massa seca (%), para o ensaio proposto pro Leite</i>
<i>CPs -</i>	<i>corpos de prova</i>
<i>dM -</i>	<i>variação da massa a cada leitura (g), para o ensaio proposto pro Dias</i>
<i>dT -</i>	<i>variação do tempo, em minutos, para o ensaio proposto pro Dias</i>
<i>D.máx -</i>	<i>dimensão máxima característica, mm</i>
<i>Eq. -</i>	<i>equação</i>
<i>f_{tb} -</i>	<i>resistência à tração indireta do bloco (MPa)</i>
<i>g/cm³ -</i>	<i>grama/centímetro cúbico</i>
<i>H -</i>	<i>altura do bloco (cm)</i>
<i>IRA -</i>	<i>Initial Rate of Absortion (taxa de absorção inicial)</i>
<i>I.V. -</i>	<i>índice de vazios (%)</i>

k - coeficiente de adequação devido à diferença geométrica entre o bloco e o CP

kg/dia - quilograma/dia

kg/dm^3 - quilograma/decímetro cúbico

$kg/hab.ano$ - quilograma/habitante x ano

L - distância em que é aplicada à força, no ensaio de tração

$M_{especifica}$ - massa específica do agregado

M_{final} - massa imersa ao final do ensaio (g), para o ensaio proposto pro Leite

M_i - massa imersa em água (g)

$M_{inicial}$ - massa imersa inicial do ensaio (g), para o ensaio proposto pro Leite

M_s - massa na condição seca (g)

M_{sat} - massa na condição saturada superfície seca (g)

M_{si} - massa seca (g), para o ensaio proposto pro Dias

$M_{unitaria}$ - massa unitária compactada do agregado

M_1 - massa seca do bloco (g)

M_2 - massa na condição saturada superfície seca do bloco(g)

M_3 - massa natural do bloco no início do ensaio (g)

M_4 - massa imersa em água do bloco (g)

M_5 - massa do bloco no final do ensaio de IRA

$M.F.$ - módulo de finura

MPa - Mega Pascoal

P - força máxima aplicada pela máquina (kN)

REF - corpos de prova ou blocos produzidos com agregados naturais

RCD - resíduos de construção e demolição

R_{cp} - resistência à compressão do corpo de prova (MPa)

R_{bloco} - resistência à compressão do bloco (MPa)

u - umidade (%)

v - velocidade de secagem (g/min.g), para o ensaio proposto pro Dias

γ_s - massa específica seca (kg/dm³)

γ_{sss} - massa específica saturada superfície seca (kg/dm³)

γ_{bs} - massa específica seca do bloco (kg/dm³)

γ_{bsss} - massa específica saturada superfície seca do bloco (kg/dm³)

Para agregados

$RGVigota$ - agregado graúdo reciclado proveniente de vigotas de concreto

$RGPrensa$ - agregado graúdo reciclado proveniente da prensagem no processo de produção do bloco de concreto

$RGBloco$ - agregado graúdo reciclado proveniente de blocos

$RGMisturador$ - agregado graúdo reciclado do misturador no processo de produção do bloco de concreto

$RGTelha$ - agregado graúdo reciclado proveniente de Telhas de concreto

$RMVigota$ - agregado miúdo reciclado proveniente de vigotas de concreto;

- RMPrensa - agregado miúdo reciclado proveniente da prensagem no processo de produção do bloco de concreto*
- RMBloco - agregado miúdo reciclado proveniente de blocos*
- RMMisturador - agregado miúdo reciclado do misturador no processo de produção do bloco de concreto*
- RMTelha - agregado miúdo reciclado proveniente de Telhas de concreto*

Para corpos de prova

- 1:20 REF - corpo de prova com agregado natural com traço em volume de 1:20;*
- 1:15 REF - corpo de prova com agregado natural com traço em volume de 1:15;*
- 1:10 REF - corpo de prova com agregado natural com traço em volume de 1:10;*
- 100% RGV - corpo de prova com substituição de 100% do agregado natural (pedrisco) por agregado graúdo reciclado de vigota;*
- 50% RGV - corpo de prova com substituição de 50% do agregado natural (pedrisco) por agregado graúdo reciclado de vigota;*
- 33% RMV - corpo de prova com substituição de 50% do agregado natural (pedrisco) por agregado graúdo reciclado de vigota e 33% do pó de pedra pelo agregado miúdo reciclado de vigota;*
- 100% RGB - corpo de prova com substituição de 100% do agregado natural (pedrisco) por agregado graúdo reciclado de vigota;*
- 50% RGB - corpo de prova com substituição de 50% do agregado natural (pedrisco) por agregado graúdo reciclado de vigota;*
- 33% RMB - corpo de prova com substituição de 50% do agregado natural (pedrisco) por agregado graúdo reciclado de vigota e 33% do pó de pedra pelo agregado miúdo reciclado de vigota.*

Para blocos

- 1:20 REF - bloco com agregado natural com traço em volume de 1:20*
- 1:15 REF - bloco com agregado natural com traço em volume de 1:15*
- 1:10 REF - bloco com agregado natural com traço em volume de 1:10*
- 100% RGV - bloco com substituição de 100% do agregado natural (pedrisco) por agregado graúdo reciclado de vigota*
- 50% RGV - bloco com substituição de 50% do agregado natural (pedrisco) por agregado graúdo reciclado de vigota*
- 33% RMV - bloco com substituição de 33% do pó de pedra pelo agregado miúdo reciclado de vigota*
- 100% RGB - bloco com substituição de 100% do agregado natural (pedrisco) por agregado graúdo reciclado de vigota*
- 50% RGB - bloco com substituição de 50% do agregado natural (pedrisco) por agregado graúdo reciclado de vigota*
- 33% RMB - bloco com substituição de 33% do pó de pedra pelo agregado miúdo reciclado de vigota*

RESUMO

PRADO, D. M. (2006). Propriedades Físicas e Mecânicas de Blocos Estruturais Produzidos com Agregados Reciclados de Concreto. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos – SP. 128p.

Este trabalho estuda a influência da utilização de resíduos de concreto (fração graúda ou miúda) nas características físicas e mecânicas de blocos de concreto estruturais, comparando-as com as características obtidas para blocos produzidos com agregados naturais. Foram utilizados resíduos obtidos de diferentes fontes oriundas de uma indústria de pré-moldados e pesquisados limites para a substituição dos agregados naturais por esses agregados reciclados. Inicialmente, foram realizados ensaios de caracterização dos agregados reciclados de concreto para avaliar o potencial de aplicação de cada um deles. Após serem selecionados os dois agregados mais apropriados para o estudo (resíduos de vigotas e blocos), foram produzidos corpos de prova com três traços em volume 1:20, 1:15 e 1:10, com substituições de 100% e 50% para agregados graúdos e de 33% para agregados miúdos. Quase todos esses traços e substituições foram utilizados para produzir blocos de concreto em uma indústria de pré-moldados, objetivando-se obter resistências à compressão de 4.5, 8.0 e 12.0 MPa. Os resultados obtidos para blocos com agregados reciclados foram então comparados com aqueles obtidos utilizando-se agregados naturais. Observou-se que, apesar de algumas propriedades apresentarem alterações, foram obtidos valores adequados para os parâmetros mais importantes, principalmente quanto à resistência à compressão e à absorção de água. Por fim, foram produzidos e ensaiados prismas com os blocos com agregados reciclados que apresentaram melhor desempenho, sendo avaliados a resistência à compressão e o módulo de deformação. Os resultados mostraram que os valores de eficiência prisma/bloco não foram significativamente alterados e os valores para os módulos de deformação resultaram próximos, tanto para blocos com agregados reciclados quanto para blocos com agregados naturais.

Palavras chave: Alvenaria estrutural; Reciclagem; Blocos de concreto; Prismas

ABSTRACT

PRADO, D. M. (2006). Physical and mechanical properties of structural blocks produced with recycled aggregates of concrete. M.Sc. Degree Thesis. – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos – SP. 128p.

This research deals with the influence of the use of recycled concrete aggregate (coarse and fine) for physical and mechanical characteristics of concrete blocks comparing them with those ones obtained from blocks produced with natural aggregates. Residues from different sources of a prefabricated concrete blocks factory were used and limits for substituting natural aggregates for recycled aggregate were tested. First, several characterization tests for different recycled concrete aggregates were carried out in order to evaluate their properties. Two of them were selected and test samples were produced considering three different mix proportions in volume: 1:20, 1:15 and 1:10, with replacements of 100% and 50% of coarse aggregates and 33% of fine aggregates. Almost all of these proportions were used for preparing concrete blocks with three classes of compression strength: 4.5, 8.0 and 12.5 MPa. Then the obtained results were compared with those ones obtained for blocks with natural aggregates. Despite the fact of the properties were not the same, the physical and mechanical characteristics could be considered adequate, mainly regarding compression and water absorption. Finally, some prisms with blocks of recycled aggregate were produced and tested evaluating the results for compression and deformation modulus. One could observe that the strength rate prism/block was not significantly modified and the deformation modulus were similar either considering blocks of recycled aggregate or blocks of natural aggregate.

Keywords: Structural masonry; Recycling; Concrete blocks; Prisms

1. INTRODUÇÃO

1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A alvenaria é, provavelmente, a mais antiga forma de construção empregada pelo homem. Desde a antiguidade ela tem sido utilizada largamente pelo ser humano em suas habitações, monumentos e templos religiosos. Como exemplos famosos podem ser citados: a pirâmide de Quéops, em que foram utilizados mais de dois milhões de blocos de pedra, o farol de Alexandria, com altura próxima a 190 m, e as grandes catedrais góticas construídas na Idade Média, com vãos expressivos e arquitetura belíssima, realizadas com a utilização de arcos e abóbadas.

Apesar do uso intenso da alvenaria, apenas por volta de 1920 se iniciaram os estudos com base em princípios científicos e experimentação laboratorial. Esta postura possibilitou o desenvolvimento de teorias que fundamentam a arte de se projetar utilizando alvenaria estrutural. A partir daí, edifícios cujas paredes tinham espessuras enormes, como por exemplo o Monadnock Building, construído em Chicago no final do século XIX, com aproximadamente 1,80 m de espessura nas paredes do térreo, cederam lugar a edifícios com paredes mais esbeltas e, portanto, muito mais econômicos.

Entretanto, com a utilização do concreto armado e do aço estrutural, que possibilitaram a construção de edifícios com elementos de reduzidas dimensões, a aplicação da alvenaria dirigiu-se, prioritariamente, às edificações de pequeno porte. Mas

na década de 50, a alvenaria ganhou novo impulso, devido à realização de uma série de experimentações na Europa. Como exemplo pode ser citado Paul Haller, que em 1951 dimensionou e construiu na Suíça um edifício de 13 pavimentos em alvenaria não-armada, com paredes internas de 15 cm de espessura e externas com 37,5 cm. Muitos edifícios também foram construídos na Inglaterra, Alemanha, Suíça e Estados Unidos, sendo que neste último a alvenaria estrutural passou a ser empregada mesmo em zonas sujeitas a abalos sísmicos, utilizando-se neste caso a alvenaria armada.

No Brasil a alvenaria estrutural foi implantada em 1966, quando em São Paulo foram construídos prédios de quatro pavimentos, mas o seu desenvolvimento se deu de maneira lenta devido a muitos fatores, tais como: preconceito dos construtores, maior domínio da tecnologia do concreto armado por parte de construtores e projetistas e pouca divulgação do assunto nas universidades durante o processo de formação do profissional.

Muitos projetistas são leigos no que diz respeito a este sistema construtivo e acabam, assim, optando pelo concreto armado. Isto é também influenciado pelo reduzido número de publicações sobre o assunto em português, pois a maior parte da bibliografia é estrangeira e voltada para as peculiaridades de cada país.

Nos últimos anos essa situação tem se alterado de forma significativa. O interesse por esse sistema estrutural cresceu de forma notável, especialmente pelas condições nitidamente favoráveis que se obtêm em termos de economia. No momento a demanda por tecnologias que possam embasar a execução de obras econômicas e seguras é realmente muito grande. Um exemplo é o crescimento do número de pesquisas e o interesse pela utilização da reciclagem de materiais de construção, que têm mostrado constante evolução ao longo dos últimos anos.

É fato que a utilização de materiais reciclados na construção civil apresenta excelentes perspectivas para o futuro. Em muitos casos têm-se verificado satisfatória viabilidade técnica e econômica para o reaproveitamento imediato dos materiais reciclados. Mas a análise da utilização de materiais reciclados como um todo é bastante

complexa, visto que os processos de utilização e os fatores econômicos envolvidos são variáveis de acordo com cada região do país.

1.2. OBJETIVO

Esta pesquisa tem como objetivo principal estudar a influência da incorporação de resíduos de concreto como agregados (gráúdo e miúdo) nas propriedades físicas e mecânicas de blocos de concreto estruturais, comparando-os com similares produzidos com agregados naturais. Esses resíduos foram originários de concretos com defeito de produção em uma fábrica de pré-moldados. Além disso, foi avaliado o comportamento mecânico de prismas produzidos com esses blocos comparando-os com similares produzidos com agregados naturais. Por fim, esta pesquisa buscou estabelecer limites de porcentagem de substituição para a utilização de cada um dos tipos de agregados reciclados estudados.

1.3. JUSTIFICATIVA

Uma das áreas da engenharia civil que tem apresentado maior potencial de crescimento é, sem sombra de dúvida, a execução de edifícios em alvenaria estrutural. Isso se deve principalmente à economia obtida por esse processo construtivo em relação ao concreto convencional. Por propiciar uma maior racionalidade na execução da obra, reduzindo o consumo e o desperdício dos materiais, essa economia pode chegar a 30% do valor da estrutura, em casos de edifícios em alvenaria não-armada de até 8 pavimentos. Dessa forma, as edificações tornam-se mais baratas para o comprador final, havendo uma melhor inserção no mercado imobiliário, em especial junto às classes média e baixa, que possuem alto déficit habitacional. Portanto, é evidente o grande benefício social que pode advir do desenvolvimento desse processo construtivo.

No entanto, deve-se considerar que o projeto de edifícios de alvenaria estrutural necessita ainda de grandes avanços tecnológicos para se aproximar do desenvolvimento

que se observa para as estruturas convencionais em concreto armado. A própria normalização nacional na área é pobre e um grande esforço precisa ser feito nessa direção para que se possa projetar e executar edifícios econômicos e seguros. Esse esforço deve se dar em pesquisas voltadas para a realidade brasileira, pois sem as quais se tornará praticamente impossível desenvolver de forma satisfatória os procedimentos normativos nessa área.

Outro setor a deve ser desenvolvido no Brasil é a de utilização de resíduos de construção e demolição como: resíduos de entulho pra formação de sub-base de estradas, remodelagem do aço e de plásticos, agregado em blocos de concreto, tendo em vista a grande quantidade de aterros cheios e locais de deposição inadequados que poluem os grandes centros urbanos no país. Para isso foram formuladas normas de utilização e leis de responsabilidade sobre os resíduos de construção civil como a NBR 15115 (2004), NBR 15116 (2004) e CONAMA (2002).

A utilização conjunta de alvenaria estrutural e materiais reciclados tem o potencial de produzir não só obras mais baratas, tanto devido ao uso de alvenaria estrutural, como pela utilização de dos resíduos gerados pela construção civil. Este estudo possibilitará um aumento do conhecimento nessas duas áreas, que quando consideradas em conjunto possuem poucos estudos específicos.

A utilização de resíduos de construção e demolição hoje em dia é bastante deficitária, pois maior parte de sua utilização ocorre em aplicações de baixo valor agregado, como em sub-base se estradas. Como os resíduos de concreto fornecem agregados com capacidade de produção de elementos estruturais, torna-se desperdício o uso destes para materiais de baixas solicitações.

Sendo assim, torna-se imprescindível e urgente uma concentração de esforços para implementar um conjunto de pesquisas que permitam o desenvolvimento de tecnologias adequadas à elaboração de blocos de concreto utilizando como agregados resíduos de construção e demolição. Exatamente por se encaixar nesse objetivo geral é que se justifica a importância da elaboração do presente trabalho

1.4. METODOLOGIA

No desenvolvimento desta pesquisa foram definidas sete fases, sendo incluídas partes práticas e teóricas fundamentais para a organização do estudo. A pesquisa foi realizada juntamente com o doutorando Alexandre Marques Buttler e contou ainda com o auxílio de uma indústria de pré-moldados, fabricante de blocos e outros elementos estruturais, que forneceu matéria prima e produziu os blocos para análise em laboratório. A metodologia utilizada está descrita a seguir:

1.4.1. Revisão bibliográfica

Uma revisão bibliográfica foi desenvolvida com a finalidade de compreender todas as etapas necessárias para o estudo da produção de blocos com agregados reciclados, abrangendo a geração e deposição dos resíduos de construção e demolição, a caracterização dos agregados reciclados e do concreto com agregados reciclados e as principais características e métodos utilizados para o ensaio de blocos e corpos de prova.

1.4.2. Caracterização dos Agregados:

Foram analisados cinco diferentes tipos de agregados reciclados encontrados na indústria de pré-moldados oriundos de: vigotas, blocos, telhas, resíduos do misturador e da prensagem dos blocos. Para esses agregados foram avaliadas as seguintes características: granulometria, massa específica, absorção de água, massa unitária solta e compactada, abrasão Los Angeles, índice de forma, argamassa aderida e índice de vazios. Destes agregados foram selecionados os dois que mostraram melhor potencial de aplicação para a produção de blocos de concreto estrutural.

1.4.3. Equiparação entre o concreto dos blocos e o dos corpos de prova:

Na terceira fase foram produzidos corpos de prova com agregados naturais, objetivando uma equiparação das propriedades dos blocos com os corpos de prova. Estes foram confeccionados no laboratório de estruturas da USP de São Carlos e na indústria de pré-moldados, utilizando o mesmo concreto da produção dos blocos. A dosagem e o controle do processo produtivo do concreto feito em laboratório foram realizados por meio de uma adaptação do método proposto por Frasson (2000). Nos blocos e corpos de prova foram avaliadas as seguintes características: resistência à compressão, resistência à tração, módulo de deformação, massa específica, absorção de água, índice de vazios e coesão, visando obter uma correlação satisfatória entre os mesmos.

1.4.4. Produção de corpos de prova substituindo os agregados miúdos e graúdos naturais pelos agregados reciclados de concreto:

A incorporação de agregados reciclados iniciou-se na confecção de corpos de prova, foram assim determinadas as alterações nas propriedades do concreto seco quando são utilizados agregados graúdos e miúdos. Nesta etapa foram desenvolvidos três traços em volume 1:20, 1:15 e 1:10 objetivando a produção de blocos de 4.5, 8.0 e 12.0 MPa respectivamente, utilizando os dois tipos de agregados reciclados selecionados na segunda na segunda fase. Foram comparadas as mesmas propriedades da fase anterior com os valores dos corpos de prova com agregados naturais e com os limites impostos pelas normas.

1.4.5. Análise das propriedades físicas dos blocos de concreto com agregado reciclado de concreto:

Os blocos com agregados reciclados foram confeccionados na indústria de pré-moldados, utilizando os mesmos traços dos corpos de prova. Estes foram analisados quanto à massa específica, índice de vazios, absorção de água, teor de umidade, aspecto visual, estabilidade dimensional, taxa de absorção inicial (IRA), resistência à compressão, resistência à tração indireta e módulo de deformação.

1.4.6. Ensaio de prismas de três blocos de concreto:

A partir dos blocos utilizados na fase cinco, foram confeccionados prismas de blocos de concreto de três fiadas de altura (14x59x29), sendo realizados ensaios de resistência à compressão e módulo de deformação.

1.4.7. Análise dos resultados:

Inicialmente foi realizada uma comparação de todas as propriedades estudadas entre os diversos blocos produzidos com agregados reciclados com os blocos de referência (com agregados naturais) de forma a se adequar a porcentagem de cada agregado, sempre considerando-se as limitações impostas pelas normas específicas.

Posteriormente os blocos com agregados reciclados foram comparados com os corpos de prova com agregados reciclados quanto às propriedades de resistência à compressão, resistência à tração, módulo de deformação, massa específica, absorção de água, índice de vazios e coesão. Explicando como comparar as principais propriedades dos elementos e quais são fundamentais para a produção dos blocos de concreto.

Por fim, valores obtidos para os prismas foram comparados com os obtidos para os blocos considerando-se a resistência a compressão e o módulo de deformação.

A Tabela 1.1 apresenta a quantidade corpos de prova, blocos e primas utilizados para cada ensaio realizados.

Tabela 1.1 – Percentual de perdas na construção

Ensaio		CPs	Blocos	Primas
		21 tipos de substituição	18 tipos de substituição	16 tipos de substituição
Resistência à compressão	7	3	6	
	28	3	6	
	120	-	6	6
Módulo de deformação	7	3	6	
	28	3		
Resistência à tração	7	3	6	
	28	3		
Absorção de água, I.V. e massa específica		6	6	
Coesão		6		
Total para cada substituição		30	36	6
Total geral		630	648	96

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. ESTUDOS JÁ REALIZADOS

Para se realizar uma pesquisa sobre o uso de blocos de concreto com agregados reciclados de concreto se faz necessário um amplo estudo englobando a geração e deposição de resíduos de construção e demolição, as principais diferenças entre os agregados reciclados e os naturais, a produção de concreto com agregados reciclados, métodos de ensaio de corpos de prova e blocos de concreto e o processo de fabricação do bloco. Para isso foram consultadas algumas publicações sobre estes temas, comentadas a seguir.

2.1.1. Resíduos de construção e demolição

Reduzir os índices de desperdício de materiais na construção civil é extremamente desejável quando são levados em consideração os aspectos econômicos e ambientais. Sob o ponto de vista econômico, tal redução pode ser determinante para a sobrevivência das empresas diante de um mercado cada vez mais competitivo. Já sob o ponto de vista ambiental, os benefícios são as reduções dos consumos de recursos naturais e da geração de entulho, cujas áreas para deposição estão cada vez mais escassas, principalmente nos grandes centros urbanos, como já foi mencionado.

Mas um dos principais problemas da utilização de agregados reciclados de demolição e construção é a grande variedade de características destes materiais. Uma possível coleta seletiva por tipo de material (concreto, cerâmica, argamassa) reduziria essa heterogeneidade e possibilitaria o seu uso para a produção de concretos estruturais, o que normalmente não é viável financeiramente. Para isso Angulo (2004) realizou um estudo que avalia uma técnica de separação mineral por líquidos densos para separar e controlar o teor de partículas mais porosas presentes nos agregados graúdos e miúdos, conseguindo dividir o material em três camadas: rochas naturais com argamassa envolta com densidade acima de $2,5 \text{ g/cm}^3$, cerâmicas e partículas cimentícias com densidade entre $1,9$ a $2,5 \text{ g/cm}^3$ e materiais contaminantes (papel, madeira) com densidade abaixo de $1,9 \text{ g/cm}^3$.

Lima (1999) realizou um levantamento geral das principais características dos agregados reciclados provenientes de obras, classificando-os quanto aos resíduos existentes, e sugere limitações para o uso de cada tipo. O pesquisador fornece também usos potenciais para cada tipo de reciclado classificado, com o propósito de normalizar a utilização de agregados reciclados no Brasil.

2.1.2. Concreto com resíduos

A utilização de concretos reciclados, pelo menos em parte, como uma fonte de agregados no futuro mostra significativo potencial. O grande desafio é estabelecer uma política de utilização desses materiais em grande escala, possibilitando assim uma redução de custos e um planejamento estratégico de sua produção, de acordo com os materiais disponíveis e as necessidades de cada região. Estudos já realizados indicam que a substituição de até 30 % dos agregados graúdos naturais por agregados reciclados de resíduos de construção não altera significativamente as características do concreto produzido, sendo esta uma forma simples e econômica de utilizar agregados reciclados.

Bazuco (1999) estudou a substituição dos agregados graúdos em proporções de 25 a 100% por agregados reciclados provenientes de concreto. Comparou a resistência à

compressão para várias idades e a trabalhabilidade dos concretos. Observou que para concretos com menor consumo de cimento as perdas na resistência são menores, cerca de 15%, independente da quantidade de material reciclado incorporado. Observou ainda que a trabalhabilidade se reduz com o aumento do percentual de reciclados, sendo necessário o uso de maiores quantidades de argamassa para cada teor de substituição adotado.

Leite (2001) realizou ampla pesquisa sobre as características dos concretos reciclados, substituindo agregados graúdos e miúdos em variadas percentagens. Caracterizou e explicou as principais diferenças entre a resistência à compressão, trabalhabilidade, módulo de deformação, absorção, zona de transição, resistência à tração diametral e à flexão para cada mistura de concreto realizada. Estabeleceu fórmulas para correlacionar a resistência à compressão com a resistência à tração e o módulo de deformação, bem como recomendou a não utilização das normas e fórmulas prescritas para obter massa específica, absorção dos agregados e trabalhabilidade, fornecendo métodos alternativos para os mesmos.

Buttler (2003) analisou e comparou algumas das propriedades do concreto com agregado graúdo reciclado de resíduo de concreto, como a resistência à compressão, à tração, absorção, módulo de deformação e retração por secagem. Obteve resultados próximos aos propostos pelo RILEM (1994), onde são apresentados coeficientes de correlação entre os concretos com agregados naturais e reciclados na ausência de valores experimentais. Como, por exemplo, o coeficiente de retração para concreto reciclado de 1,5 vezes o valor para o concreto convencional.

A absorção dos agregados reciclados deve ser levada em consideração no desenvolvimento do traço de concreto. Para isso Andrade (2004a) verificou se há necessidade de pré-saturação e as diferenças entre o concreto produzido com agregados reciclados previamente saturados e secos. Obteve resistências à compressão praticamente iguais para os dois tipos de concreto com agregados reciclados quando consideradas baixas resistências e cerca de 82% da resistência do concreto de referência com agregados naturais.

Andrade (2004b) realizou um estudo de dosagem e produziu concreto contendo agregados graúdos reciclados de concreto em proporções de 25, 50, 75 e 100%, em substituição ao agregado graúdo natural. Obteve resistência à compressão entre 15 e 30% inferior à de concreto com agregado natural. Analisou que a resistência do concreto a ser britado (agregado) influencia na resistência final do concreto a ser produzido, sendo que para os concretos com menores resistências à compressão o agregado reciclado causa uma menor redução.

2.1.3. Blocos de concreto

Frasson (2000) especificou os métodos existentes comumente usados na fabricação de blocos de concreto e explicou que nenhum deles consegue abranger todas as etapas e variáveis para a produção destes blocos. Desenvolveu uma metodologia de dosagem de blocos de concreto através de corpos de prova cilíndricos (5x10cm) moldados com concreto seco, correlacionando a umidade, massa específica, coesão, resistência à compressão e vibração e prensagem dos dois.

Sánchez (2000) desenvolveu um trabalho sobre componentes de estruturas de alvenaria, determinando para os insumos básicos (agregado, cimento, cal e água) especificações e limites, para os blocos as características geométricas e mecânicas e para as argamassas de assentamento os tipos, propriedades e ensaios, especificando para todos eles as devidas normas admitidas pela ABNT.

Getulio (2001) fabricou blocos e corpos de prova cilíndricos de concreto com agregados reciclados e avaliou parâmetros como a umidade de moldagem, a massa específica no estado fresco e endurecido, a absorção de água por imersão e a resistência à compressão. Obteve igualdade de massa específica e resistência à compressão e valores admissíveis de absorção de água para substituições por agregados graúdos reciclados em até 20%. Com o aumento da substituição de agregados e do uso de agregados miúdos reciclados, a resistência à compressão se reduz e a absorção de água passa a não ser admissível por norma.

Sousa J. (2002) utilizou material reciclado de obra para a produção de corpos de prova cilíndricos 10x20cm e blocos de concreto 14x19x29cm. Foram analisados umidade de moldagem, resistência à compressão, absorção de água por imersão e massa específica, substituindo-se de 30 a 70% dos agregados de um concreto de referência por agregado reciclado. Os resultados da absorção por imersão não satisfizeram a NBR 7173/82, que especifica os limites de resistência e absorção para blocos de concreto simples, devido às características do material reciclado utilizado na produção dos blocos.

Silveira (2004) produziu blocos de concreto substituindo os agregados miúdos por cinzas pesadas (resíduos de termoelétricas) obtendo concreto com características de resistência e porosidade adequadas para blocos estruturais. Isso mostra que a reciclagem de resíduos no Brasil está começando a ser pesquisada em várias áreas e não apenas para resíduos da construção civil.

2.1.4. Prismas de blocos de concreto

Mohamad (1996) estudou o a ruptura de prismas de concreto, variando as resistências das argamassas e dos blocos para a produção destes. Desenvolveu um método para prever a resistência dos prismas a partir da relação entre o módulo de deformação da argamassa e o do bloco.

Lengler (1998) realizou estudo experimental em prismas de blocos de concreto para determinar a influência do grauteamento e da geometria dos blocos na resistência à compressão. Comparou os resultados práticos obtidos com normas internacionais e nacionais, concluindo que devem ser utilizados blocos com menor área líquida e grautes com menores resistências para se obter maior eficiência entre os materiais (bloco e graute).

Romagna (2000) também realizou estudos em prismas de blocos de concreto, variando a quantidade de fiadas. Observou que prismas de 3 a 5 blocos de altura são mais confiáveis por evitar as restrições dos pratos de prensa e flambagem, enquanto que

prismas de 2 unidades de altura sofrem restrições por parte dos pratos, mascarando-os assim a resistência. Recomenda-se uma razão altura/espessura não inferior a 4 para menor interferência nos ensaios.

Andolfato (2002) produziu blocos em escala reduzida (1:4) com o objetivo de facilitar o ensaio de prismas e paredes de blocos de concreto. Comparou a resistência à compressão destes blocos e prismas, a deformabilidade do bloco e as formas de ruptura dos mesmos com as do bloco em escala real. Obteve uma variação máxima na resistência à compressão de 11%, parâmetro aceitável para validação dos ensaios.

Andolfato (2003) realizou ensaios experimentais para buscar a otimização da produção de blocos e prismas com juntas de gesso variando apenas a quantidade de água e de cimento de um traço original de uma fábrica. Obteve resultados com delimitação da quantidade de da água de amassamento através de umidade ótima e não pelo fator água/cimento, como no concreto fluido convencional. O pesquisador observou a melhor compacidade do concreto com umidade ótima e o melhor módulo de deformação com o aumento do consumo de cimento. Observou também uma melhor correlação entre blocos e prismas quando os blocos são menos resistentes e possuem menores módulos de deformação.

Farias et.al (2005) estudou a utilização de resíduos de demolição na fabricação de blocos e prismas de concreto, mostrando a viabilidade da produção de blocos de baixas resistências (2,5 MPa) e argamassas de assentamento para a produção de casas populares. Obteve resistência á compressão e módulos de deformação dos prismas diferenciados para cada tipo de argamassa utilizada, sendo a argamassa com agregados reciclados a de melhor resultado. O pesquisador conclui que os agregados reciclados adaptam-se facilmente na produção de alvenarias compostas por blocos de concreto e argamassas de baixas resistências.

Casali (2003) realizou estudos da influência da argamassa dos prismas. Este concluiu que quando utilizada uma argamassa apropriada a eficiência do prisma, medido pela relação da resistência prima/bloco, deve manter-se entre 0,7 e 0,8.

2.2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.2.1. Geração de resíduos de construção e demolição

Dados do Serviço Geológico Americano (USGS – United States Geological Survey), relatados por Valverde (2000), afirmam que enquanto nos EUA são consumidos anualmente cerca de 7.500 kg de agregados por habitante na construção civil. Na Europa Ocidental este número se reduz para um intervalo entre 5.000 a 8.000 kg, e no Brasil o consumo está pouco acima de 2.000. Mesmo assim o Brasil possui os mesmos problemas de geração e deposição dos agregados. A grande diferença é que no Brasil há baixa reutilização dos resíduos.

Como já foi mencionado, a geração de resíduos vem se tornando um sério problema para os grandes centros urbanos, com aterros em limite de uso e resíduos muitas vezes espalhados em locais indevidos, como terrenos e vias públicas. Existem inúmeros estudos sobre a quantidade de resíduos sólidos urbanos não renováveis produzidos nos principais centros. Pinto (1999) relata que resíduos de construção e demolição (RCD) representam em torno de 50% em massa dos resíduos sólidos urbanos e que a geração de RCD per capita em cidades de grande porte está em torno de 500 kg/hab.ano. Sousa B. (1997) também desenvolveu um estudo sobre geração e deposição de resíduos da construção civil específico para a cidade de São Carlos, indicando uma geração de entulhos da ordem de 120.000 kg/dia, correspondendo a 240 kg/hab.ano.

Embora várias medidas de redução de desperdício de material sejam de conhecimento dos construtores, aparentemente estas não são aplicadas. Segundo Leite (2001), o valor de desperdício estipulados nos orçamentos é consideravelmente menor que o ocorrido na construção. Por exemplo, os números levantados para o cimento variam entre 33 e 84%, enquanto que os manuais de orçamento prescrevem uma estimativa de perdas de 15%.

2.2.2. Deposição de resíduos de construção e demolição

As experiências nacionais e internacionais mostram que quando não existe uma política municipal moderna para gerenciar os resíduos da construção civil, uma fração significativa deles é depositada ilegalmente na malha urbana, gerando altos custos sócio-econômicos e problemas ambientais como assoreamento de rios, entupimento de bueiros, degradação de áreas urbanas, obstrução de vias, surgimento de zoonoses, erosão, poluição visual e maus odores, ente outros. Para tentar solucionar estes problemas as administrações municipais consomem recursos materiais, humanos e financeiros, realizando a limpeza freqüente das áreas de deposição ilegais e abertura de novos locais de deposição. Via de regra, a multa é a única política preventiva adotada para punir os infratores.

Outro problema na construção civil ocorre pela ausência de agregados naturais. Alguns exemplos podem ser citados. Em Manaus/AM rochas para brita não são encontradas, sendo então utilizado o cascalho. Na Bacia do Paraná, como é geologicamente conhecida boa parte da região Sul e Sudeste do país, afloramentos de rocha para britagem também são difíceis de serem encontrados, havendo a necessidade de transportar a brita por distâncias superiores a 100 km. Pode ocorrer ainda de existir recurso mineral disponível na região, mas não ser permitida sua extração devido a restrições a sua exploração, como na cidade do Rio de Janeiro. Em contrapartida, o problema da região metropolitana de São Paulo é o esgotamento dos recursos naturais em jazidas próximas, sendo a distância média para a importação de areia de 150 km, conforme Valverde (2000). Por conseqüência, um dos principais fatores que levaram ao início do uso de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição nos últimos anos foi a possibilidade de sua obtenção a uma distância menor, reduzindo o custo final da obra.

Segundo levantamentos realizados por Lima (1999), nos municípios de Belo Horizonte/MG, São José dos Campos/SP, Ribeirão Preto/SP, São José do Rio Preto/SP, Jundiaí/SP e Santo André/SP a remoção e o aterramento dos resíduos tornam-se cada

vez mais dispendiosos, com o aumento dos preços cobrados pelos coletores devido a escassez dos locais de deposição e ao aumento das distâncias a percorrer.

Na Tabela 2.1, fornecida por Lima (1999), estão apresentadas informações sobre custo de gerenciamento dos resíduos em alguns municípios.

Tabela 2.1 – Custos de gerenciamento de resíduos de construção

Município	Fonte	Custo
Belo Horizonte/MG	SLU-1993	US\$ 7,92 /t
São José dos Campos/ SP	I&T-1995	US\$ 10,66 /t
Ribeirão Preto/SP	I&T-1995	R\$ 5,37 /t
São José do Rio Preto/SP	I&T-1997	R\$ 11,78/t

Muitos países investem num sistema formal de gerenciamento de RCD como a Holanda e o Reino Unido, entre outros países europeus. Estes sistemas visam a redução da atratividade da disposição ilegal, principalmente via redução das distâncias de transportes. O Brasil segue a mesma tendência, sendo esta a visão adotada na resolução CONAMA (2002), que atribui responsabilidades aos geradores, transportadores e gestores públicos dos resíduos da construção civil. Aos municípios cabe a implementação de uma política municipal para dispor os RCD, incluindo sistemas de pontos de coleta, e aos construtores a definição de planos de gestão de resíduos para cada empreendimento.

2.2.3. Agregados para reciclagem

A diversidade de resíduos de construção civil é imensa, ocorrendo variação entre fases, obras, cidades e países diferentes. Para o uso desses resíduos na produção de concreto devem ser realizados estudos para cada entulho ou uma criteriosa seleção dos materiais. Alguns valores do desperdício de material obtidos por meio de pesquisas, considerando diferentes materiais de construção em varias cidades e países, são mostrados por Leite (2001) na Tabela 2.2.

Tabela 2.2 – Percentual de perdas na construção

Material Estudado	Projeto FINEP - BR (1998)	Projeto FINEP - RS (1998)	Soibelman RS-BR (1993)	Pinto SP-BR (1989)	Skoyles UK	Hong Kong	Usual em orçam.
Areia	44	28	45,76	39,02	-	-	15
Argamassa	116	-	91,25	101,9	5	15	15
Cimento	56	77	84,13	33,11		-	15
Concreto usinado	9	9,7	13,18	1,34	2	11	5
Aço	10	13	19,07	26,19	5	-	20
Blocos e tijolos	13	25	Bloco:27,6 Tijolo:26,9	12,73	8 12	11	10
Tubos	15	46	-	-	-	-	-
Placas Cerâmicas	14	11	-	-	-	-	-
Revestimento têxtil	14	14	-	-	-	-	-

O agregado reciclado geralmente possui origem heterogênea devido ao grande número de diferentes materiais utilizados na construção civil. Por isso os concretos com agregados reciclados podem apresentar uma grande dispersão de resultados em relação à resistência mecânica, podendo inviabilizar seu uso em elementos estruturais. As diferenças entre as características do concreto reciclado e o convencional dependem, entre outras variáveis, do teor de agregado natural substituído, das características dos agregados reciclados utilizados, da quantidade de contaminantes presentes no agregado e da quantidade de finos incorporada.

A resolução do CONAMA nº. 307 classifica os RCD em quatro classes, de acordo com as possibilidades de reciclagem:

- A) recicláveis como agregados;
- B) recicláveis em outras cadeias, como os plásticos;
- C) sem tecnologia de reciclagem economicamente viável;
- D) resíduo com periculosidade.

A classe A é composta por materiais minerais como concreto, argamassa, tijolos e telhas cerâmicas, rochas naturais e solos, entre outros, e representa a maior fração dos resíduos gerados. Atualmente, segundo Buttler (2003), no Brasil existe em torno de 12 instalações de reciclagem de RCD classe A públicas e algumas privadas com escala de produção pequena (menor que 100 toneladas de resíduos processado/dia).

O comitê técnico de pesquisa RILEM Recommendation (1994) (The International Union of Testing and Research Laboratories for Materials and Structures), que trata da orientação para demolição e reutilização de concreto e alvenaria, preparou uma especificação para concretos com agregados reciclados que foi primeiramente apresentada no 3º Simpósio Internacional sobre Demolição e Reutilização de Concreto e Alvenaria, em 1993. O documento apresentado considera apenas o uso da fração grávida do agregado reciclado produzido e basicamente define três categorias para utilização em concretos (LEITE 2001):

TIPO I: agregados reciclados basicamente de alvenaria;

TIPO II: agregados reciclados basicamente de concreto;

TIPO III: mistura de agregados naturais e reciclados.

Na Tabela 2.3 podem ser encontradas as especificações para algumas características de cada categoria de agregado classificados pelo RILEM Recommendation (1994).

Tabela 2.3 – Especificações do RILEM Recommendation

ESPECIFICAÇÕES	Tipo de agregado			Método de ensaio
	TIPO I CARG	TIPO II CARG	TIPO III CARG	
Massa específica mínima do material seco (kg/m ³)	1500	2000	2400	ISO 6738 e 7033
Absorção máxima de água	20	10	3	
Quantidade máxima de material SSS < 2200 kg/m ³	-	10	10	ASTM C 123
Quantidade máxima de material SSS < 1800 kg/m ³	10	1	1	
Quantidade máxima de material SSS < 1000 kg/m ³	1	0,5	0,5	
Quantidade máxima de impurezas (vidro, betume, plásticos)	5	1	1	Visual
Quantidade máxima de metais (%)	1	1	1	Visual
Quantidade máxima de matéria orgânica (%)	1	0,5	0,5	NEM 5933
Quantidade máxima de finos < 0.063 mm (%)	3	2	2	PrEN 933-1
Quantidade máxima de areia < 4 mm (%)	5	5	5	
Quantidade máxima de sulfatos(%)	1	1	1	BS 812, parte 118

O documento apresentado pelo RILEM Recommendation (1994) determina também critérios para projetos de cálculo de estruturas de concreto com agregados reciclados, baseados nas exigências para concreto convencional. São apresentados fatores de multiplicação a serem aplicados aos valores do concreto com agregados naturais para estimar as propriedades do concreto reciclado, quando valores experimentais não estiverem disponíveis. Os fatores de correção estão apresentados na Tabela 2.4.

Tabela 2.4 – Fatores de correção das propriedades do concreto com agregado reciclado

CARACTERÍSTICAS	TIPO I	TIPO II	TIPO III
Resistência à tração	1	1	1
Módulo de deformação	0,65	0,80	1
Coefficiente de fluência	1	1	1
Retração	2	1,5	1

2.2.4. Utilização dos agregados reciclados

Um problema detectado devido à diversidade dos materiais oriundos de resíduos de construção e demolição é a seqüência de reciclagem, que se torna onerosa pela necessidade de separação dos materiais e caracterização dos mesmos para cada novo resíduo de construção a ser reciclado. Entretanto, quando se utiliza resíduos de indústrias de pré-fabricados, de pavimentos de concreto ou de usinas de concreto, pode-se separar facilmente o agregado reciclado, reduzindo-se os custos de reciclagem, pois os mesmos são compostos basicamente de concreto.

Assim, pesquisas demonstram que o uso de resíduos de concreto reduz a seqüência de reciclagem para apenas britagem e peneiramento, poupando tempo e custos da separação. As indústrias de pré-fabricados são locais ideais para a inserção da reciclagem de concreto, podendo desencadear um processo de conscientização empresarial sobre o uso de reciclados. Nesse caso o argumento mais forte é a possibilidade de redução de custos de matéria prima para a produção de elementos pré-fabricados. A aplicação deste tipo de resíduo, contudo, exige muitos cuidados e estudos, tendo em vista o importante papel que os agregados desempenham no comportamento do concreto com função estrutural.

As principais vantagens associadas à produção de concreto reciclado em fábricas de pré-moldados são:

- Menores gastos com transporte, já que a distância a ser percorrida será apenas do local de estocagem ao britador;
- O material das fábricas é homogêneo e bem caracterizado. Assim, há a necessidade de estudos aprofundados das características dos agregados para produção de concreto apenas uma única vez;
- O processo de reciclagem se resume apenas em britagem e peneiramento dos materiais;

- Menor custo do agregado para o empresário, considerando que a parte do resíduo não apresenta custos de compra.

Outro emprego dos materiais reciclados é a pavimentação, que é desenvolvida há bastante tempo em vários países. Segundo Mehta e Monteiro (1994), o “Michigan State Department of Transportation” executou, em 1983, a maior reciclagem de pavimento de concreto, a rodovia “Interstate 94”, uma das mais antigas e de maior tráfego do estado de Michigan, tornando-se a primeira grande *freeway* dos EUA a utilizar a reciclagem de concreto. Na ocasião, um trecho deteriorado de 9 km de extensão de pavimento de concreto foi britado e os fragmentos foram usados como agregado na construção do novo pavimento. Aproximadamente 320 km de pavimentos de concreto são reciclados anualmente nos Estados Unidos e cerca de 3.750.000 kg de concreto podem ser recuperadas para cada quilômetro de pavimento reciclado, totalizando cerca de 1,2 bilhões de quilos de pavimentos de concreto reciclados anualmente. Esse tipo de utilização amplia o uso dos agregados reciclados, mas possui baixo valor agregado, pois o material reciclado substitui materiais de baixo custo (BUTTNER 2003).

2.2.5. Características do concreto reciclado

2.2.5.1. Trabalhabilidade

A forma das partículas exerce uma grande influência nas características do concreto, principalmente sobre a trabalhabilidade, compactidade, ângulo de atrito interno e quantidade da água de amassamento necessária à mistura. No caso de agregados reciclados há uma tendência a formas mais angulares, com taxas de superfície/volume maiores e textura geralmente mais rugosa e porosa que os agregados naturais. Este fato resulta em uma maior fricção interna entre os agregados, o que requer maior quantidade de argamassa para melhorar a trabalhabilidade do concreto produzido. Neste contexto, é interessante salientar que o agregado reciclado, quando incorporado ao concreto, torna a

mistura mais coesa e, conseqüentemente, com menor trabalhabilidade quando comparado ao concreto de mesmo traço com agregado natural.

É consenso entre os pesquisadores que todas estas características apresentadas acima são conseqüência do material de origem e do tipo de britador escolhido para o beneficiamento do material. De acordo com Bazuco (1999), o britador de mandíbulas acentua a forma angular e o britador giratório torna as partículas mais arredondadas.

Contudo, a textura mais rugosa e a maior angulosidade dos agregados reciclados colaboram para a melhoria da aderência pasta/agregado. O material reciclado possui maior área superficial, contribuindo para maior área de aderência entre a argamassa e o agregado. Além disso, o material promove maior absorção da pasta de cimento pelos seus poros superficiais, quando comparado ao material natural usualmente empregado. Este fato pode proporcionar maior precipitação dos cristais de hidratação nos poros do agregado, permitindo maior fechamento da zona de transição do concreto e tornando a matriz e o agregado um bloco único de material. Isso pode melhorar o desempenho final do concreto.

2.2.5.2. Massa específica

A massa específica é a relação entre a massa do agregado e o seu volume, sendo empregada principalmente para transformação do traço em massa para volume absoluto e cálculo do consumo de cimento.

Foi observado em diversos estudos que tanto a massa específica quanto a massa unitária dos agregados reciclados geralmente apresentam valores um pouco menores que dos agregados naturais correntemente utilizados na produção de concreto. Bazuco (1999) observa que os valores de massa específica dos reciclados são de 5 a 10 % mais baixos que os valores dos agregados naturais, podendo os números variarem um pouco de acordo com a origem e a granulometria do material. Valores de massa específica de agregados reciclados de concreto oscilam entre 2,12 kg/dm³ a 2,70 kg/dm³ sendo

geralmente mais baixa que a dos agregados naturais devido à argamassa antiga aderida às partículas.

2.2.5.3. Absorção de água

Para os agregados convencionais, a taxa de absorção de água não exerce quase nenhum tipo de influência nas misturas de concreto pois estes apresentam pouca ou nenhuma porosidade. No entanto, quando se utiliza agregado reciclado para produção de concreto, esta influência torna-se uma grande preocupação, visto que este material apresenta valores bem mais altos de absorção que os agregados naturais geralmente utilizados, podendo influenciar nas características do concreto.

A quantidade de água que o material reciclado pode absorver depende de fatores como a resistência, a idade e os materiais que compõem o concreto britado, a resistência do novo concreto produzido, a pré-saturação dos agregados reciclados e a ordem de mistura dos materiais, entre outros. Segundo Leite (2001), a alta absorção dos agregados reciclados promove um efeito de “cura úmida interna”, o que pode ocasionar uma reidratação do concreto após a cura, assim como ocorre em concreto com argila expandida. Vários pesquisadores estudaram a elevada taxa de absorção dos agregados reciclados e concluíram que esta se deve à camada de argamassa antiga aderida ao agregado natural. Os valores de absorção dos concretos produzidos com resíduos de concreto variam em torno de 3 a 8% quando produzidos com agregados reciclados graúdos e de 6 a 15 % com agregados reciclados miúdos.

A absorção de água dos agregados reciclados é muito importante quando se estuda sua utilização em concreto pois esta taxa interfere diretamente na relação a/c final das misturas. Além disso, se a absorção não for considerada poderá haver uma grande diminuição da trabalhabilidade do material, deixando o concreto muito seco. Fazendo uma análise simplista, quando se produz concreto com agregados reciclados existe a necessidade de se acrescentar mais água à mistura, comparando-se com um mesmo traço feito com agregado natural. Dependendo da quantidade de água a mais a

ser incorporada haverá um aumento da relação a/c e, conseqüente, para concretos plásticos, uma redução da resistência mecânica.

2.2.5.4. Abrasão

O ensaio de perda por abrasão dos agregados oferece um indicativo da qualidade do material a ser utilizado na produção do concreto. Por meio deste determina-se a resistência à fragmentação por choque e atrito das partículas de agregado graúdo. Os agregados reciclados apresentam menor resistência ao impacto e ao desgaste por abrasão que os agregados naturais. No caso dos agregados reciclados de concreto, tal fato se deve à argamassa aderida e a sua fraca ligação com o agregado natural. O tipo de concreto que deu origem ao agregado tem uma íntima relação com os valores de abrasão obtidos nos ensaios, ou seja, quanto mais resistente tiver sido o concreto original menor será o valor de perda por abrasão dos agregados reciclados deste concreto.

Pesquisas sobre abrasão realizada em agregados reciclados de concreto referem-se a valores entre 20 e 60% maiores que a abrasão em agregados naturais. Bazuco (1999) encontrou valores de perda por abrasão do agregado reciclado seco de 44,5% e para o agregado reciclado saturado de 42,7%.

Buttler (2003) obteve resultados de perda por abrasão para concretos com agregados reciclados graúdos de concreto, com agregados provenientes de concretos de diferentes idades. Concluiu que quanto maior a idade dos agregados, menor foi a perda por abrasão, variando de 41,7% a 28%. Esse fato ocorreu devido ao fato dos agregados de concreto de baixas idades possuírem grandes quantidades de partículas de cimento não hidratadas aderidas à sua superfície.

A Norma Brasileira NBR 6465 (1984) considera inadequado para uso em concreto os agregados que apresentam índices de perda por abrasão superior a 50% em massa. Neste caso, a grande maioria dos resultados encontrados na bibliografia para os agregados reciclados testados estaria satisfazendo as prescrições da norma.

2.2.5.5. Módulo de deformação

O módulo de deformação do concreto é influenciado significativamente pelas características do agregado graúdo. Os agregados reciclados que possuem uma maior porosidade, quando comparados com os materiais naturais, produziram concretos menor módulo de deformação devido a sua menor capacidade de restringir deformações da matriz. As recomendações da RILEM (1994) fornecem um coeficiente de correção para o módulo de deformação do concreto reciclado de 0.80, que deverá multiplicar o valor encontrado para o módulo de deformação do concreto natural de mesmas características. Outros pesquisadores encontram valores entre 60 e 85% do módulo de deformação do concreto com agregados naturais.

Buttler (2003) verifica a relação entre os módulos de deformação de concreto com reciclados e concretos convencionais, obtendo valores entre 0,90 a 0,78. Assim, concluiu que o valor do coeficiente de correção para o módulo de deformação do concreto reciclado depende das propriedades do resíduo utilizado na sua produção.

2.2.5.6. Resistência à compressão

Resistência à compressão é a característica mais pesquisada quando se trata de tecnologia do concreto. Esse ensaio é executado em praticamente todos os estudos referentes a concreto. Constatou-se que a influência do agregado graúdo na resistência do concreto com agregados naturais geralmente não é levada em consideração durante sua fabricação. Os principais fatores que influenciam a resistência são a porosidade da matriz e a zona de transição entre a matriz e o agregado graúdo. Para concreto com agregados reciclados, outros fatores também são fundamentais para a resistência à compressão. Entre os mais importantes estão:

- Propriedades do concreto britado, como resistência à compressão, idade, materiais componentes e fator a/c ;
- Propriedades do concreto a ser fabricado, como resistência à compressão, porcentagem de agregados reciclados, ordem de colocação dos

componentes na mistura e umidade dos agregados reciclados na hora da mistura (pré-saturação);

- Correlação entre as resistências do concreto britado e do concreto a ser fabricado.

Diversos pesquisadores estudaram as principais variáveis mencionadas para o concreto com agregados reciclados. Na maioria das vezes foram obtidas resistências não inferiores a 70% das resistências do concreto com agregados naturais. Em alguns casos os concretos com agregados reciclados apresentam resistência à compressão maior que o mesmo concreto com agregados naturais. Buttler (2003), por exemplo, obteve resistência à compressão de concreto com agregados reciclados até 5% maior quando utilizou resíduos dos concretos com elevadas resistência.

Avaliando-se a influência do agregado reciclado quanto à relação a/c do concreto a ser produzido, conclui-se que ao se empregar uma relação água/cimento elevada ($>0,55$), a resistência à compressão será pouco afetada, pois a baixa resistência da zona de transição será menor que a do agregado reciclado. Por outro lado, quando se utiliza uma relação água/cimento baixa ($<0,40$), as características do agregado reciclado influenciam significativamente na resistência à compressão, pois o material menos resistente passa a ser o agregado.

O concreto reciclado com agregado de concreto contém duas zonas de transição. Estas influenciam diretamente na sua resistência final. As propriedades da primeira zona de transição dependem somente do resíduo de concreto utilizado como agregado, enquanto que a segunda zona de transição depende tanto do resíduo utilizado quanto das composições do novo concreto.

2.2.6. Blocos de concreto com agregados reciclados

Apesar da grande quantidade de fábricas de blocos de concreto, observa-se com muita frequência produtos de baixa qualidade e custos relativamente altos. Esse fato

está relacionado à falta de conhecimento mais preciso dos fatores relacionados à produção dos blocos, afetando suas características. Um aspecto muito importante é a otimização de traços, sempre considerando-se os equipamentos de produção disponíveis. Não raro, produtores tentam alcançar resistências definidas em projetos simplesmente pela adição de cimento ao produto, resultando no aumento de custo final sem que necessariamente se melhore a qualidade do bloco. Ao contrário, podem ser prejudicadas propriedades como a retração e a absorção de água, além de gerarem aumento da variabilidade.

Frasson (2000) desenvolveu um método para a dosagem de blocos de concreto que procura igualá-los a corpos de prova produzidos em laboratório. Para isso são produzidos corpos de prova com concreto seco, no qual se procura igualar a umidade máxima, coesão e compactação destes com a dos blocos. Os blocos e corpos de prova (CPs) são considerados iguais quando se obtém resistência à compressão, absorção de água, massa específica e índice de vazios equivalentes.

Uma das principais dificuldades encontradas por pesquisadores para o estudo de blocos de concreto é o fato de ser utilizado para fabricação destes o concreto seco. Algumas diferenças entre este tipo de concreto e o fluido, mais conhecido pela comunidade científica, são:

- A Lei de Abrams, que estabelece que a resistência à compressão é proporcional à relação a/c , não é válida para os concretos secos;
- A Lei de Lyse, que estabelece que a quantidade de água a ser empregada em um concreto com um determinado grupo de materiais para obter certa trabalhabilidade independe do traço de concreto mas sim do fator água/materiais secos, também não é válida para concretos secos;
- A resistência à compressão é influenciada pela vibração e prensagem no momento da fabricação;

- Os fatores determinantes para a absorção de água são os materiais componentes e a prensagem na fabricação e não o fator a/c;
- A quantidade de água não é dosada em função da quantidade de cimento e sim por umidade, em relação a todos os materiais constituintes.

A quantidade de água na produção de blocos deve ser a maior possível, pois quanto maior for a umidade no concreto, melhor serão suas propriedades. Essa umidade do concreto normalmente é limitada ao uso da máquina vibro-prensa, pois quando muito elevada os blocos aderem aos moldes da vibro-prensa dificultando a sua desforma. Quando a umidade do concreto é muito baixa os blocos tendem a quebrar no transporte devido à falta de coesão do material.

As principais vantagens da utilização de agregados reciclados de concreto para a fabricação de blocos em relação à utilização dos mesmos na produção de concreto armado são:

- Blocos podem ser produzidos com concretos de baixas resistências. Por exemplo, um bloco de 6 MPa tem uma resistência equivalente a um corpo de prova de 10 MPa, valor inferior aos concretos usualmente utilizados em estruturas de concreto armado;
- Concretos produzidos com agregados reciclados possuem cerca de 50% mais retração que os concretos com agregados naturais, provocando um aumento de tensão em alguns elementos. Na utilização em blocos de concreto com agregados reciclados esse acréscimo de tensão é minimizado, pois além das argamassas de assentamento reduzirem essa tensão, estes também possuem uma redução no módulo de deformação para 80% do módulo do bloco com agregados naturais. Isto reduz o acréscimo de tensões para 20% ao invés dos 50% inicialmente calculados;

- A quantidade de agregados utilizada na produção de blocos de concreto é maior que para concretos convencionais, com traços em volume de 1:20 a 1:6. Isso implica em maior quantidade de material reciclado a ser utilizado para cada kg de cimento.

Existem algumas pesquisas específicas quanto à utilização de reciclados de obra para fabricação de blocos. Sousa J. (2002) substituiu de 30 a 70% dos agregados naturais por agregados reciclados para a produção de corpos de prova cilíndricos 10x20cm e blocos de concreto 14x19x29cm e analisou a umidade de moldagem, resistência à compressão, absorção por imersão e massa específica.

Getulio (2001) fabricou blocos e corpos de prova cilíndricos de concreto com agregados reciclados e avaliou parâmetros como umidade de moldagem, massa específica, absorção de água por imersão e resistência à compressão. Obteve igualdade de massa específica, resistência à compressão e valores admissíveis para absorção de água para substituições de agregados graúdos reciclados em até 20%.

3. ENSAIOS E PROCEDIMENTOS EMPREGADOS

3.1. ASPECTOS GERAIS

A parte experimental desta pesquisa, que constitui a caracterização dos agregados, corpos de prova, blocos e dos prismas, foi desenvolvida no Laboratório de Estruturas da Escola de Engenharia de São Carlos – USP, na cidade de São Carlos.

A produção dos blocos foi executada na fábrica Tatu Pré-moldados, pois o laboratório não dispõe de máquina vibro-prensa e a interação entre os pesquisadores e a indústria reduziu a possibilidade dos blocos produzidos serem inadequados para venda.

Para a produção de blocos com agregados reciclados e naturais foram utilizados os mesmos equipamentos. Foram realizadas visitas periódicas à indústria de pré-moldados para um melhor entendimento das etapas de fabricação dos blocos. Essas visitas ajudaram também a produzir corpos de prova com propriedades muito semelhantes à dos blocos.

O estudo dos corpos de prova foi fundamental para definir variáveis de produção e os limites de substituição de agregados reciclados. Isso por que era inviável parar a produção de blocos na indústria para analisar todas as variáveis.

3.2. AGREGADOS

O programa experimental desta pesquisa iniciou-se com a seleção dos agregados. Foi determinado qual dos 5 agregados pré-selecionados (resíduos de vigota, bloco, telhas, sobras do misturador e sobras da prensagem) seriam utilizados na pesquisa.

Para todos os cinco agregados utilizados buscou-se seguir as especificações da NBR 7211 (1983), que trata das principais características de aceitação e produção dos agregados.

A seguir serão descritos os principais procedimentos e recomendações utilizados na realização de cada ensaio para a caracterização dos agregados, fundamental para a seleção dos dois agregados a serem utilizados na produção dos blocos.

3.2.1. Granulometria

Para a realização do ensaio de granulometria, primeiramente foi necessário separar a fração graúda da miúda, por meio de uma peneira de 2,4 mm. Foram realizados dois ensaios para cada agregado e seguidas as prescrições da NBR 7217 (1987).

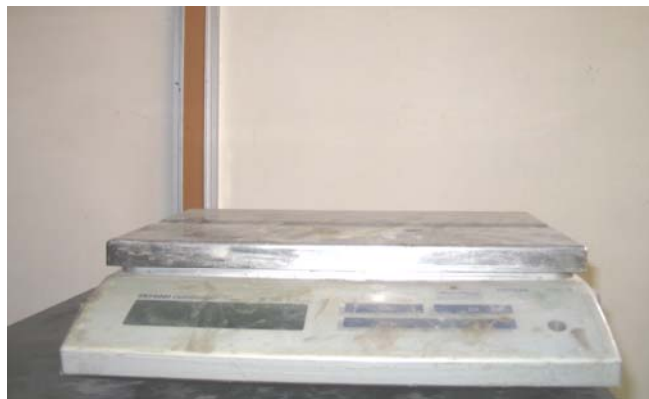
Os equipamentos utilizados neste ensaio foram: agitador mecânico de peneiras da marca Produtest com controle de vibração e temporizador (Figura 3.1 a), balança da marca Metter Toledo, modelo SB24001 Delta Range com precisão de 0,1g e capacidade de 24000g (Figura 3.1 c), estufa da marca Quimes com termostato de 50 a 300°C (Figura 3.1 b), escovas com cerdas de náilon e peneiras da série normal e intermediária.



a) Agitador mecânico



b) Estufa



c) balança

Figura 3.1 – Equipamentos usados para granulometria

3.2.2. Massa específica, absorção de água e índice de vazios

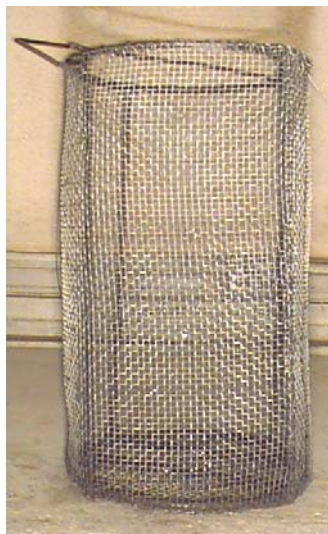
No início dos ensaios de massa específica e absorção de água, foram verificadas algumas limitações nos ensaios propostos pelas normas NBR 9937 (1987) e NBR 9776 (1987), o que levou a realização de outros ensaios por métodos alternativos, como os formulados por Leite (2001) e Dias (2004). As limitações encontradas e a metodologia de ensaios dos três métodos serão apresentadas a seguir.

3.2.2.1. Procedimento da Norma Brasileira

A) Agregados Graúdos

A massa específica e a absorção do agregado graúdo foram determinadas de acordo com a NBR 9937 (1987). Na realização desse ensaio o principal problema detectado foi a desagregação das partículas ao enxugar os agregados reciclados, fato este que não permitiu a obtenção de valores confiáveis. Além disso, conforme Leite (2001), a porosidade e a fragilidade do agregado dificultam a sua secagem superficial, podendo ocorrer a retirada de água dos poros internos mais superficiais durante o processo de secagem, mascarando, por conseqüência, os resultados obtidos.

Os principais equipamentos utilizados para a realização desses ensaios foram: cesto de malha de arame (Figura 3.2 a), balança da marca Metter Toledo adaptada para determinar massas aparentes (Figura 3.2 b), estufa da marca Quimis com termostato de 50 a 300°C.



a) Cesto de malhas



b) Ensaio de massa imersa com balança adaptada

Figura 3.2 – Ensaio massa específica proposto pela NBR 9937

No cálculo dos valores de massa específica, índice de vazios e absorção de água foram utilizadas as Eq. 3.1 a 3.4.

$$\gamma_s = \frac{M_s}{M_{sat} - M_i} \quad 3.1$$

$$\gamma_{sss} = \frac{M_{sat}}{M_{sat} - M_i} \quad 3.2$$

$$I.V. = \frac{M_{sat} - M_s}{M_{sat} - M_i} \quad 3.3$$

$$Ab = \frac{M_{sat} - M_s}{M_s} \quad 3.4$$

Nas quais:

γ_s = massa específica seca (kg/dm³);

γ_{sss} = massa específica saturada superfície seca (kg/dm³);

I.V. = índice de vazios (%);

Ab = absorção do agregado (%);

M_s = massa na condição seca (g);

M_{sat} = massa na condição saturada superfície seca (g);

M_i = massa imersa em água (g).

B) Agregados Miúdos

A massa específica dos agregados miúdos foi determinada por meio do Frasco de Chapman, conforme NBR 9776 (1987). Neste ensaio ocorreram algumas dificuldades para a obtenção dos resultados. Uma delas foi a imprecisão nas leituras devido à formação de espuma superficial provocada pela presença de finos nos

agregados reciclados, como mostra a Figura 3.3. Outro problema foi o alto valor de absorção de água dos agregados reciclados, o que pode ter mascarado o resultado.

Um método alternativo para a determinação da massa específica e do índice de vazios dos materiais reciclados foi tentado, mas os resultados preliminares não foram satisfatórios devido à perda de material fino e ao aprisionamento de bolhas de ar durante o ensaio.

O ensaio proposto pela ASTM C128 (1988) não foi realizado para os agregados reciclados miúdos, pois para a determinação da massa saturada superfície seca, fundamental para obtenção da absorção de água, seria necessário retirar as partículas finas de cimento que compõem o agregado, para que não formassem uma pasta. Caso esses finos fossem retirados, o desmoronamento do tronco-cônico previsto pela metodologia do ensaio, talvez não ocorresse por consequência do formato lamelar dos grãos.

Os principais equipamentos utilizados no ensaio foram: balança da marca Metter Toledo, frasco de Chapman e funil de vidro.



Figura 3.3 – Espuma no frasco de Chapman

Apesar dos problemas encontrados no método proposto pela norma brasileira foram considerados para a pesquisa seus resultados.

3.2.2.2. Procedimento proposto por Leite (2001)

A) Agregados Graúdos

Foi utilizado um procedimento adaptado por Leite (2001), pois o ensaio proposto pela NBR 9937 (1987) ocasionou a desagregação de partículas de agregados reciclados. Este procedimento consiste em secar o material em estufa durante 24 horas, resfriá-lo até temperatura ambiente e pesá-lo imerso em água em balança hidrostática por um período de 24 horas, com leituras em intervalos de tempo diferenciados (Figura 3.4 a). No cálculo da absorção foi realizada uma média entre a absorção para a massa seca e a absorção para a massa imersa inicial, conforme as Equações 3.5 e 3.6.

Para a determinação da absorção de água dos agregados graúdos reciclados foi utilizada a seguinte aparelhagem: balança da marca Metter Toledo adaptada para determinar massa imersa e cesto de tela metálica (malha 2,0mm) para facilitar a retirada do ar aprisionado no conjunto (Figura 3.4 b).



a) Pesagem em balança hidrostática



b) Cesto de malha

Figura 3.4 – Ensaio de granulometria proposto por leite – agregado graúdo

$$Ab_{imersa} = \frac{M_{final} - M_{inicial}}{M_{inicial}} \quad 3.5$$

$$Ab_{seca} = \frac{M_{final} - M_{inicial}}{M_s} \quad 3.6$$

Nas quais:

Ab_{imersa} = absorção do agregado para a massa imersa (%);

Ab_{seca} = absorção do agregado para a massa seca (%);

M_s = massa na condição seca (g);

M_{final} = massa imersa ao final do ensaio (g);

$M_{inicial}$ = massa imersa inicial do ensaio (g).

B) Agregados Miúdos

O procedimento proposto por Leite (2001) também foi avaliado para agregados miúdos, mas os resultados não foram satisfatórios. O dispositivo utilizado dificultou a retirada do ar aprisionado entre as partículas de agregados reciclados sendo necessária a agitação do mesmo para a retirada do ar. Isso que resultou em perda de material fino (Figura 3.5 a).

O equipamento adaptado utilizado era composto por duas peneiras de malha 0,15mm e 0,075mm que se encaixam através de ganchos metálicos (Figura 3.5 c) e por uma balança da marca Metter Toledo adaptada para determinar massa imersa.



a) Agitação para retirada de ar



b) Pesagem em balança hidrostática



c) Equipamento adaptado

Figura 3.5 – Ensaio de granulometria proposto por leite – agregado miúdo

3.2.2.3. Procedimento proposto por Dias (2004) para agregados Graúdos e Miúdos

Dias (2004) cita que o método proposto por Leite (2001) não se mostrou adequado ao agregado reciclado devido à dificuldade de se obter leituras confiáveis, em virtude do aprisionamento de bolhas de ar no conjunto e pela lavagem do material fino durante o ensaio. Acrescenta ainda que a rápida absorção de água que ocorre no início do ensaio pode causar distorção do valor da primeira leitura, não representando assim a condição inicial de material seco.

Propõe assim uma metodologia baseada em ensaios de secagem do agregado reciclado saturado com medição da perda de água ao longo do tempo para obter a

absorção de água. Uma das grandes vantagens desse ensaio é a determinação da condição saturada superfície seca de agregados miúdos reciclados sem perda de material, fundamental para a obtenção da absorção de água, uma vez que a proposição da ASTM C128 (1988), que mede essa absorção, é de difícil execução.

O método proposto por Dias (2004) mostrou bons resultados quando são usadas massas de agregado da ordem de 1000g. Essa metodologia baseia-se em estudos realizados por Brown *et al* (1965) *apud* Dias (2004). Segundo Brown, a velocidade de secagem de um sólido caracteriza-se por distintos períodos de secagem à medida que a umidade do sólido se reduz. Assim a massa saturada superfície seca ocorre quando a velocidade de secagem diminui, pois a secagem do material é mais lenta para a água interna dos agregados.

O resultado é obtido graficamente por meio da intercessão de retas da velocidade de secagem do material (Figura 3.6). O ponto de intercessão é aquele em que o agregado deixa de ter velocidade constante de secagem (período I) e passa a ter velocidade de secagem menor (período II). Essa interseção ocorre no local da condição saturada superfície seca dos agregados, através do qual se determina o índice de absorção do agregado.

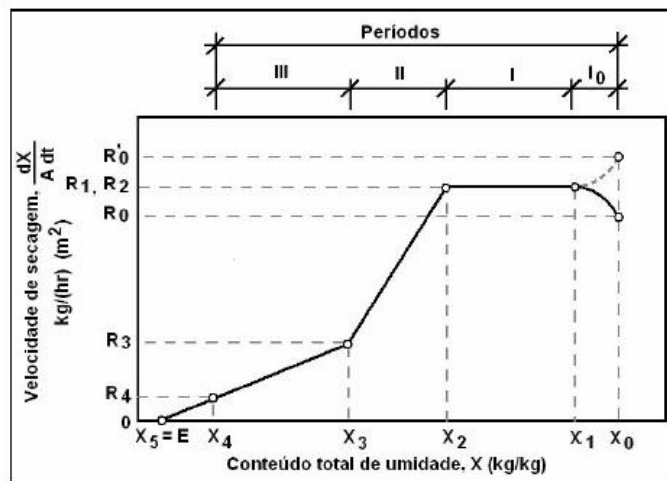


Figura 3.6 – Velocidade de secagem x umidade, [BROWN et al (1965) apud DIAS (2004)]

Seguindo as recomendações do pesquisador, as amostras de agregados miúdos e graúdos próximas a 1000g foram imersas em água à temperatura ambiente até a saturação (mínimo de 24h). A secagem foi realizada em estufa a 105°C, com balança digital adaptada ao ensaio (Figura 3.7 a) sobre prato padrão da ABNT (Figura 3.7 b), que permite melhor definição dos períodos de secagem, segundo Dias (2004). Os valores das massas úmidas foram anotados a cada quatro minutos até o final do ensaio. A Figura 3.7 (c) mostra o esquema de ensaio proposto por Dias (2004).



a) Balança adaptada



b) Prato ABNT padrão adaptado ao ensaio



c) Esquema de ensaio

Figura 3.7 – Ensaio de granulometria proposto Dias

Com os dados obtidos foram construídos gráficos relacionando a velocidade de secagem com o índice de umidade do material. A velocidade de secagem foi determinada por meio da Eq. 3.7 e a umidade a partir da Eq. 3.8.

$$v = \frac{dM}{dT \cdot Ms_i} \quad 3.7$$

$$u = \frac{(dM) - Ms_i}{Ms_i} \quad 3.8$$

Nas quais:

v = velocidade de secagem (g/min.g);

u = umidade (%);

dM = variação da massa a cada leitura (g);

dT = variação do tempo, em minutos;

Ms_i = massa seca (g).

3.2.3. Massa unitária solta e compactada

As massas unitárias dos agregados (estado solto e compactado) foram determinadas seguindo as prescrições das NBR 7251 (1982) e NBR 7810 (1983), com os seguintes equipamentos: balança de alta precisão, concha, estufa, haste de socamento com extremidade semi-esférica e recipiente cilíndrico de 3 dm³ (Figura 3.8).



Figura 3.8 – Ensaio de massa unitária

3.2.4. Abrasão

O ensaio de abrasão Los Angeles, segundo Neville (1997), apresenta boa correlação não só com a resistência do agregado ao desgaste no concreto, mas também com a resistência do concreto à compressão e à tração na flexão.

Neste ensaio, os materiais foram colocados na máquina “Los Angeles” conjuntamente com oito bolas de aço sendo submetidos a 500 rotações, conforme NBR 6465 (1984) (Figura 3.9). A rolagem e as quedas sucessivas do agregado e das esferas resultam em ações de abrasão e atrito sobre o agregado.



Figura 3.9 – Ensaio de abrasão na máquina “Los Angeles”

3.2.5. Índice de forma

Devido ao aspecto lamelar e à grande variação entre os agregados analisados, o ensaio prescrito pela NBR 7809 (1983) não foi realizado. Como método alternativo utilizou-se a BS 812: Parte 1 (1975) *apud* Liborio (2003), a qual define que o número da angulosidade é determinado subtraindo-se de 67 a porcentagem entre a massa unitária e a massa específica do material.

O número 67 representa a porcentagem de volume do sólido do agregado mais arredondado, de modo que o número da angulosidade mede a porcentagem de vazios a mais daquele agregado arredondado. Quanto maior esse número, que varia de 0 a 11, mais anguloso é o agregado. Conforme Liborio (2003), quando é feita uma relação entre dois agregados, um arredondado e outro alongado, verifica-se que o teor de vazios diminui à medida que aumenta a quantidade de material arredondado.

$$Angul. = 67 - \left(\frac{M_{unitaria}}{M_{especifica}} \times 100 \right) \quad 3.9$$

Nas quais:

Angul. = valor relativo da angulosidade do agregado

$M_{unitaria}$ = massa unitária compactada do agregado

$M_{especifica}$ = massa específica do agregado

3.2.6. Argamassa aderida

A fim de determinar a porcentagem de argamassa aderida aos agregados reciclados, estes foram imersos em solução ácida.

Para o ensaio foram pesadas duas amostras de 0,5 kg de cada agregado graúdo seco em estufa, sendo posteriormente imersos em solução ácida durante 24 horas (Figura 3.10 a). Após este período foi realizada a limpeza dos agregados com água com

auxílio de peneira 2,4 mm e estes foram imersos por mais 24 horas (Figura 3.10 d). Em seguida a mistura foi agitada com haste metálica para facilitar o desprendimento, e por fim os agregados foram lavados, secos em estufa e novamente pesados para determinação da porcentagem de argamassa aderida.



a) Adição de solução ácida



b) Reação da solução ácida com a argamassa



c) Limpeza do agregado com água



d) Segunda imersão na solução ácida

Figura 3.10 – Ensaio de argamassa aderida

3.3. CORPOS DE PROVA

3.3.1. Moldagem

Para a confecção dos corpos de prova foram utilizadas fôrmas metálicas cilíndricas de 10x20 cm por produzir corpos de prova de pequeno volume de concreto, o

que facilitou a prensagem do mesmo. Os corpos de prova foram moldados segundo método proposto por Frasson (2000) com algumas adequações aos equipamentos disponíveis. O método consiste em se prensar os corpos de prova com auxílio de uma haste metálica, usando-se a mesma quantidade de golpes para todos os corpos de prova, e desforma-los imediatamente após moldagem (Figura 3.11).

Equipamentos utilizados na moldagem: argamassadeira, colher de pedreiro, haste metálica de socamento com extremidade semi-esférica, fôrma metálica adaptada para desforma imediata e colarinho metálico.



a) Mistura do concreto



b) Moldagem dos corpos de prova



c) Corpos de prova recém moldados



d) Fôrma adaptada para desmoldagem imediata

Figura 3.11 – Moldagem de corpos de prova

Ensaio também foram realizados para determinar qual o tipo de cura a ser utilizada em laboratório para equiparação com a cura térmica utilizada fabricação de blocos pela indústria. Foram realizadas curas térmicas (banho-maria e sauna), cura

úmida e sem cura para corpos de prova produzidos com o mesmo traço e na mesma massada.

Dentre as curas, esperava-se que a cura térmica fosse mais representativa, mas esta não se mostrou eficiente, possivelmente devido ao fato dos equipamentos de cura térmica utilizados em laboratório não mostrarem a eficiência desejada. Os corpos de prova fabricados sem cura atingiram resistência satisfatória aos 7 dias, mas houve pouco acréscimo de resistência aos 28 dias e baixo módulo de deformação. Já os corpos de prova com cura imersa apresentaram resistência à compressão aos 7 dias igual a dos corpos de prova sem cura, mas uma melhor resistência à compressão aos 28 dias e melhor módulo de deformação. Em vista destes resultados foi utilizada para a produção de corpos de prova a cura imersa, apesar dos CPs serem comparados posteriormente com os blocos que utilizaram cura térmica.

3.3.2. Resistência à compressão

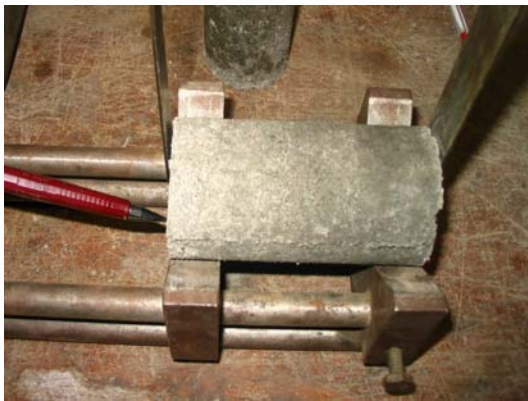
O ensaio de resistência à compressão foi realizado de acordo com a NBR 5739 (1980), com três corpos de prova para cada idade (7 e 28 dias) e para cada traço selecionado. O capeamento dos CPs foi feito com enxofre e foi utilizada para a ensaio a prensa de marca ELE modelo Autoteste 2000 com capacidade de 2000 KN com velocidade de carregamento constante de 0,25 kN/s (Figura 3.12).



Figura 3.12 – Ensaio de resistência à compressão de corpos de prova

3.3.3. Resistência à tração

A resistência à tração foi determinada por meio de compressão diametral seguindo a NBR 7222 (1994). Foram ensaiados três corpos de prova para cada traço determinado para as idades de 7 e 28 dias utilizando a prensa da marca SOLTEST por possuir baixo carregamento inicial. Os CPs foram ensaiados e marcados com o auxílio de dispositivos metálicos para garantir sua centralização e o alinhamento (Figura 3.13).



a) Marcação do corpo de prova



b) Dispositivo para centralização e alinhamento



c) Esquema de ensaio

Figura 3.13 – Ensaio de tração diametral de corpos de prova

3.3.4. Módulo de deformação

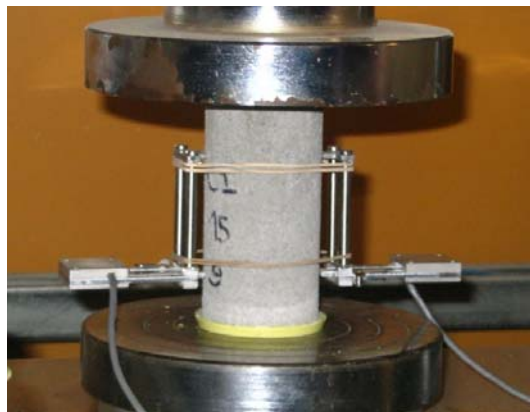
Para o cálculo do módulo de deformação foi determinado o diagrama tensão x deformação de três corpos de prova para cada idade de ensaio (7 e 28 dias) e para cada traço determinado. Foi utilizada a mesma prensa do ensaio de tração devido a necessidade de baixo carregamento inicial, com controle de velocidade de carregamento manual de aproximadamente de 0,25 kN/s e medidor de deslocamento (transdutor) da marca Transdutec (Figura 3.14).



a) Prensa - SOLTEST



b) Aquisição de dados do Transdutor



c) Esquema de ensaio

Figura 3.14 – Ensaio de módulo de deformação de corpos de prova

3.3.5. Massa específica, absorção de água e índice de vazios

A determinação da massa específica, da absorção de água por imersão e do índice de vazios foi feita segundo a NBR 9778 (1987) com três corpos de prova para cada traço determinado. Os valores foram calculados a partir das da Eq. 3.1 a Eq. 3.4, as mesmas utilizadas para o cálculo das propriedades dos agregados no item 3.2.2.



a) Massa imersa



b) Secagem em estufa dos corpos de prova



c) Corpos de prova

Figura 3.15 – Ensaio de massa específica, absorção de água e índice de vazios em corpos de prova

3.3.6. Coesão

Como as normas ABNT não prevêem ensaios para a determinação da coesão mínima ideal para a produção de blocos de concreto, foi utilizado o método proposto por Frasson (2000), o qual afirma que a coesão é um medidor da resistência à degradação das misturas frescas. O método foi desenvolvido com a finalidade de expressar um valor quantitativo da coesão, baseado na compressão diametral de corpos de prova cilíndricos recém moldados.

Para a realização do ensaio foram necessários dois corpos de prova moldados da mesma forma que os CPs destinados aos ensaios de compressão, uma chapa de madeira plana para servir de elemento de transferência de carga e um balde para pôr material e posterior pesagem. Os corpos de prova foram dispostos sobre uma superfície horizontal, paralelamente ao seu eixo longitudinal, distanciados de 30 cm. Sobre estes foi posicionada a chapa de madeira e o balde preenchido com areia em velocidade constante. Frasson (2000) e estudos preliminares nos CPs apontam que para haver coesão mínima na fabricação dos blocos, os CPs deveriam resistir a um peso mínimo de 7kg.



a) Esquema de ensaio



b) Detalhe de ruptura

Figura 3.16 – Ensaio de coesão para corpos de prova

3.4. BLOCOS DE CONCRETO

Foram realizados vários ensaios nos blocos de concreto com o objetivo de determinar quais variáveis possuem uma maior significância na sua produção. Essa investigação engloba principalmente uma análise comparativa entre as características dos blocos produzidos com agregados reciclados com as dos blocos com agregados convencionais. Para isso foram estudadas as características de massa específica, índice de vazios, absorção de água, taxa de absorção inicial (IRA), resistência à compressão, resistência à tração e módulo de deformação.

3.4.1. Produção na indústria

Como os blocos foram fabricados na indústria de pré-moldados é importante mostrar as etapas de produção para o melhor entendimento do processo como um todo. Deve ser observado, no entanto, que existem diversos tipos de equipamentos no mercado que produzem blocos de concreto. Este estudo é válido apenas para os equipamentos utilizados por essa indústria em especial, não podendo seus dados serem admitidos para todo e qualquer maquinário. O estudo tem como finalidade apenas servir como base de pesquisas em reciclagem de concreto para a produção de blocos.

A primeira etapa do processo de fabricação dos blocos com agregados reciclados de concreto é a britagem e peneiramento do material, separando assim o material graúdo, passante na peneira 9,5 mm e retido na 2,4 mm, do material miúdo, passante na peneira 2,4 mm. Para a britagem é necessária a utilização de um britador. Neste caso foi utilizado um britador de mandíbulas da marca FURLAN, e duas peneiras (9,5 e 2,4 mm) (Figura 3.17).



a) Mandíbula do britador



b) Peneiramento mecânico



c) Ligação do britador ao peneirador por esteira

Figura 3.17 – Britagem e peneiramento do concreto

O material já devidamente separado é então armazenado de acordo com cada tipo de concreto utilizado (Figura 3.18 a). Em seguida este é transportado para as baias do misturador, que devem ser limpas para a utilização de agregados diferentes (Figura 3.18 b). O material deve estar seco ao ar livre sendo protegido da umidade por lonas plásticas, pois não há um controle da umidade dos agregados individualmente.



a) Armazenamento



b) Limpeza da baía

Figura 3.18 – Armazenamento dos agregados

Os traços dos concretos selecionados foram utilizados em volume, pois na indústria a proporção dos componentes da mistura é feita pelo número de voltas da esteira do misturador. Vale ressaltar que esse tipo de dosagem é menos preciso que a dosagem em massa e provoca maior variabilidade nas propriedades dos blocos. Para verificar a quantidade de material passante em cada volta foi necessário pesar cada agregado reciclado selecionado para a produção dos blocos (Figura 3.19).



a) Esteira do misturador



b) Separação dos agregados para pesagem

Figura 3.19 – Controle dos traços em número de voltas

Os agregados são despejados no misturador juntamente com o cimento e homogeneizados por um tempo médio de 3 minutos. Existe dentro do misturador um sensor de controle de umidade que permite ajuste da quantidade de água pelo funcionário, o qual deve ser verificado para cada nova combinação de materiais. Isso permite que todas as misturas sejam realizadas com a mesma umidade, reduzindo-se a variabilidade das propriedades dos blocos (Figura 3.20). Para uma maior velocidade de produção dos blocos na fábrica, o concreto misturado é armazenado em um reservatório logo abaixo do misturador, possibilitando assim uma nova mistura enquanto os blocos são moldados.



a) Alimentação do misturador



b) Fiscalização da umidade pelo funcionário

Figura 3.20 – Mistura do material com controle de umidade

A máquina vibro-prensa, da marca PIOROTTI, permite controlar os tempos de alimentação, vibração e prensagem. Estes tempos são controlados por um funcionário, que realiza constantemente o controle visual da moldagem dos blocos. Os valores padrões para os tempos de alimentação, vibração e prensagem foram de 1.3, 3 e 3 segundos respectivamente. Mas, foi necessário o aumento em alguns traços devido à dificuldade de coesão dos blocos.

Após a moldagem os blocos seguem imediatamente para uma câmara de cura, onde ficam armazenados até a noite quando será realizada a cura térmica de 4 horas. No

dia seguinte à cura, os blocos são retirados e estocados em *pallets* até completar sua idade de utilização (Figura 3.21).



a) Moldagem do bloco



b) Limpeza de imperfeições no bloco



c) Transporte para cura térmica



d) Retirada dos blocos da cura



e) Estocagem sobre *pallets*



f) Transporte por caminhão

Figura 3.21 – Moldagem, cura e transporte dos blocos

3.4.2. Estabilidade dimensional e aspecto visual

Todos os blocos fabricados pela indústria de pré-moldados contaram com a supervisão dos pesquisadores e foram analisados conforme a NBR 6136 (1994). A verificação da estabilidade dimensional foi feita em 6 blocos de cada traço determinado utilizando um paquímetro digital da marca MITUTOYO com precisão de 0,01 mm. O aspecto visual dos blocos foi verificado em conjunto com o técnico da indústria de pré-moldados, comparando-os com os blocos fornecidos pela produção normal da indústria.



a) Comparação visual entre blocos

b) Esquema de ensaio de estabilidade dimensional

Figura 3.22 – Ensaio de estabilidade dimensional e aspecto visual

3.4.3. Massa específica e índice de vazios

A determinação da massa específica e do índice vazios dos blocos feito de maneira similar a dos agregados pelo método proposto pela NBR-9937 (1987). No ensaio foram utilizados 6 blocos de cada traço determinado. O cálculo das massas específicas foi dado pelas a Eq. 3.10 e Eq. 3.11, e o índice de vazios pela Eq. 3.12.



a) Secagem dos blocos em estufa



b) Ensaio de massa imersa do bloco

Figura 3.23 – Ensaio de Massa específica e índice de vazios

$$\gamma_{bs} = \frac{M_1}{M_2 - M_4} \quad 3.10$$

$$\gamma_{bsss} = \frac{M_2}{M_2 - M_4} \quad 3.11$$

$$I.V. = \frac{M_2 - M_1}{M_2 - M_4} \quad 3.12$$

Nas quais:

γ_{bs} = massa específica seca do bloco (kg/dm^3);

γ_{bsss} = massa específica saturada superfície seca do bloco (kg/dm^3);

I.V. = índice de vazios (%);

M_1 = massa seca do bloco (g);

M_2 = massa na condição saturada superfície seca (g);

M_4 = massa imersa em água (g).

3.4.4. Absorção de água, teor de umidade e área líquida

Estes ensaios foram realizados conforme a NBR 12118 (1991). Foram usados como equipamentos: balança com precisão de 0,1 g e capacidade de 24000g, estufa da marca QUIMES com termostato de 50 a 300°C e balança hidrostática adaptada para o ensaio.

Para os ensaios foram separados 6 blocos de cada traço determinado. inicialmente foram pesados (M_3), secados em estufa a temperatura de 110°C por 24 horas e novamente pesados (M_1). Posteriormente imersos em água por 24 horas, secos com toalha e novamente pesados (M_2). Finalmente, com auxílio de balança hidrostática foi adquirida a massa imersa (M_4). No cálculo da absorção foi usada a Eq. 3.13 , da umidade a Eq. 3.14 e da área líquida a Eq. 3.15



a) Secagem dos blocos para obter massa saturada superfície seca



b) Massa saturada superfície seca do bloco



c) Equipamento adaptado para ensaio de massa imersa

Figura 3.24 – Ensaio de absorção de água, teor de umidade e área líquida

$$Ab = \frac{M_2 - M_1}{M_1} \quad 3.13$$

$$u = \frac{M_3 - M_1}{M_2 - M_1} \times 100 \quad 3.14$$

$$A_{liq} = \frac{M_2 - M_4}{h} \times 1000 \quad 3.15$$

Nas quais:

Ab = absorção do bloco (%);

u = umidade do bloco (%);

A_{liq} = área líquida do bloco (cm²);

M_1 = massa seca do bloco (g);

M_2 = massa na condição saturada superfície seca (g);

M_3 = massa natural no início do ensaio (g);

M_4 = massa imersa em água (g).

3.4.5. Taxa de absorção inicial (IRA)

Esse ensaio mede o poder de sucção de água pelo bloco e é essencial para determinar o tipo de argamassa a ser usada. Foi utilizada a norma Americana ASTM C-67 (1997), sendo os equipamentos usados: uma bandeja, dois suportes para o bloco (Figura 3.25 a), balança e estufa. O ensaio consiste em secar o bloco em estufa a 105 °C por 24 horas para determinação da massa seca. Encher e nivelar a bandeja com água ao ponto em que o bloco fique imerso 3,18 ± 0,25 mm (Figura 3.25 b). Marcar 1 minuto ± 1 segundo com o bloco na água, secá-lo superficialmente, pesar e medir a altura da marca d'água no bloco (Figura 3.25 d) para verificar quanta água foi absorvida. Ao final do ensaio de cada bloco, a água perdida é repostada. O valor final do IRA (Initial Rate of Absorption) é calculado pela Eq. 3.16 e foi usada a média de 6 blocos.

Gallegos (1989) cita que a taxa de absorção inicial dos blocos deve manter-se entre 10 e 40 g/min/193,55 cm², pois quando esta é maior provoca sucção exagerada da água da argamassa de assentamento e quando menor dificulta a interligação entre a argamassa e o bloco.



a) Bandeja com suporte para bloco



b) Nivelamento da bandeja



c) Esquema de ensaio



d) Massa do bloco no final do ensaio

Figura 3.25 – Ensaio de absorção de água imediata (IRA)

$$IRA = \frac{M_5 - M_1}{A} \times 193,55$$

3.16

Nas quais:

IRA = taxa de absorção inicial

M₅ = massa do bloco no final do ensaio do IRA

M_1 = massa seca do bloco

A = área líquida do bloco em contato com a água.

A sucção é expressa em gramas/ minuto /193,55 cm² ou em gramas.

3.4.6. Resistência à compressão

Os blocos estruturais foram ensaiados para determinar a resistência à compressão conforme a NBR 7184 (1992). Foram utilizados 6 blocos para cada traço determinado e para cada idade (7 e 28 dias). Foram capeados com enxofre, utilizando-se para o ensaio a prensa da marca ELE, com velocidade constante de carga de 2,03 kN/s.



a) Capeamento dos blocos



b) Esquema de ensaio

Figura 3.26 – Ensaio de compressão dos blocos

3.4.7. Resistência à tração indireta

Por não existir nenhuma norma brasileira que descreva os procedimentos para o ensaio de resistência à tração de blocos, utilizou-se a norma americana ASTM C 1006 (1996). O ensaio consiste na aplicação de forças de compressão em barras cilíndricas

dispostas transversalmente à superfície horizontal da unidade (Figura 3.27 a), resultando em tensões de tração ao longo da altura do bloco. Os ensaios foram realizados com velocidade constante de 1,2 kN/s na máquina ELE, com capacidade de 2000 kN (Figura 3.27).



a) Posicionamento da barra cilíndrica



b) Esquema de ensaio

Figura 3.27 – Ensaio de tração indireta dos blocos

A ASTM C 1006 (1996) apresenta para o cálculo da resistência à tração indireta das unidades de alvenaria a Eq. 3.17.

$$f_{tb} = \frac{20 \times P}{\pi \times L \times H} \quad 3.17$$

Nas quais:

f_{tb} = resistência à tração indireta do bloco (MPa);

P = força máxima aplicada pela máquina (kN);

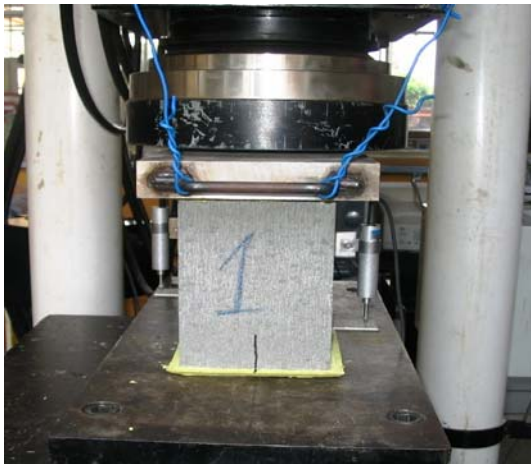
L = distância em que é aplicada à força (espessura da parede transversal vezes 2)

H = altura do bloco(cm).

3.4.8. Módulo de deformação

O ensaio do módulo de deformação em blocos de concreto é de difícil execução, pois podem ocorrer concentrações de tensões nas paredes dos blocos e ainda fissuras nos pontos de fixação dos extensômetros, causando um alto desvio padrão e inviabilizando o ensaio.

A fim de evitar problemas desta natureza nos blocos da pesquisa, inicialmente foram realizados ensaios-piloto com blocos naturais da fábrica. Este ensaio piloto consistiu em fixar um extensômetro em cada face com o auxílio de cantoneiras metálicas coladas a um terço do comprimento do bloco. Foi usada uma chapa de aço de 40 mm para garantir uma distribuição homogênea de carga no bloco (Figura 3.28 a). No entanto, os resultados não foram satisfatórios, pois as fissuras ocasionadas pela tensão desprenderam as cantoneiras (Figura 3.28 b) e causaram erros nas leituras dos dados para a produção das curvas tensão x deformação.



a) Posicionamento dos transdutores



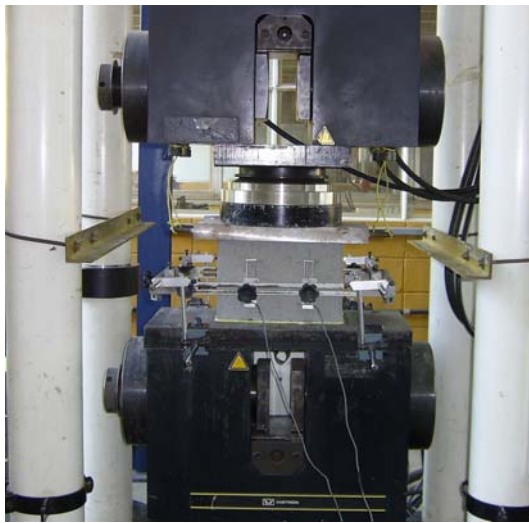
b) Fissura despreendendo a cantoneira

Figura 3.28 – Ensaio piloto de módulo de deformação do bloco

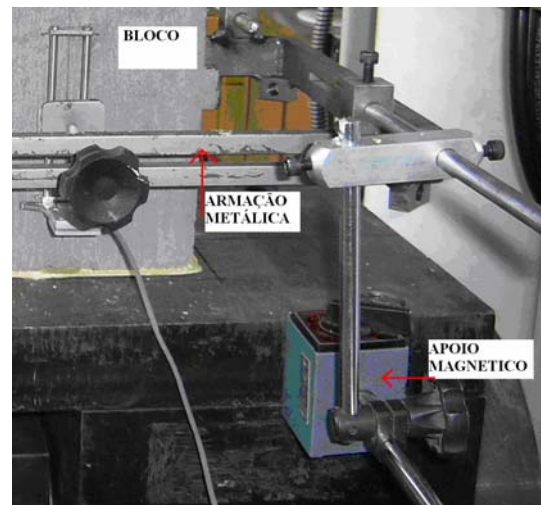
Assim, foi utilizado um novo método de ensaio em que os extensômetros não se apoiavam em cantoneiras coladas e sim em apoios com molas fixados em uma armação metálica, que por sua vez era presa à prensa por meio de apoios magnéticos. Isso

permitiu a utilização de 4 extensômetros, dois em cada fase do bloco, o que melhorou a qualidade dos resultados e reduziu o desvio padrão (Figura 4.29).

O ensaio foi realizado com velocidade constante de 0,005 mm/s até a ruptura do bloco numa prensa marca INSTRON com capacidade de carga de 2500 kN, controle de deslocamento e sistema de aquisição de dados. Para o cálculo dos módulos de deformação foram traçadas as curvas tensão x deformação de seis blocos para cada traço selecionado.



a) Esquema de ensaio



b) Detalhe do apoio magnético



c) Fixação dos transdutores com os apoios de mola



d) Prensa INSTRON com sistema de aquisição

Figura 3.29 – Ensaio de módulo de deformação do bloco

3.5. PRISMAS DE TRÊS BLOCOS DE CONCRETO

Romagna (2000), entre outros pesquisadores, afirma que para a produção de prismas devem ser utilizados no mínimo três blocos, pois quando a razão altura/espessura for inferior a quatro o efeito de confinamento dos pratos da prensa podem influenciar de forma significativa nos resultados dos ensaios. Como a NBR 8215 (1983), em seu método de preparo, refere-se ao prisma de concreto como sendo dois blocos de concreto com uma junta de argamassa, optou-se por utilizar as normas americanas E – 447 (1997) e C – 1314 (1997) por definirem prismas de três blocos.

Assim, foram realizados ensaios de resistência à compressão e de módulo de deformação em três prismas de três blocos de concreto para cada traço selecionado. Foi utilizada uma prensa de marca INSTRON com capacidade de carga de 2500 kN, com velocidade constante de 0,005 mm/s até a ruptura do bloco. Foram fixados quatro extensômetros com auxílios de barras metálicas e cantoneiras coladas nas faces dos blocos, utilizados para medir a deformação dos prismas. O valor do módulo de deformação de cada prisma foi obtido pela média aritmética dos quatro gráficos tensão x deformação gerados pelos extensômetros (Figura 3.30).



Figura 3.30 – Ensaio prismas de três blocos de concreto

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1. RESULTADOS OBTIDOS PARA AGREGADOS

Os agregados reciclados foram designados pelas seguintes terminologias:

- RGVigota – agregado graúdo reciclado proveniente de vigotas de concreto;
- RGPrensa – agregado graúdo reciclado proveniente da prensagem no processo de produção do bloco de concreto;
- RGBloco – agregado graúdo reciclado proveniente de blocos;
- RGMisturador – agregado graúdo reciclado do misturador no processo de produção do bloco de concreto;
- RGTelha – agregado graúdo reciclado proveniente de Telhas de concreto;
- RMVigota – agregado miúdo reciclado proveniente de vigotas de concreto;
- RMPrensa – agregado miúdo reciclado proveniente da prensagem no processo de produção do bloco de concreto;
- RMBloco – agregado miúdo reciclado proveniente de blocos;

- RMMisturador – agregado miúdo reciclado do misturador no processo de produção do bloco de concreto;
- RMTelha – agregado miúdo reciclado proveniente de Telhas de concreto;

4.1.1. Granulometria

Primeiramente, os agregados reciclados foram separados em fração graúda e miúda, passantes pela peneira 2,4 mm, e depois ensaiadas quanto à granulometria. Foram realizados os mesmos ensaios para agregados naturais, tanto para comparação das suas propriedades com a dos agregados reciclados, como para sua própria caracterização, já que também foram utilizados para a produção dos CPs e blocos de concreto. A Tabela 4.1, Tabela 4.2 e Tabela 4.3 mostram as percentagens retidas e acumuladas, a dimensão máxima e o módulo de finura de cada agregado reciclado, graúdo e miúdo, e agregados naturais, respectivamente.

Tabela 4.1 – Composição granulométrica dos agregados graúdos reciclados

Peneira (mm)	RGVigota		RGPrensa		RGBloco		RGMisturador		RGTelha	
	% retida	% retida acum.	% retida	% retida acum.	% retida	% retida acum.	% retida	% retida acum.	% retida	% retida acum.
12,50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9,50	2	2	0	0	3	3	0	0	3	3
6,30	50	53	13	13	44	47	33	33	56	59
4,80	27	79	24	38	23	69	30	63	22	80
2,40	20	99	61	99	28	97	35	98	19	99
Fundo	1	100	1	100	3	100	2	100	1	100
D. máx	9,5 mm		9,5 mm		9,5 mm		9,5 mm		9,5 mm	
M.F.	5,81		5,37		5,69		5,62		5,83	

Tabela 4.2 – Composição granulométrica dos agregados miúdos reciclados

Peneira (mm)	RMVigota		RMPrensa		RMBloco		RMMisturado r		RMTelha	
	% retida	% retida acum.	% retida	% retida acum.	% retida	% retida acum.	% retida	% retida acum.	% retida	% retida acum.
4,80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2,40	13	13	8	8	10	10	6	6	8	8
1,20	26	38	30	38	19	39	18	24	24	32
0,60	19	57	25	63	22	61	19	43	21	53
0,30	19	77	21	84	22	83	25	68	24	76
0,15	12	88	12	96	12	95	18	86	13	89
Fundo	12	100	4	100	5	100	14	100	11	100
D. máx	4,8 mm		4,8 mm		4,8 mm		4,8 mm		4,8 mm	
M.F.	2,73		2,88		2,89		2,28		2,58	

Tabela 4.3 – Composição granulométrica dos agregados naturais

Peneira (mm)	Areia		Pó de pedra		Peneira (mm)	Pedrisco	
	% retida	% retida acumulada	% retida	% retida acumulada		% retida	% retida acumulada
4,80	1	1	0	0	12,50	0	0
2,40	2	4	8	8	9,50	0	0
1,20	4	8	30	38	6,30	24	24
0,60	8	16	25	63	4,80	37	61
0,30	66	82	21	84	2,40	35	95
0,15	15	97	12	96	1,20	0	95
Fundo	3	100	4	100	Fundo	5	100
D. máx	2,4 mm		4,8 mm		D. máx	9,5 mm	
M.F.	2,08		2,88		MF	5,56	

Na Figura 4.1 estão representadas as curvas granulométricas dos agregados graúdos e os limites superior e inferior da brita 0. Já na Figura 4.2 são apresentadas as curvas granulométricas dos agregados reciclados miúdos, além de areia e pó de pedra.

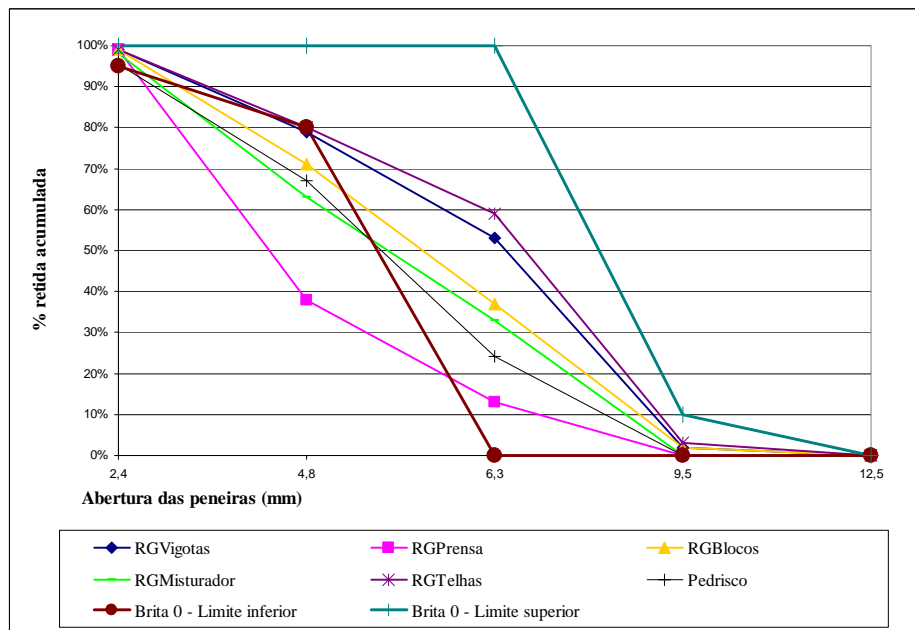


Figura 4.1 – Curva granulométrica dos agregados graúdos

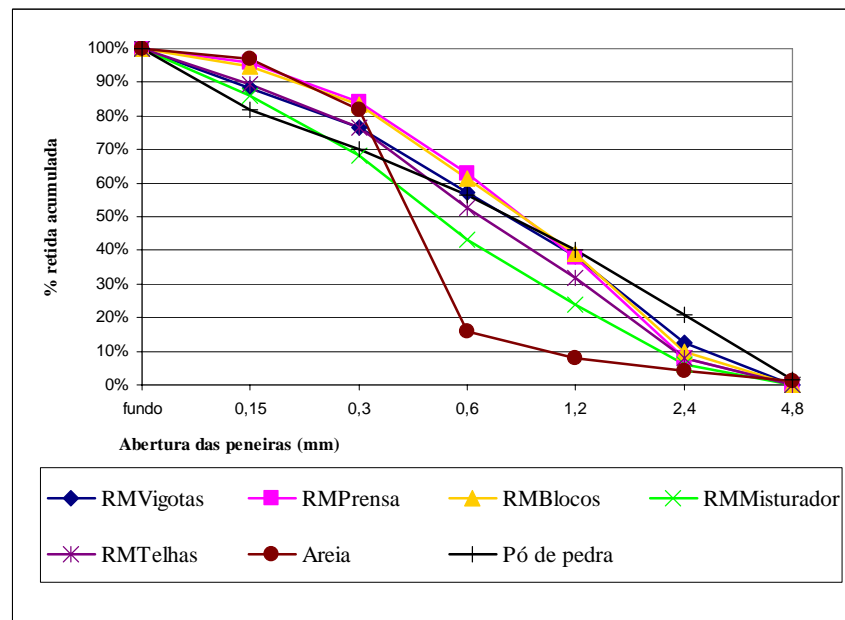


Figura 4.2 – Curva granulométrica dos agregados miúdos

Alguns agregados graúdos, considerados como Brita 0, ficaram abaixo do limite inferior da composição granulométrica, como mostra a Figura 4.1. Nos agregados reciclados miúdos foi verificado que suas granulometrias e módulos de finura estão mais próximos do pó de pedra que da areia.

4.1.2. Massa específica e Absorção de água

4.1.2.1. Procedimento da Norma Brasileira

A) Agregado Graúdo

Os valores obtidos nos ensaios de absorção de água e massa específica de agregados graúdos pelo método da NBR 9937 (1987) estão descritos na Tabela 4.4.

Tabela 4.4 – Absorção de água e massa específica de agregados graúdos pelo método da norma brasileira

AGREGADOS	Absorção de água 24 h (%)	Massa específica seca (kg/dm ³)	Massa específica saturada (kg/dm ³)
RGVigotas	4,00 %	2,332	2,440
RGPrensa	3,48 %	2,684	2,748
RGBlocos	4,45 %	2,382	2,503
RGMisturador	3,57 %	2,438	2,549
RGTelhas	4,45 %	2,239	2,364
Pedrisco	0,73 %	2,756	2,776

Como era esperado, os resultados mostram que quanto maior a massa específica do material menor será a absorção deste, como mostra a Tabela 4.4. Um exemplo é a massa específica seca do RGTelha menor que a massa específica seca do RGPrensa, levando a uma absorção de água maior para o RGTelha.

A tabela citada mostra também que o agregado natural (pedrisco) apresenta massa específica maior que a dos agregados reciclados e absorção de água muito inferior. Os agregados reciclados mais próximos do pedrisco foram o RGPrensa e o RGMisturador. Isso ocorreu devido ao fato destes agregados serem produzidos nas

etapas de fabricação dos blocos e assim apresentarem menor porcentagem de argamassa aderida que os demais.

B) Agregado Miúdo

Os resultados da massa específica seca dos agregados miúdos foram obtidos por meio do frasco de Capman, e estão expostos na Tabela 4.5. Pode-se verificar que são mantidas praticamente as mesmas relações entre os valores que foram obtidos para os agregados graúdos, nas quais o RMPrensa e RMMisturador possuem massa específica alta e o RMTelhas possui o menor valor. A única diferença observada ocorre nos agregados RMBloco para os quais foram obtidos resultados próximos aos dos agregados RMPrensa e do RMMisturador, diferentemente do ocorrido para os agregados graúdos.

Tabela 4.5 – Massa específica de agregados miúdos pelo método da norma brasileira

AGREGADOS	Massa específica seca (kg/dm³)
RMVigotas	2,479
RMPrensa	2,618
RMBlocos	2,653
RMMisturador	2,649
RMTelhas	2,392
Areia	2,625
Pó de pedra	2,899

As normas ABNT não possuem ensaio de absorção de água dos agregados miúdos. Por causa disso, a absorção dos agregados normalmente é desconsiderada na produção de concretos. Entretanto, quando são utilizados agregados reciclados isso pode resultar em perda de trabalhabilidade em concretos fluidos e redução da coesão e da resistência à compressão em concretos secos. Portanto, é um ponto delicado que não pode ser esquecido.

4.1.2.2. Procedimento proposto por Leite (2001)

A) Agregado Graúdo

Os valores de absorção obtidos pelo método proposto por Leite (2001) são calculados pela média da absorção seca e úmida. A Tabela 4.6 apresenta os resultados obtidos pelo método aqui citado e os compara com os valores de referência obtidos pela NBR 9937 (1987), que trata da absorção de água de agregado graúdo.

Tabela 4.6 – Absorção de agregados graúdos reciclados pelo método proposto por Leite (2001)

ABSORÇÃO DE ÁGUA					
	Absorção pela massa seca	Absorção pela massa imersa	Média	Referência (NBR 9937)	Comparação com a NBR 9937
RGVigotas	2,80 %	4,66 %	3,73 %	4,00 %	(-6,8%)
RGPrensa	0,98 %	1,52 %	1,25 %	3,48 %	(-64%)
RGMisturador	1,79 %	2,84 %	2,32 %	3,57 %	(-35%)
RGTelhas	3,07 %	5,35 %	4,21 %	4,55 %	(-7,5%)
* houve problemas no ensaio com o RGBloco					

Quando comparado com a NBR 9937 (1987) este método leva a valores de absorção menores e alta variação, como por exemplo de 64% para RGPrensa. Isso ocorre devido à dificuldade na leitura do peso inicial para o material submerso, fornecendo assim valores errôneos da massa seca inicial. Outro problema detectado foi o dispositivo utilizado para a pesagem do material (Figura 3.4), que dificultou a retirada do ar aprisionado entre as partículas de agregados reciclados. Para a retirada deste ar foi necessária a agitação do dispositivo, o que acarretou em perda de material. Os resultados obtidos por esse método apresentaram alta variabilidade, o que os torna pouco confiáveis.

B) Agregado Miúdo

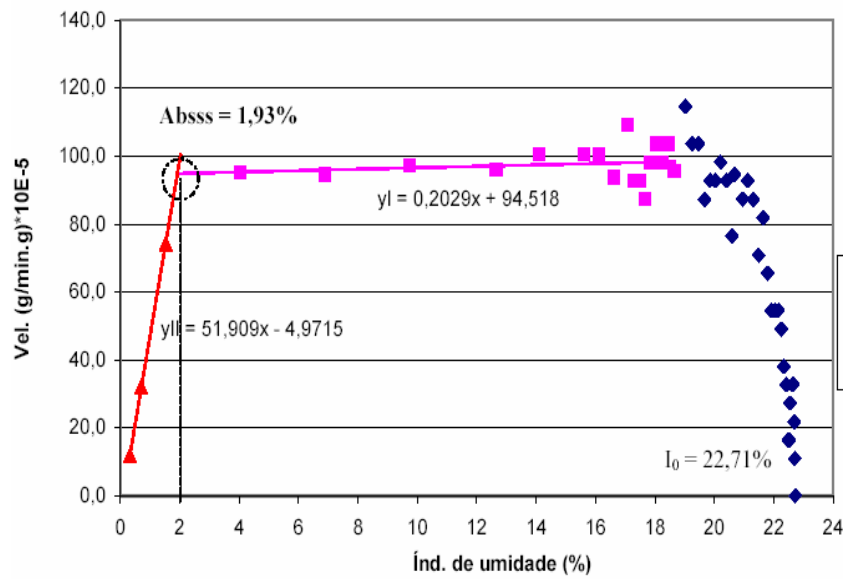
Os resultados da absorção de água para agregados miúdos pelo método proposto por Leite (2001) não foram determinados, devido a perda de material durante o ensaio.

4.1.2.3. Procedimento proposto por Dias (2004)

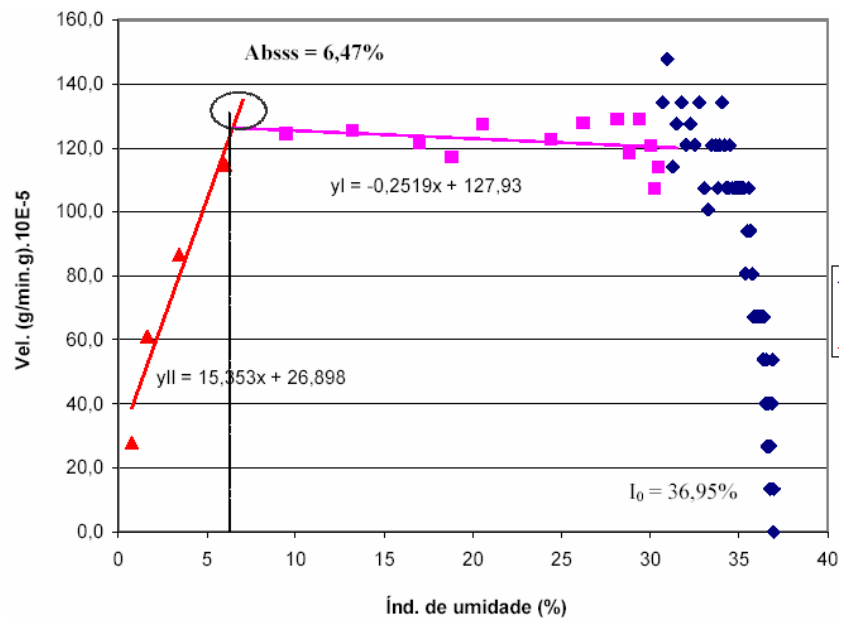
A) Agregado Graúdo

O método de Dias (2004) obtém os valores de absorção de água por meio de gráficos velocidade de secagem x umidade do agregado. Analisando-se os gráficos da Figura 4.3, podem ser observadas as diferentes fases de secagem dos materiais:

- Período Io – início do ensaio, caracterizado pelos valores dispersos da velocidade de secagem devido ao excesso de água na bandeja;
- Período I – caracterizado pela velocidade constante de secagem do material, no qual a água não está mais solta na bandeja e sim envolvendo a superfície do agregado;
- Período II – decréscimo da velocidade de secagem, a água é retirada de dentro do agregado.



a) Pó de pedra



b) RMPrensa

Figura 4.3 – Determinação da absorção de água por meio de gráfico.

O ponto de interseção das retas do período I e II é fundamental para o ensaio, pois por meio deste obtém-se o valor da massa específica seca e conseqüentemente o valor da absorção do agregado.

Dias (2004) recomenda em seus ensaios o uso de curvas de regressão polinomial, o que pode superestimar a condição saturada superfície seca do material. No entanto, nesta pesquisa foi considerado que a secagem seria tratada por meio de regressões lineares para cada etapa da secagem de forma independente, representando melhor o fenômeno de secagem do material, conforme se observa na Figura 4.3.

Tabela 4.7 – Absorção de água de agregados graúdo pelo método de DIAS (2004)

AGREGADOS	Absorção de água (%)
RGVigotas	4,50 %
RGPrensa	3,78 %
RGBlocos	4,90 %
RGMisturador	4,03 %
RGTelhas	5,13 %
Pedrisco	0,73 %

B) Agregado Miúdo

Como os agregados reciclados miúdos possuem altos valores de absorção de água é fundamental para esta pesquisa determinar seus valores. O método de Dias (2004) possibilita a obtenção da absorção de água de agregados miúdos, pois não há perda de material durante o ensaio. Seus valores são apresentados na Tabela 4.8, além da areia e pó de pedra.

Tabela 4.8 – Absorção de água de agregados miúdos pelo método de DIAS (2004)

AGREGADOS	Absorção de água (%)
RMVigotas	9,15 %
RMPrensa	6,47 %
RMBlocos	6,05 %
RMMisturador	5,99 %
RMTelhas	10,62 %
Areia	3,02 %
Pó de pedra	2,32 %

A absorção de água dos agregados miúdos reciclados é bem maior que a dos agregados naturais, podendo chegar a quatro vezes o valor destes. Outro dado observado é a relação inversa entre a absorção de água com a massa específica dos materiais.

Assim, os agregados miúdos RMPrensa, RMBloco e RMMisturador possuem massas específicas próximas e consequentemente absorção de água praticamente iguais, enquanto que os demais agregados reciclados possuem massa específica menor e, consequentemente, maior absorção de água.

4.1.2.4. Comparação entre resultados para absorção de água

Para uma melhor visualização dos valores obtidos, os resultados do método proposto por Dias (2004) e Leite (2001) foram apresentados juntamente com os resultados da NBR 9937 (1987), Figura 4.4. As absorções de água obtidas pelos métodos alternativos foram comparadas com os valores da norma brasileira para facilitar a análise entre os mesmos (Tabela 4.9).

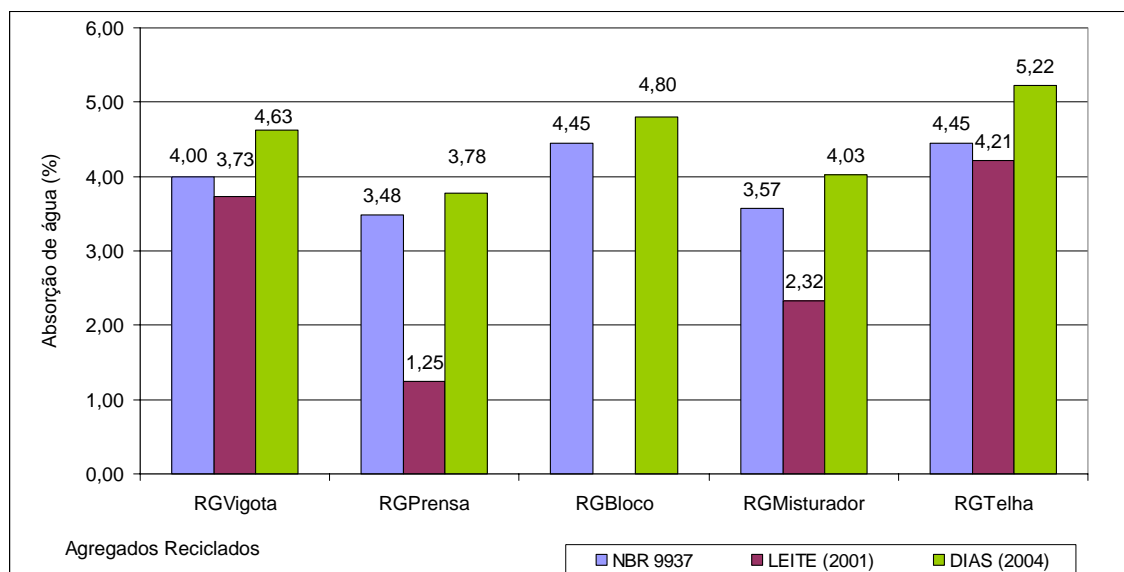


Figura 4.4 – Gráfico de comparação entre os métodos de absorção de água.

Tabela 4.9 – Comparação dos resultados de absorção de agregados graúdos para cada um dos métodos avaliados com os valores da NBR 9937 (1987).

ABSORÇÃO DE ÁGUA (%) – AGREGADOS RECICLADOS					
Amostra	NBR 9937	LEITE (2001)	Comparação de Leite (2001) com a NBR 9937	DIAS (2004)	Comparação de Dias (2004) com a NBR 9937
RGVigota	4,00 %	3,73 %	(-6,8 %)	4,50 %	(+12,5%)
RGPrensa	3,48 %	1,25%	(-64 %)	3,78 %	(+8,6%)
RGBloco	4,45%	-	-	4,90 %	(+10,1%)
RGMisturador	3,57 %	2,32 %	(-35 %)	4,03 %	(+12,9%)
RGTelhas	4,45 %	4,21 %	(-7,5 %)	5,13 %	(+15,3%)

O procedimento proposto por Leite (2001) obteve valores de absorção de água inferiores aos da norma e com grande dispersão de resultados. O uso deste método minora a real possibilidade de absorção dos agregados, o que pode prejudicar propriedades do concreto como trabalhabilidade e resistência, bem como a obtenção da umidade ótima para o uso dos agregados em pavimentação.

Esses problemas ocorreram devido à dificuldade de se obter leituras confiáveis em virtude do aprisionamento de bolhas de ar sob o conjunto e pela lavagem do material fino, como foi explicado anteriormente. Além disso, a rápida absorção de água que ocorre ao se imergir o conjunto distorce do valor da primeira leitura, não representando a condição inicial de material seco.

Já o método proposto por Dias (2004) obteve resultados homogêneos e próximos aos da NBR 9937 (1987), apresentando um aumento médio de 12% da absorção de água. Como nos ensaios de Dias (2004) não há possibilidade de perda de material no processo de secagem dos agregados e há uma fácil determinação da massa específica seca, este se mostra mais eficiente que os demais.

Conclui-se assim que o método de Dias (2004) nos fornece valores mais confiáveis de absorção de água que os métodos de Leite (2001) e da NBR 9937 (1987). Assim foram considerados seus resultados nesta pesquisa.

4.1.3. Massa unitária solta e compactada

A massa unitária dos agregados é fundamental para a transformação do traço em peso para volume, o que foi realizado para a fabricação dos blocos. Também foi incluída a relação entre as massas unitárias solta e compactada, que serve para verificar a capacidade de compactação de cada agregado (Tabela 4.10).

Tabela 4.10 – Massa unitária solta de agregados graúdos

MASSA UNITÁRIA	Solta (kg/dm ³)	Compactada (kg/dm ³)	Relação compactada/solta
RGVigota	1,250	1,320	1,06
RGPrensa	1,301	1,452	1,12
RGBloco	1,180	1,374	1,16
RGMisturador	1,281	1,432	1,12
RGTelhas	1,134	1,238	1,09
Pedrisco	1,393	1,548	1,11

Na Tabela 4.11 são apresentados os valores obtidos para massa unitária solta dos agregados graúdos.

Tabela 4.11 – Massa unitária solta e compactada de agregados miúdos

MASSA UNITÁRIA	Solta (kg/dm ³)	Compactada (kg/dm ³)	Relação compactada/solta
RMVigota	1,270	1,495	1,18
RMPrensa	1,420	1,577	1,11
RMBloco	1,323	1,540	1,16
RMMisturador	1,533	1,746	1,14
RMTelhas	1,254	1,524	1,21
Areia	1,573	1,692	1,08
Pó de pedra	1,646	1,981	1,20

As massas unitárias solta e compactada dos agregados naturais (pedrisco, areia e pó de pedra) em todos os casos foram maiores que as dos agregados reciclados, tanto para agregados graúdos como para miúdos.

Getulio (2001) obteve resultados da massa unitária solta do pó de pedra de 1,614 kg/dm³, enquanto que para os resíduos de demolição de 1,272 kg/dm³, apresentando assim resultados muito próximos aos encontrados nesta pesquisa.

4.1.4. Abrasão

O ensaio de abrasão Los Angeles é realizado somente para agregados graúdos e seu resultado representa a porcentagem da perda de material ocorrida durante o ensaio. A Tabela 4.12 apresenta os valores obtidos para os agregados reciclados graúdos e o pedrisco.

Tabela 4.12 – Abrasão Los Angeles

AGREGADOS	Massa Seca	Massa após ensaio	Abrasão Los Angeles
Pedrisco	5000	4110	17,8%
RGVigota	5000	3800	24,0%
RGPrensa	5000	4040	19,2%
RGBloco	5000	2820	43,6%
RGMisturador	5000	3775	24,5%
RGTelhas	5000	3380	32,4%

Os valores de perda de massa (abrasão Los Angeles) obtidos foram altos para alguns agregados quando comparados com pedrisco, contudo o ensaio de abrasão mostrou que os agregados estudados são resistentes à abrasão, pois os resultados não ultrapassaram 50% de perda de material. Sendo assim todos os agregados podem ser utilizados para a produção de concretos estruturais.

Bazuco (1999) obteve resultados de abrasão maiores que os deste estudo, com perdas de 25% para o pedrisco e de 44% para o agregado reciclado de concreto. Essa variação pode ser explicada pelo uso de agregados provenientes de locais diferentes, principalmente no caso dos agregados reciclados.

4.1.5. Índice de forma

O ensaio do índice de forma foi realizado por um método alternativo, como explicado no item 3.2.5, em que é obtido um parâmetro de angulosidade. Quanto maior esse valor, mais lamelar é o agregado. Os resultados do ensaio estão apresentados na Tabela 4.13.

Tabela 4.13 – Angulosidade dos agregados graúdos e miúdos

AGREGADOS	Massa unitária (kg/dm ³)	Massa específica (kg/dm ³)	Angulosidade
Areia	1,692	2,625	2,5
RMVigota	1,495	2,479	6,7
RMPrensa	1,577	2,618	6,8
RMBloco	1,54	2,653	9,0
RMMisturador	1,746	2,649	1,1
RMTelha	1,524	2,392	3,3
Pedrisco	1,548	2,756	10,8
RGVigota	1,32	2,332	10,4
RGPrensa	1,452	2,684	12,9
RGBloco	1,374	2,382	9,3
RGMisturador	1,432	2,438	8,3
RGTelha	1,238	2,239	11,7

Os valores da angulosidade mostram que os agregados RMMisturador e RMTelha apresentaram resultados próximos aos da areia, ou seja com baixa angulosidade. Já os agregados RMVigota, RMPrensa e RMBloco apresentaram valores mais altos, indicando um formato mais lamelar.

Para os agregados graúdos, todos os agregados mostraram-se lamelares, com resultados próximos ao pedrisco. Somente o RGBloco e o RGMisturados apresentaram angulosidade um pouco menores, com valores abaixo de 10. Os agregados mais lamelares, quando utilizados na produção de concretos provocam um maior índice de vazios.

4.1.6. Argamassa aderida

O ensaio de argamassa aderida mostra a porcentagem de argamassa que compõe o agregado. A quantidade de argamassa depende essencialmente do concreto de origem dos agregados e do processo de britagem desse concreto. Obviamente, o ensaio foi realizado apenas para os agregados graúdos reciclados, pois os agregados naturais não possuem argamassa aderida (Tabela 4.14).

Tabela 4.14 – Argamassa aderida

AGREGADOS	Massa Inicial (g)	Massa final (g)	% Argamassa aderida
RGVigota	500	235,3	52,9%
RGPrensa	500	317,8	36,4%
RGBloco	500	259,1	49,1%
RGMisturador	500	299,6	40,1%
RGTelha	500	41,45	91,7%

Ao final do ensaio verificou-se que toda a argamassa foi retirada dos agregados, permitindo observar a porcentagem de pedrisco restante de cada resíduo. Os RGPrensa e RGMisturador tiveram as menores porcentagem de argamassa aderida, pois estes resíduos não são oriundos de um concreto e sim de uma etapa de fabricação dos blocos, possuindo assim grande quantidade de pedrisco sem nenhuma argamassa aderida. Já os RGTelha são compostos basicamente por argamassa devido à necessidade do uso de pouco pedrisco para obter as baixas espessuras das telhas de concreto, resultando assim em uma porcentagem de argamassa aderida maior que 90%.

4.1.7. Resumo das propriedades dos agregados

Para facilitar a consulta das propriedades dos agregados, um resumo de todas suas propriedades são apresentados na Tabela 4.15.

Tabela 4.15 – Resumo das propriedades dos agregados

ENSAIOS	Módulo de finura	Absorção de água (%)	Massa específica (kg/dm ³)	Massa unitária (kg/dm ³)	Abrasão Los Angeles (%)	Índice de forma	Argamassa aderida (%)
RGVigota	5,81	4,50 %	2,332	1,250	24,0 %	10,4	52,9 %
RGPrensa	5,37	3,78 %	2,684	1,301	19,2 %	12,9	36,4 %
RGBloco	5,69	4,90 %	2,382	1,180	43,6 %	9,3	49,1 %
RGMisturador	5,62	4,03 %	2,438	1,281	24,5 %	8,3	40,1 %
RGTelha	5,83	5,13 %	2,239	1,134	32,4 %	11,7	91,7 %
Pedrisco	5,56	0,73 %	2,756	1,393	17,8 %	10,8	-
RMVigota	2,73	9,15 %	2,479	1,495	-	6,7	-
RMPrensa	2,88	6,47 %	2,618	1,577	-	6,8	-
RMBloco	2,89	6,05 %	2,653	1,540	-	9,0	-
RMMisturador	2,28	5,99 %	2,649	1,746	-	1,1	-
RMTelha	2,58	10,62 %	2,392	1,524	-	3,3	-
Areia	2,08	3,02 %	2,625	1,692	-	2,5	-
Pó de pedra	2,88	2,32 %	2,849	1,981	-	-	-

4.1.8. Seleção dos agregados para produzir blocos

Como para a produção de blocos existem muitas variáveis, foram escolhidos apenas dois resíduos, utilizando-se como principais fatores para a seleção a quantidade de material de cada resíduo gerado pela fábrica Tatu pré-moldados, a porcentagem de fração graúda gerada e a qualidade do agregado.

O agregado reciclado de vigota foi selecionado por ser um resíduo de média resistência, elevado consumo de cimento, com a porcentagem de material graúdo em torno de 72% e geração mensal elevada, próxima a 15m³ por mês.

Já o principal motivo para a seleção do agregado reciclado de bloco foi a geração mensal, que é em torno de 60m³, sendo este um resíduo de baixa resistência, baixo consumo de cimento e com porcentagem de graúdos de 57%.

Assim, pretende-se fazer uma análise criteriosa sobre a influência dos diferentes tipos de agregados incorporados ao concreto, uma vez que serão utilizados agregados reciclados de boa qualidade (resíduos de vigota) e de baixa qualidade (resíduos de bloco).

Não foram selecionados os resíduos oriundos do processo de fabricação dos blocos (resíduos do misturador e da presa), pois estes não deverão afetar significativamente as propriedades do concreto por apresentarem resultados semelhantes aos dos agregados naturais e ainda por possuírem baixa geração mensal. Já para o resíduo de telha seria necessário um estudo mais rigoroso para sua utilização, tendo em vista a baixa quantidade de agregados graúdos nestes resíduos.

Apesar de serem valores específicos para a fábrica Tatu pré-moldados, este estudo é uma boa referência para qualquer fábrica de blocos e elementos pré-moldados, pois fornece os meios de caracterização dos resíduos de concreto para serem utilizados na produção de blocos de concreto.

4.2. ENSAIO PILOTO DE CORPOS DE PROVA

Em um estudo piloto dos parâmetros de produção de concreto seco, foram analisadas as quantidades de golpes para adensamento, porcentagem de pedrisco, umidade da mistura, coesão, massa específica, índice de vazios e aparência dos CPs. De posse destes dados foi possível entender quais as variáveis significativas e como estas podem influenciar na produção de blocos estruturais de concreto.

Estes ensaios foram realizados em corpos de prova, pois isso possibilitou a produção de vários traços com baixo custo de material e tempo de laboratório, quando comparados com os ensaios de blocos de concreto.

Em princípio foi verificada compactação (quantidade de golpes com haste metálica), umidade, aparência e variação na porcentagem de pedrisco para um traço

buscando obter uma resistência adequada para a produção de blocos de 4,5 MPa. Isso significa obter CPs de resistência 7 MPa, conforme a Equação 4.1.

$$R_{cp} = \frac{R_{bloco} \times k \times A_{bruta}}{A_{liq}} \quad 4.1$$

Na qual:

R_{cp} = resistência à compressão do corpo de prova (MPa)

R_{bloco} = resistência à compressão do bloco (MPa)

k = coeficiente de adequação devido à diferença geométrica entre o bloco e o CP, aqui admitido como 0,90.

A_{liq} = área líquida do bloco (cm²)

A_{bruta} = área bruta do bloco (cm²)

Para tanto, foram produzidos vários corpos de prova com traço em peso 1:18 (cimento: agregados) com diferentes quantidades de golpes e números de camadas de compactação. Nestes CPs foram realizados ensaios de compressão axial, resistência à tração, massa específica e absorção de água, sendo um mínimo de 6 cps por traço para as idades de 7 e 28 dias (Tabela 4.16).

Tabela 4.16 – Produção de corpos de prova variando a quantidade de golpes, umidade e percentual de pedrisco para o traço 1:18

(%) Pedr.	Umid. (%)	Numero de golpes	Resist. compr. (MPa)	Resist. tração (MPa)	Coesão (g)	Massa especif. seca (kg/dm ³)	I.V. (%)	Absors. de água (%)	Módulo de deform. (GPa)
20	6	30	9,16	1,231	-	2,263	13,21	5,84	12,92
30	6	30	11,16	1,322	-	2,305	12,45	5,40	14,65
40	6	30	10,64	1,137	-	2,312	13,08	5,66	14,48
50	6	30	10,71	1,120	8422	2,306	13,20	5,72	12,34
20	6	20	6,99	0,959	8890	2,224	14,91	6,70	10,12
20	6,5	20	7,61	0,834	12649	2,237	14,72	6,58	10,89
30	6	20	8,53	0,980	7018	2,283	13,38	5,86	10,99
40	6	20	9,20	1,059	8618	2,293	13,56	5,91	13,31
50	6	20	8,28	1,106	7546	2,306	13,10	5,68	11,97
30	6	20	8,59	1,176	12720	2,267	13,86	6,11	-
30	6	15	7,63	0,999	9675	2,248	14,22	6,32	-
30	6	10	7,67	0,893	6789	2,217	14,20	6,41	-

A resistência à compressão dos CPs na maioria dos traços foi muito elevada. Houve variações significativas desta resistência quando a quantidade de pedrisco foi aumentada de 20% para 30% e quando a compactação aumentou tanto de 15 para 20 golpes quanto de 20 para 30 golpes.

Como para o traço 1:18 em peso, o desejável seria a obtenção de CPs de aproximadamente 7 MPa de resistência à compressão, a compactação de 30 golpes foi excluída, como pode ser observado na Tabela 4.16 destacado em **marrom**.

Em relação à aparência do concreto verificou-se que traços com mais que 30 % de pedrisco promovem uma aparência não adequada ao bloco (Figura 4.5), apesar do aumento significativo da resistência à compressão quando a porcentagem de pedrisco da mistura é aumentada..

Já para a produção de blocos mais resistentes (12 MPa) é necessário uma porcentagem alta de pedrisco na mistura do concreto. Assim, foi estipulado que os blocos seriam produzidos com 30 % de agregado graúdo para todos os traços, tanto por obter aparência desejável quanto para não se tornar mais uma variável para a produção.



Figura 4.5 – Comparação visual entre corpos de prova com 50, 40, 30% de pedrisco

O ensaio piloto mostrou que, quando se aumenta a umidade da mistura, as principais propriedades do concreto melhoram. Obtém-se maior resistência à compressão e à tração, menor absorção, melhor módulo de deformação e coesão. Entretanto, a umidade da mistura é limitada pelo equipamento de produção dos blocos, pois se esta for muito elevada o concreto adere às paredes da máquina de compactação.

A coesão mostrou-se adequada para a maioria dos casos, com valores acima do mínimo recomendável para a produção de blocos, admitido como 7 kg. Somente o traço com 30% de pedrisco, 6% de umidade e compactação de 10 golpes não obteve a coesão desejada, como pode ser observado na Tabela 4.16, destacado em **marrom**.

Com os resultados da variação causada pela compactação e pela porcentagem de pedrisco, se iniciou a segunda parte do estudo em que foi variado o traço da mistura, fixando-se a porcentagem de pedriscos em 30% e a umidade em 6%. Os novos traços foram mais ricos (com maior quantidade de cimento). Para eles foram realizados ensaios de resistência à compressão, massa específica, absorção de água, índice de

vazios, módulo de deformação e coesão, sendo no mínimo 6 CPs para cada traço e para cada variação na quantidade de golpes (Tabela 4.17).

Tabela 4.17 – Características dos CPs variando o traço e a quantidade de golpes

Traço em peso	Número de golpes	Resist. compr. (MPa)	Resist. tração (MPa)	Coesão (g)	Massa especif. seca (kg/dm ³)	I.V. (%)	Absors. de água (%)	Módulo de deform. (GPa)
1:16	20	10,74	1,262	8272	2,277	14,35	6,31	15,12
1:16	15	10,14	1,220	7090	2,238	15,39	6,88	13,64
1:16	10	8,07	0,972	6610	2,215	15,46	6,98	11,32
1:14	20	12,09	1,649	8316	2,302	13,77	5,98	17,50
1:14	15	11,50	1,515	9466	2,286	14,11	6,17	15,38
1:14	10	9,34	1,326	5860	2,242	15,00	6,69	12,89

Todos os resultados mostram uma melhoria nas resistências, índice de vazios e absorção de água quando o traço é mais rico, isto é, 1:14.

A partir dos resultados também foi possível definir a quantidade de golpes por camada, pois este parâmetro está vinculado à coesão. Esta não mostrou bons resultados quando foram usados apenas 10 golpes, como mostra a Tabela 4.17.

Ficou definido, assim, o uso da compactação de 15 golpes em 4 camadas, 30% de pedrisco na composição dos concretos e umidade de 6% para todos os traços dos CPs.

4.3. ENSAIO PILOTO PARA COMPARAÇÃO ENTRE CORPOS DE PROVA E BLOCOS

Como foi explicado no início deste trabalho, nesta etapa foram produzidos corpos de prova com agregados naturais, objetivando uma equiparação das propriedades dos blocos com as dos corpos de prova. Assim, foi inicialmente realizado um estudo piloto para entender melhor quais propriedades poderiam ser comparadas entre os CPs e os blocos.

Com o intuito de produzir corpos de prova e blocos de concreto com a menor diferença possível entre suas características, foi realizada uma visita à indústria de pré-moldados. Na produção dos CPs foram utilizados os valores já estudados de compactação (15 golpes), umidade (6%) e traços desenvolvidos pela indústria e usualmente utilizados na fabricação dos blocos.

Nesta etapa foram utilizados os traços usuais da indústria de pré-moldados dos blocos, de resistência à compressão de 3.0 (vedação), 4.5, 6.0 e 8.0 MPa

A (Figura 4.6) mostra os blocos e corpos de prova utilizados no ensaio piloto produzidos na indústria de pré-moldados.



a) CPs produzidos na indústria



b) Cura térmica na indústria



c) CPs da indústria para ensaio piloto



d) Estocagem dos blocos da indústria para comparação

Figura 4.6 – Produção de corpos de prova e blocos na indústria para uso no ensaio piloto

Estes ensaios indicaram quais características podem ser comparadas diretamente e quais os valores aproximados do coeficiente de adequação da resistência à compressão entre blocos e CPs. Isto permitiu uma análise mais eficiente na comparação dos blocos e CPs com agregados reciclados.

A Tabela 4.18 apresenta os resultados das propriedades dos blocos e dos CPs do ensaio piloto e mostra também um coeficiente de adequação (k) entre a resistência dos blocos e CPs.

Tabela 4.18 – Dados comparativos do ensaio piloto de blocos e CPs

TIPO (MPa)	Idade (dias)	Resist. à compr. (MPa)	Coef. (k)	Resist. à tração (MPa)	Absorção de água (%)	Massa específica seca (kg/dm³)	IRA (g/min/193,55cm²)	Módulo de deform. (GPa)
Bloco 3,0	37	6,54	-	0,55	7,68	2,183	75,40	*
Bloco 4,5	42	9,66	-	0,85	6,87	2,210	80,5	*
Bloco 6,0	38	8,97	-	0,90	6,69	2,238	48,71	*
Bloco 8,0	41	13,77	-	1,37	5,46	2,233	37,74	*
Cp 3,0	28	14,21	1,25	1,51	6,86	2,377	**	12,37
Cp 4,5	28	14,85	0,90	1,53	7,01	2,398	**	13,95
Cp 6,0	28	13,46	0,87	1,12	7,37	2,384	**	13,01
Cp 8,0	28	17,04	0,73	1,96	5,91	2,426	**	17,05
* Problemas na realização do ensaio, como mencionado no item 3.4.8								
** Não se realiza ensaio de taxa de absorção inicial para corpos de prova								

A massa específica seca dos blocos, para todos os casos, foi menor que a dos CPs. As diferenças foram de 9% para os blocos de 3.0 e 8.0 MPa, de 8% para o bloco de 4.5 MPa e de 6% para 6.0 MPa. Isso ocorre porque a vibração e a prensagem são efetuadas de maneira diferente.

A absorção de água também se mostrou um meio eficaz de comparação entre os CPs e os blocos, pois seus valores são próximos. Observa-se que nos blocos a absorção de água foi menor quando a resistência à compressão e a massa específica seca eram maiores. No entanto, isso não ocorreu com os CPs, em que a resistência à compressão

do bloco de vedação apresentou o dobro do valor esperado e, por consequência, absorção de água menor que a dos CPS de 3.0 e 4.5MPa.

Uma propriedade que não pode ser comparada diretamente entre os CPs e os blocos é a resistência à tração, pois sua medição é feita por formas diferentes de ensaios, sendo esta comparação válida apenas entre os CPs ou entre os blocos.

O ensaio de taxa de absorção inicial (IRA) não é realizado em corpos de prova, não permitindo assim a comparação com os resultados dos blocos. Dos valores encontrados somente os dos blocos de 8.0 MPa foram menores que 40 g/min/193,55cm² recomendados por Gallegos (1989), devendo assim os demais serem umedecidos antes de sua aplicação.

Os valores do módulo de deformação também não puderam ser comparados, pois no ensaio dos blocos houve problemas na aquisição das deformações, mascarando alguns ensaios ao ponto de mostrar tração no bloco, conforme comentado no item 3.4.8.

No estudo da resistência à compressão é importante mostrar que as resistências dos blocos foram muito superiores aos valores previstos, principalmente a do bloco de 4.5 MPa, que chegou a 9.66 MPa. Isso mostra que os traços utilizados pela indústria podem ser mudados, reduzindo-se assim o consumo de cimento.

A comparação da resistência à compressão mostrou dados importantes para a pesquisa, pois foram determinados coeficientes de adequação variáveis conforme a resistência do bloco (de 1.25 a 0.73 para blocos de 3.0 MPa a 8.0 MPa respectivamente). Para o cálculo do coeficiente de adequação (k) foi utilizada a Equação 4.2, a Equação 4.1 escrita adequadamente.

$$k = \frac{R_{cp} \times A_{liq}}{R_{bloco} \times A_{bruta}} \quad 4.2$$

4.4. RESULTADOS OBTIDOS PARA CORPOS DE PROVA

Os ensaios realizados nos corpos de prova com agregados reciclados foram fundamentais para definir com quais traços e percentuais de substituições dos agregados reciclados os blocos deveriam ser produzidos. Permitiram também a viabilidade do estudo dos traços para obtenção de blocos por meio de corpos de prova, reduzindo a quantidade de blocos a analisar e conseqüentemente as horas de intervenção da produção da indústria.

É importante ressaltar que os CPs foram produzidos com traços com 50% de reciclado graúdo e 33% de reciclado miúdo, diferentemente dos blocos, que foram produzidos apenas com a fração miúda de reciclado. Isto ocorreu porque a indústria de pré-moldados possui apenas quatro baias de alocação de material (Figura 4.7), não permitindo, portanto, a mistura dos cinco agregados pré-selecionados (areia, pó de pedra, brita, agregado reciclado graúdo e miúdo). Esse fato somente foi detectado no momento da produção dos blocos, impossibilitando um novo estudo dos corpos de prova produzidos com substituição apenas de fração miúda. Para facilitar a nomenclatura do estudo, os corpos de prova com 50% de substituição de reciclado graúdo e 33% de reciclado miúdo foram denominados como se tivessem somente substituição de miúdos.



Figura 4.7 – Baias de alimentação da indústria.

Para cada traço foram produzidos corpos de prova de referência (com agregados naturais) e corpos de prova com as substituições dos agregados naturais por agregados reciclados em porcentagens de 100 e 50% dos grãos e de 33% dos miúdos. Os corpos de prova foram designados pelas seguintes terminologias:

- 1:20 REF – corpo de prova com agregado natural com traço em volume de 1:20;
- 1:15 REF – corpo de prova com agregado natural com traço em volume de 1:15;
- 1:10 REF – corpo de prova com agregado natural com traço em volume de 1:10;
- 100% RGV – corpo de prova com substituição de 100% do agregado natural (pedrisco) por agregado grão reciclado de vigota;
- 50% RGV – corpo de prova com substituição de 50% do agregado natural (pedrisco) por agregado grão reciclado de vigota;
- 33% RMV – corpo de prova com substituição de 50% do agregado natural (pedrisco) por agregado grão reciclado de vigota e 33% do pó de pedra pelo agregado miúdo reciclado de vigota;

- 100% RGB – corpo de prova com substituição de 100% do agregado natural (pedrisco) por agregado graúdo reciclado de vigota;
- 50% RGB – corpo de prova com substituição de 50% do agregado natural (pedrisco) por agregado graúdo reciclado de vigota;
- 33% RMB – corpo de prova com substituição de 50% do agregado natural (pedrisco) por agregado graúdo reciclado de vigota e 33% do pó de pedra pelo agregado miúdo reciclado de vigota.

A Tabela 4.19 mostra a porcentagem dos agregados na composição do concreto utilizados para a produção dos corpos de prova.

Tabela 4.19 – Porcentagem dos agregados na composição do concreto

TIPO	Pedrisco	RG Vigota	RG Bloco	Areia	Pó de pedra	RM Vigota	RM Bloco
100% RGV	-	30 %	-	30 %	40 %	-	-
50% RGV	15 %	15 %	-	30 %	40 %	-	-
33% RMV	15 %	15 %	-	30%	26,66 %	13,33 %	-
100% RGB	-	-	30 %	30 %	40 %	-	-
50% RGB	15 %	-	15 %	30 %	40 %	-	-
33% RMB	15 %	-	15 %	30%	26,66 %	-	13,33 %

Os corpos de prova foram estudados com o objetivo de produzir blocos com resistências de 4.5, 8.0 e 12.0 MPa e para isso foram idealizados traços em volume (cimento:agregados) de 1:20, 1:15 e 1:10 respectivamente. Foram utilizados traços em volume devido ao processo de fabricação dos blocos na indústria fazer a separação de material pela quantidade de voltas da esteira de alimentação do misturador, ou seja, em volume, como já mencionado.

Os corpos de prova foram produzidos no laboratório de estruturas com os mesmos traços dos blocos transformados em peso. Isso resultou em uma pequena redução nos valores dos traços para os concretos com agregados reciclados, pois estes possuem massa unitária menor que a do agregado natural, sendo conseqüentemente mais leves e com menor massa para um mesmo volume, como mostra a Tabela 4.20.

Tabela 4.20 – Resistência à compressão, módulo de deformação e traço em peso de CPs

TIPO	Traço em peso	Resist. compres. 7 dias (MPa)	Relaç. com REF (%)	Resist. compres. 28 dias (MPa)	Relaç. com REF (%)	Módulo deform. 7 dias (GPa)	Relaç. com REF (%)	Módulo deform. 28 dias (GPa)	Relaç. com REF (%)
1:20 REF	1:20	12,59		18,84		17,42		21,16	
100% RGV	1:19,33	11,64	-8%	16,28	-14%	17,56	1%	18,83	-11%
50% RGV	1:19,64	13,22	5%	17,86	-5%	19,48	12%	21,66	2%
33% RMV	1:19,29	10,28	-18%	13,67	-27%	13,07	-31%	15,88	-25%
100% RGB	1:19,45	10,32	-18%	13,45	-29%	14,98	-14%	17,96	-15%
50% RGB	1:19,71	12,65	0%	16,2	-14%	17,1	-2%	18,69	-12%
33% RMB	1:19,52	11,14	-12%	13,78	-27%	13,81	-21%	16,8	-21%
1:15 REF	1:15	20,79		29,89		24,4		26,69	
100% RGV	1:14,50	18,16	-13%	22,43	-25%	21,29	-13%	24,83	-7%
50% RGV	1:14,73	20,59	-1%	27,18	-9%	22,91	-6%	26,29	-2%
33% RMV	1:14,46	18,66	-10%	21,75	-27%	21,59	-12%	23,59	-12%
100% RGB	1:14,58	16,98	-18%	20,86	-30%	18,81	-23%	21,51	-19%
50% RGB	1:14,78	20,13	-3%	25,77	-14%	20,18	-17%	24,01	-10%
33% RMB	1:14,64	13,11	-37%	15,74	-47%	14,68	-40%	21,77	-18%
1:10 REF	1:10	31,83		40,51		30,81		35,21	
100% RGV	1:9,66	31,19	-2%	38,33	-5%	27,14	-12%	31,38	-11%
50% RGV	1:9,82	32,76	3%	43,24	7%	28,85	-6%	34,44	-2%
33% RMV	1:9,64	26,28	-17%	33,04	-18%	24,77	-20%	29	-18%
100% RGB	1:9,72	25,02	-21%	34,00	-16%	23,26	-25%	28,97	-18%
50% RGB	1:9,85	30,17	-5%	36,19	-11%	27,92	-9%	31,14	-12%
33% RMB	1:9,76	26,96	-15%	30,63	-24%	26,85	-13%	27,52	-22%

Para facilitar a compreensão dos resultados da Tabela 4.20 foram grifados de azul os resultados das propriedades dos corpos de prova superiores as propriedades dos CPs de referência. Foram consideradas inadequadas (grifadas de marrom) as propriedades dos corpos de prova com agregados reciclados com reduções em relação aos CPs de referência maiores que a redução média de cada ensaio.

Os ensaios de compressão axial dos corpos de prova com agregados reciclados mostraram uma redução média de 11% aos 7 dias e de 18% aos 28 dias, que são reduções elevadas para estes serem considerados iguais aos de referência. Entretanto, em alguns CPs ocorreu aumento na resistência à compressão. Um exemplo é o traço 1:10 com 50% RGV, que apresenta acréscimo na resistência de 3% aos 7 dias e de 7% aos 28 dias.

Os corpos de prova com agregados reciclados com variação na resistência à compressão maior que 15% em relação aos copos de prova de referência foram considerados inadequados, como por exemplo, o traço 1:15 com 33% RMB que apresenta reduções de 37% aos 7 dias e de 47% aos 28 dias.

A resistência à compressão é fundamental para o processo de exclusão dos traços não apropriados para a produção dos blocos, mas não é a única. Sendo assim, somente foram excluídos da produção de blocos os copos de prova que não se adequaram também a outras propriedades como absorção de água, coesão mínima e módulo de deformação.

Quanto ao módulo de deformação secante, houve uma redução média de 15% aos 7 dias e aos 28 dias, semelhantes aos de resistência à compressão que desqualificam o uso dos traços grifados na Tabela 4.20. Também neste caso foram considerados como inadequados os CPs com variação maior que 15% em relação ao de referência.

Para complementar o estudo das propriedades dos CPs foram realizados ensaios de resistência à tração diametral, coesão, massa específica seca, índice de vazios e absorção de água, sendo verificada também a umidade dos CPs no momento do ensaio de resistência à tração. Os resultados estão apresentados na Tabela 4.21.

Tabela 4.21 – Resistência à tração, coesão, massa específica, e absorção de água dos CPs

Traço	Idade (dias)	Resist. à tração (MPa)	Coesão (g)	Umidade ensaio (%)	Massa específica (kg/dm ³)	I.V (%)	Absor. de água (%)	Aumen. absor. de água
1:20 REF	7	1,58	7637	2,90%	2,331	11,20%	4,81%	-
	28	1,98		1,78%	2,328	11,27%	4,84%	-
100% RGV	7	1,39	6547	3,94%	2,191	13,34%	6,09%	26,63%
	28	1,91		2,22%	2,199	13,51%	6,14%	26,81%
50% RGV	7	1,55	7161	3,56%	2,246	12,25%	5,45%	13,43%
	28	2,27		2,06%	2,279	11,93%	5,24%	8,12%
33% RMV	7	1,33	6831	4,20%	2,157	14,41%	6,68%	38,94%
	28	1,64		2,64%	2,207	14,68%	6,64%	37,05%
100% RGB	7	1,00	5852	3,70%	2,174	13,65%	6,28%	30,58%
	28	1,73		2,34%	2,180	13,63%	6,26%	29,18%
50% RGB	7	1,37	7281	3,30%	2,240	13,32%	5,95%	23,70%
	28	1,99		2,09%	2,255	13,24%	5,87%	21,27%
33% RMB	7	1,38	5539	3,26%	2,201	13,68%	6,21%	29,22%
	28	1,63		1,59%	2,229	12,43%	5,57%	15,08%
1:15 REF	7	2,93	8109	3,03%	2,351	11,16%	4,75%	-
	28	3,59		2,11%	2,350	11,68%	4,97%	-
100% RGV	7	2,36	8268	4,27%	2,214	14,07%	6,36%	33,80%
	28	3,12		2,67%	2,228	13,46%	6,04%	21,47%
50% RGV	7	2,29	7917	3,81%	2,296	11,69%	5,11%	7,55%
	28	3,22		2,29%	2,274	12,12%	5,33%	7,21%
33% RMV	7	1,60	7029	4,07%	2,181	13,57%	6,22%	30,96%
	28	2,65		2,02%	2,205	13,37%	6,07%	21,99%
100% RGB	7	1,93	6766	3,76%	2,221	13,21%	5,95%	25,18%
	28	2,58		2,69%	2,234	14,43%	6,46%	29,92%
50% RGB	7	2,36	7349	3,40%	2,287	12,10%	5,29%	11,36%
	28	2,80		2,26%	2,297	13,29%	5,79%	16,35%
33% RMB	7	1,49	6842	4,09%	2,199	14,93%	6,79%	42,95%
	28	2,20		1,77%	2,245	12,85%	5,72%	15,07%
1:10 REF	7	3,96	12122	3,40%	2,371	10,60%	4,47%	-
	28	4,30		2,33%	2,370	11,21%	4,73%	-
100% RGV	7	3,05	11417	4,34%	2,258	12,61%	5,59%	24,93%
	28	3,66		2,82%	2,236	13,55%	6,06%	28,13%
50% RGV	7	3,24	11092	4,03%	2,315	11,59%	5,01%	11,99%
	28	3,63		2,37%	2,298	12,37%	5,38%	13,74%
33% RMV	7	2,95	9550	4,08%	2,261	12,48%	5,52%	23,38%
	28	3,12		2,21%	2,244	13,27%	5,92%	25,08%
100% RGB	7	3,36	10258	3,44%	2,330	11,21%	4,81%	7,56%
	28	3,63		1,93%	2,300	12,46%	5,42%	14,54%
50% RGB	7	3,25	10432	4,16%	2,219	13,07%	5,89%	31,76%
	28	3,63		2,48%	2,217	13,36%	6,03%	27,43%
33% RMB	7	2,94	8147	4,27%	2,228	14,44%	6,48%	44,88%
	28	3,82		2,43%	2,249	12,57%	5,59%	18,13%

Os resultados da resistência à tração mostraram uma dispersão muito alta e uma redução da resistência em média de 19% para todas as substituições. Os piores resultados ocorreram para os CPs de traço de 1:15 em que houve uma redução na resistência de 27%, em média, desqualificando praticamente todos os CPs com substituições deste traço. Como na resistência à tração as cargas para ruptura são muito baixas, em torno de 10 kN para o traço 1:20, por exemplo, e no ensaio não há controle de velocidade pelo equipamento e sim manual, os valores podem se tornar imprecisos. Sendo assim, a resistência à tração não foi considerada para exclusão dos traços para produção dos blocos.

Os resultados de coesão são importantes para determinar quais traços podem ser usados para a produção de blocos na máquina da indústria, tendo em vista que com valores inferiores a 7kg pode ocorrer dificuldade de moldagem e quebra no transporte dos blocos. Esse limite de coesão não foi obtido para os CPs 1:20 com 100% RGV, 1:20 com 33% RMV, 1:20 com 100% RGB, 1:20 com 33% RMB, 1:15 com 100% RGB e os 1:15 com 33% RMB, como pode ser observado na Tabela 4.21, grifados em **marrom**.

Os valores da umidade do concreto durante o ensaio foram coletados com o intuito de verificar uma possível variação entre os CPs, o que influenciaria na resistência à tração e compressão, tendo em vista que CPs com umidades altas mascaram a resistência real do concreto. Como os traços de referência apresentaram umidade no momento do ensaio menor que a dos CPs com agregado reciclado para todas as substituições, é possível que as reduções das resistências apresentadas nesse capítulo sejam um pouco menores. No entanto não há parâmetros para medir essa redução.

A massa específica seca dos traços com agregados reciclados são em média 4% inferiores em relação aos CPs de referência. Contudo, esta propriedade é favorável na construção de alvenarias tendo em vista o menor peso das paredes executadas com blocos deste tipo. Isto ocorre devido a menor massa específica dos agregados reciclados.

Na absorção de água, os traços com agregados reciclados apresentaram um aumento médio de 22% em relação aos traços de referência, devido a maior absorção

destes agregados. Como para os CPs a absorção de água não ultrapassou os 10% estipulados pela NBR 12118 (1991), todos os CPs possibilitariam a produção de blocos. Entretanto os CPs com aumento de absorção de água maior que o aumento médio foram considerados inadequados para a produção de blocos.

É importante frisar que apesar da variação dos valores de resistência à compressão ser alta, todos os traços obtiveram as resistências mínimas desejadas para a produção de seus respectivos blocos de 4.5, 8.0 e 12.0 MPa e absorção inferior a 10%. Sendo assim, seria possível a fabricação de todos os traços com suas devidas substituições.

Na Tabela 4.22 são apresentadas as substituições que deveriam ser excluídas por não atenderem aos limites estabelecidos para pelo menos três propriedades.

Tabela 4.22 – Resumo dos corpos de prova não apropriados para produção de blocos.

TRAÇO	Coesão (g)	% da absorção de água em relação ao REF		% da resistência à compressão em relação ao REF		% do módulo de deformação em relação ao REF	
		7 dias	28 dias	7 dias	28 dias	7 dias	28 dias
1:20							
33% RMV	6831	38,94%	37,05%	-18%	-27%	-31%	-25%
100% RGB	5852	30,58%	29,18%	-18%	-29%	-14%	-15%
33% RMB	5539	29,22%	15,08%	-12%	-27%	-21%	-21%
1:15							
100% RGB	6766	25,18%	29,92%	-18%	-30%	-23%	-19%
33% RMB	6842	42,95%	15,07%	-37%	-47%	-40%	100%
1:10							
33% RMV	9550	23,38%	25,08%	-17%	-18%	-20%	-18%
33% RMB	8147	44,88%	18,13%	-15%	-24%	-13%	-22%

Assim deveriam ser excluídos os traços 1:20 com 33% RMV, 1:20 com 100% RGB e 1:20 com 33% RMB; 1:15 com 100% RGB e 1:15 com 33% RMB; 1:10 com 33% RMV e 1:10 com 33% RMB. Contudo foram excluídos somente a substituição de 100% RGB nos traços 1:20, 1:15 e 1:10, pois suas propriedades foram muito inferiores aos CPs de referência. Apesar desta exclusão, o agregado graúdo de bloco ainda poderá ser estudado por meio da substituição de 50% (50% RGB).

Os corpos de prova com substituição de agregado miúdo também não apresentaram bons resultados, e seus traços deveriam ser excluídos da produção de blocos, considerando-se o critério anterior exposto. Entretanto, como a pesquisa pretendia realmente estudar a substituição de agregados miúdos, os traços foram mantidos.

4.5. RESULTADOS OBTIDOS PARA BLOCOS DE CONCRETO

Os blocos foram designados da mesma maneira dos corpos de prova por possuírem os mesmos traços com as mesmas composições de materiais, com as substituições dos agregados naturais por agregados reciclados em porcentagens de 100 e 50% dos grãos e de 33% dos miúdos. Apenas os blocos com substituição de agregados miúdos reciclados se diferenciam dos CPs por não possuírem também substituições de agregados grãos reciclados, como apresentado na Tabela 4.23. Os blocos foram designados pelas seguintes terminologias:

- 1:20 REF – bloco com agregado natural com traço em volume de 1:20;
- 1:15 REF – bloco com agregado natural com traço em volume de 1:15;
- 1:10 REF – bloco com agregado natural com traço em volume de 1:10;
- 100% RGV – bloco com substituição de 100% do agregado natural (pedrisco) por agregado grão reciclado de vigota;
- 50% RGV – bloco com substituição de 50% do agregado natural (pedrisco) por agregado grão reciclado de vigota;
- 33% RMV – bloco com substituição de 33% do pó de pedra pelo agregado miúdo reciclado de vigota;
- 100% RGB – bloco com substituição de 100% do agregado natural (pedrisco) por agregado grão reciclado de vigota;
- 50% RGB – bloco com substituição de 50% do agregado natural (pedrisco) por agregado grão reciclado de vigota;

- 33% RMB – bloco com substituição de 33% do pó de pedra pelo agregado miúdo reciclado de vigota.

Tabela 4.23 – Porcentagem dos agregados miúdos na composição dos blocos

TIPO	Pedrisco	RG Vigota	RG Bloco	Areia	Pó de pedra	RM Vigota	RM Bloco
33% RMV	30 %	-	-	30 %	26,66 %	13,33 %	-
33% RMB	30 %	-	-	30 %	26,66 %	-	13,33 %

4.5.1. Resultados obtidos na Indústria

O estudo de blocos com agregados reciclados de concreto é a etapa principal dessa pesquisa. Suas propriedades serão comparadas tanto com os blocos com agregados naturais da indústria de pré-moldados quanto com os corpos de prova produzidos no laboratório. Entretanto, as etapas anteriores foram fundamentais para definir quais propriedades poderiam influenciar de forma significativa na produção dos blocos e quais traços inicialmente imaginados poderiam ser produzidos, assim como para obter parâmetros visando uma devida comparação entre blocos e os CPs.

Desde o início da produção dos blocos na indústria de pré-moldados foram verificados problemas em alguns traços. O primeiro deles foi a inviabilidade de substituição do agregado graúdo e miúdo ao mesmo tempo, devido à quantidade de baias do misturador da fábrica, resultando na substituição apenas do agregado miúdo nos blocos, como já explicitado anteriormente.

Já quanto às propriedades, a primeira restrição encontrada foi a de coesão da mistura, pois os traços 1:20 com 33% RMV e 1:20 com 33% RMB apresentaram dificuldades de moldagem, com muita perda de blocos durante a produção. Para a fabricação dos mesmos foi necessário aumentar os tempos de alimentação, vibração e prensagem para 2.5, 3.0 e 4.5 segundos respectivamente. Em todos os blocos produzidos com reciclado de bloco também foi necessário aumentar os tempos de execução de 1.3, 3.0 e 3.0 segundos para 1.8, 3.0 e 4.0 segundos. Isso ocorreu devido ao

fato do agregado reciclado de bloco proporcionar uma menor coesão ao concreto (Figura 4.8).



Figura 4.8 – Problemas na produção de blocos.

4.5.2. Estabilidade dimensional

Na Tabela 4.24 estão apresentados apenas o traço 1:20 como demonstração. A tabela inteira seria muito extensa e desnecessária tendo em vista que os valores são muito próximos. Os resultados para as paredes transversais dos blocos não foram apresentados pelo mesmo motivo.

Tabela 4.24 – Estabilidade dimensional dos blocos

Traço	Num.	Largura (cm)	Altura (cm)	Comprimento (cm)	Paredes (cm)			Média (cm)
1:20 Referência	1	14,0	19,0	29,2	26,2	26,1	27,2	26,50
	2	14,0	19,0	29,3	25,5	27,4	24,2	25,70
	3	14,0	19,2	29,3	23,4	26,3	26,9	25,53
	4	14,0	19,2	29,2	27,1	27	26,9	27,00
	5	14,0	19,2	29,1	25,1	27,4	27,5	26,67
	6	14,0	19,1	29,2	26,7	29	26,8	27,50
1:20 100% RGV	1	14,0	19,2	29,1	25,8	26,7	26,1	26,20
	2	14,0	19,1	29,2	25,3	26,8	26,3	26,13
	3	14,0	19,2	29,1	25,2	26,1	27,4	26,23
	4	14,0	19,1	29,1	26,5	27,1	25,5	26,37
	5	14,0	19,1	29,2	25,7	28,1	26,4	26,73
	6	14,0	19,2	29,1	28,1	25,5	24,9	26,17
1:20 50% RGV	1	14,0	19,0	29,1	25,8	26	26,6	26,13
	2	14,0	19,1	29,1	25	25,8	27,7	26,17
	3	14,0	19,1	29,2	26,5	27	24,9	26,13
	4	14,0	19,0	29,2	26,1	27,8	26,1	26,67
	5	14,0	19,0	29,1	25,2	26,3	26	25,83
	6	13,9	18,9	29,1	26	26,4	25,2	25,87
1:20 33% RMV	1	14,0	19,0	29,2	26,3	28,1	24,9	26,43
	2	14,0	19,0	29,2	26	26,7	26,3	26,33
	3	14,0	18,8	29,3	25,2	28,1	26,1	26,47
	4	14,1	19,2	29,2	26,5	27,4	25,2	26,37
	5	14,0	19,0	29,2	25,5	26,4	27,4	26,43
	6	14,0	19,0	29,2	27,7	26,4	25,8	26,63
1:20 50% RGB	1	14,0	19,3	29,2	25,9	27	27,3	26,73
	2	14,0	19,1	29,2	25,4	26,6	26	26,00
	3	14,0	19,3	29,2	25,4	26,4	26,6	26,13
	4	14,0	19,3	29,2	26,8	26,5	25,8	26,37
	5	14,0	19,3	29,3	26	27	25,8	26,27
	6	14,0	19,3	29,2	26	26,6	26,2	26,27
1:20 33% RMB	1	14,1	19,3	29,4	25,7	27,7	26,6	26,67
	2	14,0	19,1	29,2	26,6	27,2	25,2	26,33
	3	14,1	19,3	29,3	25,2	28	27	26,73
	4	14,0	19,4	29,1	24,6	26,1	27,7	26,13
	5	14,1	19,4	29,3	26,1	26,2	25	25,77
	6	14,0	19,1	29,3	26,4	27	26,3	26,57

Os blocos produzidos com agregado reciclado mantiveram a mesma estabilidade dimensional que os blocos de referência. Praticamente todos os blocos estavam conforme a NBR 6136 (1994), que limita a variação nas dimensões em 3 mm para mais

e 2 mm para menos. Somente os blocos com traço com 33% RMB apresentaram variações maiores que 3 mm nas dimensões.

4.5.3. Massa específica, absorção de água, taxa de absorção inicial (IRA), e índice de vazios dos blocos

Os resultados da massa específica seca, absorção de água e índice de vazios são apresentado juntamente com a taxa de absorção inicial na Tabela 4.25.

Tabela 4.25 – Absorção de água, IRA, massa específica e índice de vazios dos blocos

Traço	Massa específica (kg/dm ³)	Absorção de água (%)	Aumento da absorção de água (%)	Índice de vazios (%)	IRA (g/min/193,55cm ²)
1:20 REF	2,275	5,9%		13,5%	56,43
100% RGV	2,104	7,3%	23,4%	15,4%	28,57
50% RGV	2,147	6,9%	15,8%	14,7%	20,52
33% RMV	2,156	6,6%	11,6%	14,2%	14,94
50% RGB	2,197	6,5%	9,8%	14,3%	20,15
33% RMB	2,153	6,4%	8,5%	13,8%	21,36
1:15 REF	2,216	6,1%		13,5%	30,94
100% RGV	2,114	7,0%	15,2%	14,8%	23,00
50% RGV	2,159	6,9%	13,0%	14,9%	30,42
33% RMV	2,165	6,3%	3,4%	13,6%	10,28
50% RGB	2,216	5,9%	-3,5%	13,0%	17,77
33% RMB	2,176	6,1%	-0,3%	13,2%	17,32
1:10 REF	2,182	6,3%		13,8%	53,56
100% RGV	2,115	7,3%	15,6%	15,5%	58,57
50% RGV	2,143	6,6%	4,7%	14,2%	41,07
33% RMV	2,184	6,3%	0%	13,8%	10,53
50% RGB	2,204	5,8%	-7,9%	12,9%	30,30
33% RMB	2,240	5,2%	-18,3%	11,6%	5,99

A massa específica seca dos blocos com agregados reciclados teve uma redução média de 3% em relação aos blocos de referência. Isso ocorreu porque a massa específica do agregado reciclado é menor que a do agregado natural. Ao contrario, os blocos com traço 1:10 com 33% RMV, 1:10 com 50% RGB e 1:10 com 33% RMB

apresentaram massas específicas maiores. Essa diferença ocorreu devido a uma maior compactação desses blocos na fabricação.

A absorção de água é maior para os blocos com reciclados de vigota quando comparados com os de referência para todos os traços. Entretanto, os traços com reciclados de bloco mais fortes (1:15 e 1:10) apresentaram absorção menor. Esse fato também ocorreu devido a melhor compactação destes blocos da fabricação, resultando em resistências maiores, absorção e índice de vazios menores.

O índice de vazios segue a mesma tendência da absorção de água, pois o que difere o cálculo das duas propriedades é o numerador das Equações 4.1 e 4.3. Este fato é verificado nos valores apresentados na Tabela 4.25, que mostra um aumento do índice de vazios quando a absorção de água do bloco é maior.

A taxa de absorção inicial (IRA) dos blocos com agregados reciclados apresentou bons resultados, mostrando que a maioria destes blocos não precisa de cuidados especiais para sua utilização. Somente os blocos com traço 1:10 com 100%RGV e 1:10 com 50%RGV apresentaram valores superiores a 40 kg/min/193,55 cm² recomendados por Gallegos (1989). Entretanto, nos blocos de referência, o IRA também apresentou valores acima deste limite para os traços de 1:20 e 1:10. Para estes é sugerido o umedecimento dos blocos antes de sua aplicação. A taxa de absorção inicial dos blocos fabricados pela indústria com agregados naturais também apresentou valores superiores a 40 kg/min/193,55 cm², como apresentado no item 4.3. Isso que mostra uma melhora nas propriedades dos blocos produzidos com agregados reciclados, em relação àqueles produzidos com agregados naturais.

Já o bloco de traço 1:10 com 33% RMB apresentou baixa taxa de absorção de água, menor que os 10 kg/min/193,55 cm² recomendados por Gallegos (1989), o que pode prejudicar a ligação entre o bloco e a argamassa de assentamento.

4.5.4. Resistência à compressão

Os valores das resistências à compressão foram em todos os traços satisfatórios para produção de blocos de 4.5, 8.0 e 12.0 MPa aos 28 dias e em alguns traços seriam satisfatórios desde os 7 dias. Como nosso objetivo não é produzir blocos e sim comparar suas principais propriedades entre os blocos com agregados reciclados e os blocos com agregados naturais, a Tabela 4.26 apresenta os valores da resistência à compressão para 7 e 28 dias, com a devida comparação entre os blocos.

Tabela 4.26 – Resistência à compressão dos blocos

Traço	Resist. à comp. (MPa) 7 dias	Coef. de variação	Relação entre os blocos com o REF (%)	Resist. à compr. (MPa) 28 dias	Coef. de variação	Relação entre os blocos com o REF (%)
1:20 REF	8,59	7,15%		10,84	4,35%	
100% RGV	7,54	7,42%	-12%	8,96	5,77%	-17%
50% RGV	7,04	9,49%	-18%	8,39	12,06%	-23%
33% RMV	5,54	13,25%	-36%	7,56	11,49%	-30%
50% RGB	7,01	7,48%	-18%	8,96	11,61%	-17%
33% RMB	5,33	11,20%	-38%	6,60	13,08%	-39%
1:15 REF	10,04	10,18%		12,79	9,87%	
100% RGV	10,42	8,52%	4%	12,29	6,41%	-4%
50% RGV	9,05	11,48%	-10%	11,80	4,19%	-8%
33% RMV	8,79	17,95%	-12%	11,25	10,40%	-12%
50% RGB	9,95	5,52%	-1%	13,39	8,37%	5%
33% RMB	7,65	10,76%	-24%	10,62	7,18%	-17%
1:10 REF	11,09	15,96%		15,69	16,19%	
100% RGV	11,10	13,55%	0%	13,30	8,32%	-15%
50% RGV	12,12	8,76%	9%	15,73	12,85%	0%
33% RMV	12,48	9,62%	13%	14,82	15,56%	-6%
50% RGB	11,51	11,82%	4%	16,19	6,45%	3%
33% RMB	15,52	4,61%	40%	18,75	6,03%	19%

Na Figura 4.9 são apresentados gráficos das resistências à compressão aos 7 e 28 dias, com os resultados mínimos, médios e máximos de todos os blocos ensaiados.

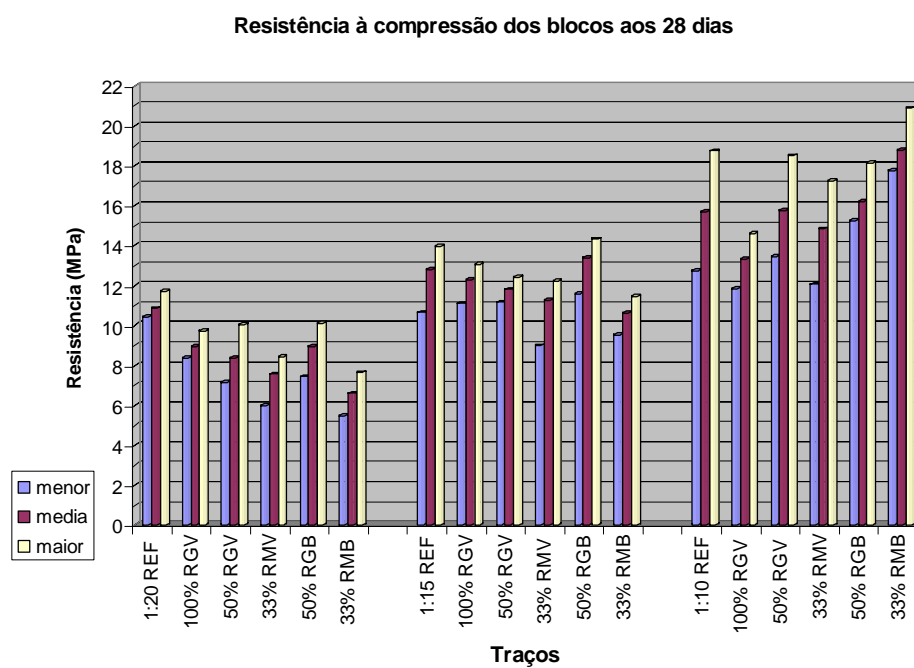
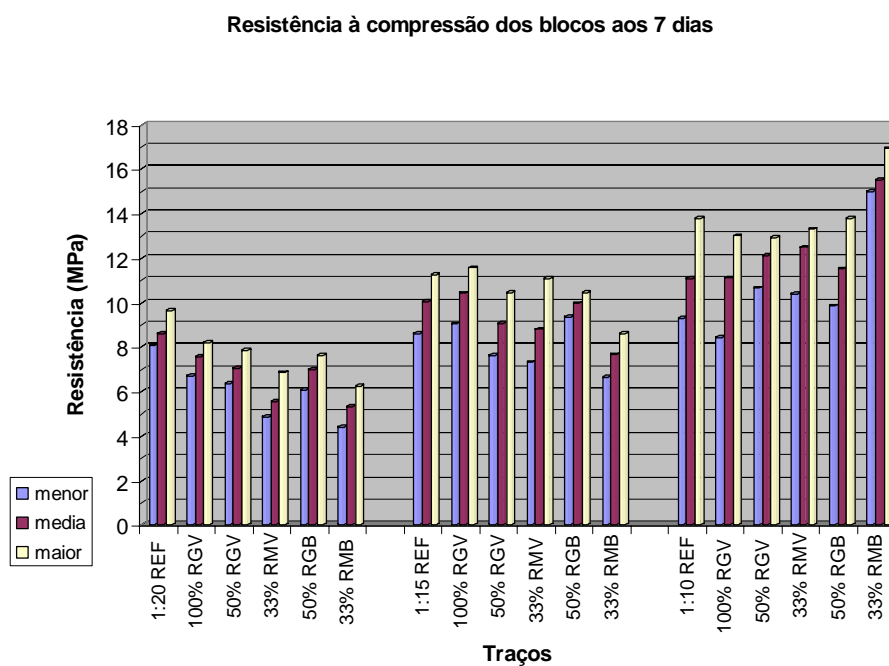


Figura 4.9 – Gráficos das resistências à compressão mínimas, médias e máximas de cada traço

Quanto à resistência à compressão, os blocos de concreto apresentaram coeficientes de variação relativamente elevados, com valores que chegaram a superar

15% (1:10 Referência, 1:10 com 33% RMV e 1:15 com 33% RMV). Essa variabilidade pode ocorrer por fatores diversos, como mistura não homogênea, vibração e prensagem diferenciada no equipamento de moldagem e umidade no momento do ensaio. Nesta pesquisa foi verificado que os blocos com menor massa para cada traço proporcionavam resistências à compressão menores e possuíam índices de vazios maiores, comprovando uma diferença de compactação entre blocos do mesmo traço.

O bloco de referência de traço 1:20 apresentou resistência à compressão elevada, por consequência, os blocos com substituição dos agregados reciclados apresentaram redução elevada da relação entre sua resistência à compressão e a do bloco de referência, em média de 25%. Sendo assim, para este traço será admitida uma tolerância de 20% de redução em relação ao valor do bloco de referência. Assim, para o traço 1:20 foram consideradas inadequadas as substituições de 33% RMV e 33% RMB.

Já para os blocos com agregados reciclados de traço 1:15, apenas o bloco 1:15 com 33% RMB houve redução significativa da resistência à compressão, com 24% aos 7 dias e 17% aos 28 dias. Os demais traços mantiveram diferenças aceitáveis, não superiores a 12%. O bloco 1:15 com 33% RMB também foi o único que não obteve a resistência à compressão aos 7 dias de 8.0 MPa, com resistência muito inferior a todos os outros blocos. Em alguns blocos de traço 1:15 houve aumento na resistência à compressão dos blocos com agregados reciclados em relação ao bloco de referência (100% RGV de 4% aos 7 dias e 50% RGB de 5% aos 28 dias). Estes casos aparecem grifados em azul na Tabela 4.26.

Na comparação da resistência à compressão entre blocos com agregados reciclados e blocos de referência de traço 1:10, algumas substituições não apresentaram a resistência esperada de 12.0 MPa aos 7 dias (1:10 com 100% RGV e 1:10 com 50% RGB). Todos os demais blocos tiveram maior resistência aos 7 dias que o bloco de referência, provavelmente devido ao fato do bloco de referência só ter obtido a resistência à compressão desejada aos 28 dias. Deve ser observado que para o traço 1:10 no bloco de referência ocorre um aumento na capacidade de carga de 40%, passando de 11,09 MPa aos 7 dias para 15,69 MPa aos 28 dias, o que não ocorre com os blocos com

reciclados, que aumentam em média 25%. Assim, aos 28 dias, alguns blocos passaram a ser menos resistentes que o bloco de referência (1:10 com 100% RGV e 1:10 com 33% RMV) e outros mais resistentes (1:10 com 50% RGV, 1:10 com 50% RGB e 1:10 com 33% RMB).

Diferentemente do ocorrido nos demais traços (1:20 e 1:15) apresentados, os blocos 1:10 com 33% RMB mostraram desempenho excelente, sendo os mais resistentes à compressão.

Deve ser ressaltado que os resultados aqui apresentados podem ter sido influenciados por diversos fatores. Alguns principais são: diferença de umidade dos blocos na hora do ensaio, diferenças na vibro-prensagem, diferentes umidades dos concretos na hora da moldagem, seleção de blocos defeituosos para ensaio e mistura não totalmente homogênea. De fato todos esses fatores podem ocorrer na fabricação dos blocos e são de difícil controle.

4.5.5. Resistência à tração

Os resultados da resistência à tração apresentaram praticamente as mesmas diferenças entre os blocos com reciclados e os blocos de referência. Assim, sua análise é similar à da resistência à compressão. Ocorreram algumas poucas alterações como, por exemplo, o bloco de traço 1:20 com 50% RGV apresentou grande redução na resistência aos 7 dias (41%) enquanto que o bloco de traço 1:10 com 50% RGB teve resistência à tração 12% maior que o de referência aos 7 dias, diferentemente do ocorrido na resistência à compressão.

Tabela 4.27 – Resistência à tração dos blocos

Traço	Resistência à tração (MPa) 7 dias	Relação entre os blocos e o REF (%)	Resistência à tração (MPa) 28 dias	Relação entre os blocos e o REF (%)
1:20 REF	0,949		10,84	
100% RGV	0,809	-15%	8,96	-17%
50% RGV	0,563	-41%	8,39	-23%
33% RMV	0,602	-37%	7,56	-30%
50% RGB	0,920	-3%	8,96	-17%
33% RMB	0,678	-28%	6,60	-39%
1:15 REF	0,998		12,79	
100% RGV	1,082	8%	12,29	-4%
50% RGV	0,992	-1%	11,80	-8%
33% RMV	1,011	1%	11,25	-12%
50% RGB	1,047	5%	13,39	5%
33% RMB	0,947	-5%	10,62	-17%
1:10 REF	1,460		15,69	
100% RGV	1,290	-12%	13,30	-15%
50% RGV	1,561	7%	15,73	0%
33% RMV	1,603	10%	14,82	-6%
50% RGB	1,628	12%	16,19	3%
33% RMB	1,607	10%	18,75	19%

4.5.6. Módulo de deformação

O módulo de deformação dos blocos com agregados reciclados apresentou variações diferentes para cada resistência do bloco de referência. Na maioria dos casos o módulo de deformação segue a mesma tendência da resistência à compressão, ou seja, quanto mais resistente o bloco maior é o seu módulo de deformação. Os resultados estão na Tabela 4.28.

Tabela 4.28 – Módulo de deformação dos blocos

Traço	Módulo de deformação (GPa)	Módulo de deformação (GPa)	Relação do módulo entre os blocos e o REF (%)	Resistência à compressão no ensaio de módulo (MPa)	Relação da resistência entre os blocos e o REF (%)
	Área bruta	Área líquida			
1:20 REF	9,21	15,79		10,13	
100% RGV	6,27	10,76	-32%	8,46	-17%
50% RGV	4,51	7,70	-51%	7,42	-27%
33% RMV	5,70	9,78	-38%	5,94	-41%
50% RGB	6,11	10,34	-34%	7,95	-22%
33% RMB	5,37	9,10	-42%	6,58	-35%
1:15 REF	10,28	17,57		12,75	
100% RGV	8,55	14,87	-17%	10,69	-16%
50% RGV	8,02	13,73	-22%	12,54	-2%
33% RMV	7,38	12,86	-28%	10,54	-17%
50% RGB	10,56	18,09	3%	13,96	9%
33% RMB	10,56	17,93	3%	8,81	-31%
1:10 REF	11,19	19,33		14,57	
100% RGV	10,71	18,63	-4%	16,53	13%
50% RGV	12,50	21,71	12%	16,39	13%
33% RMV	10,88	19,19	-3%	13,17	-10%
50% RGB	12,13	21,07	8%	17,02	17%
33% RMB	13,11	22,23	17%	17,06	17%

Assim como para a resistência à compressão no traço fraco (1:20), todos os módulos de deformação dos blocos com reciclados foram muito menores que o do bloco de referência. Esse fato ocorreu porque o bloco de referência apresentou valores de resistência à compressão muito acima do esperado, por consequência, módulos de deformação também elevados.

Já no traço 1:15 os blocos com reciclados de vigota (1:15 com 100% RGV, 1:15 com 50% RGV e 1:15 com 33% RMV) mostraram resultados inferiores aos do bloco de referência, enquanto que os com reciclados de bloco (1:15 com 50% RGB e 1:15 com 33% RMB) apresentaram módulos maiores. O bloco com 33% RMB apesar de

apresentar um pequeno aumento no módulo de deformação em relação ao bloco de referência (3%), apresentou grande redução na resistência à compressão (-31%), diferenciando-se dos demais.

Nos traços fortes (1:10) o valor do módulo de deformação para a maioria dos casos acompanhou a tendência já verificada para a resistência à compressão. Os blocos 1:10 com 100% RGV e 1:10 com 33% RMV mostraram resultados inferiores ao de referência, mas com redução muito baixa (4% e 3% respectivamente). Igualmente como ocorrido na resistência à compressão e à tração, a substituição com 33% RMB apresentou valores maiores que o de bloco de referência.

O fato de não haver nenhum método de ensaio padronizado que possa ser utilizado para determinar o módulo de deformação dos blocos faz com que os valores obtidos sejam afetados por diversos fatores, tais como: velocidade e intensidade de carregamento, dimensões dos blocos ou possibilidade de ensaios cíclicos. Dessa forma, a comparação direta dos resultados do módulo de deformação ensaiados por outros pesquisadores torna-se inviável, ressaltando a necessidade de uma norma brasileira específica sobre o assunto.

4.5.7. Comparação dos blocos com os corpos de prova

As propriedades dos blocos foram comparadas com as dos corpos de prova para verificar se as variações nas propriedades se mantiveram dentro do previsto pelo ensaio piloto da comparação entre blocos e corpos de prova no item 4.3 e quais parâmetros poderiam ser comparados diretamente entre blocos e CPs (Tabela 4.29).

Tabela 4.29 – Comparação da massa específica, absorção e índice de vazios entre blocos e CPs.

TRAÇO	CORPOS DE PROVA			BLOCOS		
	Massa específica (kg/dm ³)	Índice de vazios (%)	Absorção de água (%)	Massa específica (kg/dm ³)	Índice de vazios (%)	Absorção de água (%)
1:20 REF	2,328	11,27%	4,8%	2,275	13,5%	5,9%
100% RGV	2,190	13,51%	6,1%	2,104	15,4%	7,3%
50% RGV	2,279	11,93%	5,2%	2,147	14,7%	6,9%
33% RMV	2,207	14,68%	6,6%	2,156	14,2%	6,6%
50% RGB	2,255	13,24%	5,9%	2,197	14,3%	6,5%
33% RMB	2,229	12,43%	5,6%	2,153	13,8%	6,4%
1:15 REF	2,350	11,68%	5,0%	2,216	13,5%	6,1%
100% RGV	2,228	13,46%	6,0%	2,114	14,8%	7,0%
50% RGV	2,274	12,12%	5,3%	2,159	14,9%	6,9%
33% RMV	2,205	13,37%	6,1%	2,165	13,6%	6,3%
50% RGB	2,297	13,29%	5,8%	2,216	13,0%	5,9%
33% RMB	2,245	12,85%	5,7%	2,176	13,2%	6,1%
1:10 REF	2,370	11,21%	4,7%	2,182	13,8%	6,3%
100% RGV	2,236	13,55%	6,1%	2,115	15,5%	7,3%
50% RGV	2,298	12,37%	5,4%	2,143	14,2%	6,6%
33% RMV	2,244	13,27%	5,9%	2,184	13,8%	6,3%
50% RGB	2,217	13,36%	6,0%	2,204	12,9%	5,8%
33% RMB	2,249	12,57%	5,6%	2,240	11,6%	5,2%

A massa específica seca dos blocos para todos os casos foi menor que a dos CPs com diferença não superior a 10%, semelhante à avaliada nos ensaios piloto. Isso ocorreu devido à diferença no processo de compactação dos blocos para os CPs.

A absorção de água mostrou valores dispersos na comparação entre os blocos e os CPs, principalmente para os blocos de referência e blocos com substituição de agregados graúdos de vigota, que apresentaram um aumento médio de 20% em relação aos corpos de prova. Já para os traços com substituição de resíduos miúdos, 33% RMV e 33% RMB, e de resíduos graúdos de blocos, 50% RGB, os valores da absorção de água foram bem próximos, principalmente para os traços mais ricos (1:15 e 1:10). Essa diferença na comparação da absorção de água entre os blocos e os CPs ocorreu devido

ao fato de que alguns blocos foram produzidos com maiores tempos de alimentação, vibração e prensagem, resultando em uma menor absorção de água.

O índice de vazios segue a mesma tendência da absorção de água, como não deveria deixar de ser pois o que difere o cálculo das duas propriedades é o numerador das Equações 3.1 e 3.3.

Como já mencionado no ensaio piloto da comparação entre blocos e corpos de prova no item 4.3, a resistência à tração não deve ser comparada diretamente entre os CPs e os blocos, pois a diferente metodologia dos ensaios não permite a comparação entre os mesmos. Outro dado que não é possível comparar é a taxa de absorção inicial, pois não existe este ensaio para corpos de prova.

O módulo de deformação também não se mostrou adequado para comparações diretas entre os blocos e os CPs, mesmo usando a área líquida do bloco. Isso ocorre devido à diferença de geometria entre o bloco e o corpo de prova, provocando deformações diferentes para a carga aplicada.

Na Tabela 4.30 foram apresentadas as resistências a compressão aos 7 e 28 dias para os blocos e corpos de prova, bem como o coeficiente de adequação (k) para cada um dos traços.

Tabela 4.30 – Comparação entre as resistências à compressão dos blocos e corpos de prova

Traço	Corpo de prova	Bloco	Coeficiente (k)	Corpo de prova	Bloco	Coeficiente (k)
	Resistência à compressão (MPa) 7 dias			Resistência à compressão (MPa) 28 dias		
1:20 REF	12,59	8,59	0,86	18,84	10,84	1,02
100% RGV	11,64	7,54	0,90	16,28	8,96	1,07
50% RGV	13,22	7,04	1,10	17,86	8,39	1,25
33% RMV	10,28	5,54	1,09	13,67	7,56	1,06
50% RGB	12,65	7,01	1,06	16,2	8,96	1,06
33% RMB	11,14	5,33	1,23	13,78	6,60	1,22
MÉDIA			1,04			1,11
1:15 REF	20,79	10,04	1,21	29,89	12,79	1,37
100% RGV	18,16	10,42	1,02	22,43	12,29	1,07
50% RGV	20,59	9,05	1,33	27,18	11,80	1,35
33% RMV	18,66	8,79	1,24	21,75	11,25	1,13
50% RGB	20,13	9,95	1,19	25,77	13,39	1,13
33% RMB	13,11	7,65	1,00	15,74	10,62	0,87
MÉDIA			1,17			1,15
1:10 REF	31,83	11,09	1,68	40,51	15,69	1,51
100% RGV	31,19	11,10	1,65	38,33	13,30	1,69
50% RGV	32,76	12,12	1,58	43,24	15,73	1,61
33% RMV	26,28	12,48	1,23	33,04	14,82	1,31
50% RGB	30,17	11,51	1,54	36,19	16,19	1,31
33% RMB	26,96	15,52	1,02	30,63	18,75	0,96
MÉDIA			1,45			1,40

A resistência à compressão dos blocos de referência apresentou valores maiores que os esperados, resultando em coeficientes de adequação (k) entre blocos e CPs um pouco maiores que os do ensaio piloto. De uma maneira geral, pode-se afirmar que quanto mais resistente o bloco, maior são os coeficientes (k).

Os blocos com 100% RGV e 50% RGV acompanharam a mesma tendência dos blocos de referência para todos os traços, obtendo-se coeficientes k próximos para a maioria dos casos. Isto ocorre devido ao agregado graúdo de vigota ser de boa qualidade e pelo fato desses blocos possuírem os mesmos tempos de compactação que os de referência.

Já os blocos com substituições de agregados miúdos (33% RMV e 33% RMB) e com substituição de agregados graúdos de blocos (50% RGB) apresentaram coeficientes k menores aos 28 dias que aos 7 dias, para todos os traços.

4.6. RESULTADOS OBTIDOS PARA PRISMA DE BLOCOS DE CONCRETO

Na produção dos prismas de blocos de concreto foi excluído o traço 1:20 com substituições de 33%RMV e 33% RMB pois, além dos blocos apresentarem problemas de coesão na sua fabricação seus ensaios de resistência a compressão e absorção de água não apresentaram bons resultados, sendo inadequados para produção.

Para o ensaio dos prismas de blocos de concreto foram estudados previamente diferentes traços de argamassas em peso (cimento:cal:areia) retirados de BS 5628 (1978). Os traços das argamassas são: fraco 1:1:6, médio 1:0,5:4,5 e forte 1:0,25:3. A resistência à compressão e o módulo de deformação das argamassas estão mostrados na Tabela 4.31.

Tabela 4.31 – Resistência à compressão e módulo de deformação das argamassas

ARGAMASSAS	Fraca	Média	Forte
Traço em peso	1:1:6	1:0,5:4,5	1:0,25:3
Resistência à compressão 7 dias (MPa)	2,26	4,24	10,84
Resistência à compressão 28 dias (MPa)	3,06	4,84	15,24
Módulo de deformação 28 dias (GPa)	4,60	6,48	14,13

ROMAGNA (2000) cita que a grande resistência não é sinônimo de melhor solução estrutural. A argamassa deve ser suficiente para suportar os esforços aos quais parede será submetida. Cita ainda que a resistência da argamassa não deve exceder a resistência dos blocos da parede, de maneira que as fissuras que venham a ocorrer na parede ocorram nas juntas. Assim, dentre as argamassas utilizadas optou-se pelo uso da argamassa média, por apresentar resistência à compressão inferior a dos blocos.

Para cada bloco estudado foram confeccionados três prismas. Juntamente com estes foram confeccionados três corpos de prova com sua argamassa de assentamento. Os valores médios da resistência à compressão e módulo de deformação das argamassas de assentamento utilizadas foram de 5,6 MPa e de 14,96 GPa, respectivamente

Na Tabela 4.32, estão apresentados o módulo de deformação e resistência à compressão dos prismas, a resistência à compressão dos blocos aos 120 dias e a relação destas propriedades entre os bloco com substituições de agregados com os blocos de referência, além da relação da resistência prisma/bloco.

Tabela 4.32 – Módulo de deformação e resistência à compressão dos prismas

Traço	Módulo de deformação na área bruta (GPa)	Resistência compressão dos prismas (MPa)	Relação da resistência compress. (%)	Resistência compress. dos blocos 120 dias (MPa)	Relação da resistência compress. (%)	Relação da resistência compress. (%)
			Prismas / REF		Blocos / REF	Prismas / Blocos
1:20 REF	1,85	7,13		15,23		47%
100% RGV	1,70	7,03	-1,4%	9,94	-35%	71%
50% RGV	1,50	5,57	-21,9%	7,92	-48%	70%
50% RGB	1,68	6,21	-12,9%	9,32	-39%	67%
1:15 REF	1,91	8,66		14,55		59%
100% RGV	1,92	10,58	22,3%	15,61	7%	68%
50% RGV	1,88	8,39	-3,1%	13,75	-5%	61%
33% RMV	1,86	8,49	-1,9%	13,53	-7%	63%
50% RGB	2,11	8,85	2,3%	15,04	3%	59%
33% RMB	2,05	7,53	-13,0%	9,85	-32%	76%
1:10 REF	2,39	12,63		20,02		63%
100% RGV	2,22	9,92	-21,5%	17,86	-11%	56%
50% RGV	2,37	10,71	-15,2%	17,40	-13%	62%
33% RMV	2,21	11,55	-8,6%	19,12	-4%	60%
50% RGB	2,35	10,77	-14,8%	18,84	-6%	57%
33% RMB	2,28	11,34	-10,2%	20,38	2%	56%

As resistências à compressão dos prismas foram muito próximas. A redução média na resistência à compressão dos prismas de blocos com agregados foi apenas de 7,7% em relação aos prismas produzidos com blocos de referência. Ocorreram alguns valores maiores que 20% apenas para os blocos de traço 1:20 com 50% RGV e 1:10

100% RGV. Essa homogeneização pode ter ocorrido pela baixa resistência da argamassa de assentamento ou por diferenças na ligação argamassa/bloco devido ao fato dos blocos possuírem rugosidades diferentes.

A relação entre a resistência dos prismas e dos blocos de concreto é fundamental para o presente estudo, pois nesta verifica-se como o bloco trabalha em conjunto com a argamassa e qual a sua eficiência. Desta forma é possível prever como o bloco se comportará em uma parede de alvenaria.

Os valores da relação prisma/bloco foram em média de 63%, com valores próximos para todos os traços. Apenas os bloco 1:10 REF e 1:15 33%RGB apresentaram grande diferença dos demais, com relações prisma/bloco de 47% e 76% respectivamente. Diversos pesquisadores apresentam resultados da relação prisma/bloco entre 70 a 80%, valores estes maiores que os encontrados nesta pesquisa.

Uma observação interessante sobre a resistência à compressão dos blocos utilizados para a produção dos prismas é o aumento dessa resistência de acordo com a idade. Foi observado que dos 28 aos 120 dias os blocos com agregados naturais apresentaram um maior crescimento da resistência (21%) que os blocos com agregados reciclados (13,6%). Isso se dá, possivelmente, pela menor resistência à compressão dos agregados reciclados, que acabaram limitando o crescimento da resistência à compressão dos blocos.

5. CONCLUSÕES

5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo alcançou seu objetivo geral de determinar quais agregados (gráúdos e miúdos) podem ser utilizados para a produção de blocos estruturais de concreto. Foram obtidos resultados satisfatórios para as substituição de 100% do pedrisco por resíduo graúdo de vigota, de 50% do pedrisco por resíduos graúdo de bloco para todos os traços (1:20, 1:15 e 1:10) e de 33% de reciclados miúdos de bloco e de vigotas apenas para o traço de 1:10. Concluindo pela Além disso, foram determinadas as características dos blocos obtidos com agregados reciclados, mostrando-se a viabilidade de sua utilização para fins estruturais.

Conclui-se que a capacidade de absorção de água deve ser analisada com cuidado, sendo que para o estudo de agregados reciclados o método proposto por Dias (2004) apresentou valor mais correto para a massa saturada superfície seca, obtendo assim resultado mais confiável de absorção. Por outro lado os valores da absorção de água fornecidos pelo procedimento proposto por Leite (2001) e pela NBR 9937 (1987) não são adequados, pois nessas metodologias de ensaio há grande possibilidade de segregação do material e aprisionamento de ar.

Apesar de o estudo ter se iniciado com cinco resíduos de concreto, só foram utilizados para a produção dos corpos de prova e dos blocos os dois com melhor

desempenho e, por questões práticas, os que apresentavam maior quantidade de resíduos gerados na indústria de pré-moldados. Os agregados reciclados de vigota e os de bloco foram portanto escolhidos, pois possuíam propriedades diferentes entre si e alta geração mensal pela fábrica (de 15 e 60m³ respectivamente).

Os resultados obtidos nesta pesquisa provavelmente podem ser expandidos para os resíduos oriundos do processo de fabricação dos blocos (resíduos do misturador e da presa), pois estes não deverão afetar significativamente as propriedades do concreto por apresentarem resultados semelhantes aos dos agregados estudados. No entanto, é recomendado realizar ensaios específicos para estes agregados antes da sua utilização.

O estabelecimento de um coeficiente de adequação (k) entre os corpos de prova e os blocos depende da equivalência entre as principais propriedades dos mesmos (massa específica, absorção de água e índice de vazios). Conseguida essa equivalência, pode-se afirmar que o coeficiente de adequação entre um corpo de prova 5x10 cm e um bloco de 14x19x29 cm é de $0,90 \pm 0,20$. De maneira geral ficou determinado que quanto maior for a resistência à compressão do bloco maior será o valor de k, para blocos produzidos com os mesmos agregados.

Tanto o módulo de deformação quanto a resistência à tração na maioria dos casos são diretamente proporcionais a resistência à compressão, ou seja, a adição de agregados reciclados proporciona o mesmo efeito para as três propriedades.

Outro dado importante detectado é que os blocos de referência (com agregados naturais) têm maior tendência de apresentar aumento da resistência com o aumento da idade. Isso foi verificado tanto dos 7 aos 28 dias como dos 28 aos 120 dias. Isto ocorre porque os agregados reciclados são menos resistentes que os naturais.

A incorporação de agregados miúdos não mostrou bons resultados para os traços mais fracos (1:20 e 1:15). De fato, para estes somente o traço 1:15 com 33% RMV adquiriu resistência à compressão aceitável. Estes traços também aparecem com as menores massas específicas e com valores de coesão abaixo do exigido. Por causa disso eles não devem ser utilizados para a fabricação de blocos, pois suas propriedades não

apresentam bom desempenho quando comparados com blocos sem agregados reciclados.

Já para o traço forte (1:10), os blocos com agregados miúdos apresentaram aumento na resistência à compressão, baixa absorção e índice de vazios, além de possuírem as menores taxas de absorção de água imediata. Essa diferença entre o traço forte e os demais ocorre principalmente pela capacidade de coesão dos concretos mais fortes, mostrando que quando há aglomerante suficiente a coesão mínima é obtida, com conseqüente melhora das demais propriedades do bloco.

A taxa de absorção inicial dos blocos com reciclados apresentou resultados melhores que os dos blocos de referência, mostrando uma capacidade dos agregados reciclados de produzir blocos de concretos com menor sucção da água da argamassa que os blocos convencionais. O IRA da maioria dos blocos com agregados reciclados ficou abaixo de 40 g/min/193,55cm², permitindo assim a produção dos blocos com reciclados sem restrições para a argamassa a ser usada e sem a necessidade de umedecer os blocos para sua utilização.

Em relação aos prismas de blocos de concreto, é consenso que a resistência à compressão depende principalmente da resistência e das características dos blocos utilizados, e em menor proporção das características da argamassa. Nesta pesquisa acredita-se que a baixa resistência à compressão da argamassa ou uma má ligação entre esta e bloco possam ter reduzido a resistência final da alvenaria. De fato, a resistência à compressão da argamassa utilizada possuía valores inferiores ao desejado para o ensaio.

Esta pesquisa determinou uma relação média entre as resistências dos blocos e dos prismas de concreto de 63%. Este valor é um pouco inferior ao encontrado na maioria dos estudos sobre prismas de concreto, mas os resultados dos ensaios foram coerentes e de baixa dispersão.

No geral, a pesquisa concluiu o uso de agregados miúdos reciclados de concreto deve ficar limitado a uma porcentagem de substituição de 33% e somente para traços fortes (1:10 ou mais forte).

Algumas propriedades dos blocos produzidos com agregados graúdos foram influenciadas, mas para todos os traços foram obtidos valores adequados, principalmente a resistência à compressão e a absorção de água adequadas para o uso dos blocos estruturais. Fica assim comprovada a possibilidade de substituição de 100% do pedrisco por resíduo graúdo de vigota e de 50% do pedrisco por resíduos graúdo de bloco na fabricação de blocos de concreto.

5.2. SUGESTÕES PARA O PROSEGUIMENTO DA PESQUISA

A presente pesquisa forneceu um panorama sobre a produção de blocos de concreto com agregados reciclados de concreto. Neste estudo, verificou-se que existem muitas variáveis no processo de fabricação dos blocos e que a mudança de alguns valores que foram aqui adotados podem ser estudados com maior profundidade. Em virtude disso são sugeridas algumas linhas de pesquisa:

- Estudo da substituição dos demais resíduos já caracterizados nesta pesquisa. Obter assim, as propriedades dos blocos e prismas para comparação com os resultados aqui apresentados;
- Substituições dos agregados miúdos em porcentagens menores que 33%, verificando assim o limite de substituição para cada um dos agregados;
- Estudo aprofundado da microestrutura do concreto do bloco com agregados reciclados, verificando as diferenças encontradas na zona de transição pasta/agregado reciclado em relação ao concreto dos blocos com agregados naturais;
- Avaliar a retração por secagem dos blocos produzidos com agregados reciclados e compará-las com a retração dos blocos com agregados naturais;

- Realizar um estudo do uso de agregados reciclados miúdos para a produção de argamassas. Determinando sua influência nas propriedades mecânicas tanto da argamassa quanto dos prismas obtidos com sua utilização;
- Estudo específico do traço ideal dos blocos com agregados reciclados. Determinar qual a menor quantidade de cimento e a porcentagem ideal de agregados graúdos da mistura para produzir blocos com resistência característica adequada das classes 4.5 a 12 MPa;
- Estudo de paredes ou paredinhas de alvenaria produzidas com os blocos com agregados reciclados. Determinação do módulo de deformação e resistência à compressão, para obter a relação paredinha/prisma e paredinha /bloco.
- Analisar os gastos da indústria na produção dos blocos com agregados reciclados. Verificar os custos iniciais do processo e viabilidade econômica para sua utilização.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (1988). C 128 – 88 – Standard Test Methods for Splitting tensile strength of masonry units.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (1996). C 1006 – 97 – Standard Test Methods for Splitting tensile strength of masonry units.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (1997). E 447 – 97 – Standard Test Method for Compressive Strength of Laboratory Constructed Masonry Prisms.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (1997). C 1314 – 97 – Standard Test Method for Constructing and Testing Masonry Prisms Used to Determine Compliance with Compressive Strength of Masonry.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (1997). C-67 – 97 – Standard Test Methods for Sampling and Testing Brick and Structural Clay Tile.

ANDOLFATO R. P., CAMACHO J. S., MAURÍCIO R. M. (2003) Estudo de blocos e prismas de concreto para alvenaria estrutural variando a quantidade de cimento e o grau de compactação. Anais do V simpósio EPUSP sobre estruturas de concreto, São Paulo, p. 1-17.

ANDOLFATO, R. P. (2002) Desenvolvimento das técnicas de produção de blocos de concreto para alvenaria estrutural na escala (1:4). Dissertação (mestrado), Universidade Estadual Paulista – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira.

ANDRADE, L. de B.; ROCHA J. C.; CHERIAF, M. (2004a) Estudo comparativo do comportamento de concretos produzidos com agregados graúdos reciclados secos e saturados. . I conferência latino-americana de construção sustentável X encontro nacional de tecnologia do ambiente construído, São Paulo.

ANDRADE, L. de B.; ROCHA J. C.; CHERIAF, M. (2004b) Estudo da influência de agregados reciclados de concreto em substituição ao agregado graúdo natural na produção de novos concretos. I conferência latino-americana de construção sustentável X encontro nacional de tecnologia do ambiente construído, São Paulo.

ANGULO, S. C.; JOHN, V. M.; Ulsen, C.; KAHN, H. (2004) Caracterização de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados separados por líquidos densos. I conferência latino-americana de construção sustentável X encontro nacional de tecnologia do ambiente construído, São Paulo

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1980). NBR-5739 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1982). NBR-7251 – Agregado em Estado Solto – Determinação da massa unitária. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1983). NBR-7211 – Agregado para concreto. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1983). NBR-7810 – Agregado em estado compactado seco – Determinação da massa unitária. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1983). NBR-8215 – Prismas de blocos simples para alvenaria estrutural – Preparo e ensaio à compressão. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1984). NBR-6465 – Agregados – Determinação da Abrasão “Los Angeles”. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1984). NBR-8522 – Concreto – Determinação do módulo de deformação estática e diagrama tensão-deformação. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1987). NBR-7217 – Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1987). NBR-9776 – Massa específica de agregado miúdo – Frasco de Chapman. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1987). NBR-9778 – Argamassas e concretos endurecidos – Determinação da absorção de água por imersão, Índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1987). NBR-9937 – Agregados – Determinação da absorção e da massa específica de agregado graúdo. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1991). NBR-12118 – Blocos vazados de concreto simples para alvenaria estrutural – Determinação da absorção de água, do teor de umidade e da área líquida. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1992). NBR-7184 – Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1994). NBR-6136 – Blocos vazados de concreto simples para alvenaria estrutural. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1994). NBR-7222 – Argamassas e Concretos – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2004). NBR-15115 – Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Execução de camadas de pavimentação - Procedimentos. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2004). NBR-15116 – Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural - Requisitos. Rio de Janeiro.

BARBOSA, C. de S.; BARBO, R. R. de C.; HANAI, J. B. (2004) Influência da absorção das unidades e do processo de cura nas propriedades mecânicas da argamassa de assentamento em alvenaria de blocos de concreto. XXXI Jornadas Sud-Americanas de Ingeniería Estructural, Mendoza, Argentina.

BAZUCO, R. S. (1999). Utilização de agregados reciclados de concreto para a produção de novos concretos. Florianópolis. Dissertação de mestrado.

BROWN, G. G. et al. (1965). Operaciones Básicas de la Ingeniería Química. Editora Marin, S. A. Barcelona apud Dias (2004).

BS 812: Parte 1 (1975) apud Liborio (2003).

BUTTLER, A. M. (2003). Concreto com agregados graúdos reciclados de concreto – influência da idade de reciclagem nas propriedades dos agregados e concretos reciclados. Escola de engenharia de São Carlos, São Carlos. Dissertação de mestrado.

CASALI, J. M. (2003) Estudos comparativos do comportamento de diferentes tipos de argamassas de assentamento para alvenaria estrutural de blocos de concreto. Florianópolis, Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina. 184 p.

CONAMA (2002) – Conselho Nacional do Meio Ambiente – Resolução CONAMA 307 de 05 de julho de 2002.

DIAS, J. F. (2004). Avaliação de resíduos da fabricação de telhas cerâmicas para seu emprego em camadas de pavimento de baixo custo. Tese (Doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

FARIAS R. da S. et.al (2005). Análise de propriedades de resistência à compressão e módulo de deformação em prismas de blocos de concreto produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição. Recife-PE. 47º Congresso Brasileiro do Concreto – IBRACON 2005

FRASSON, A. J. (2000) Proposta de metodologia de dosagem e controle do processo produtivo de blocos de concreto para alvenaria estrutural. Dissertação (mestrado), Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.

GALLEGOS, H. (1989) Albañileira estrutural; Pontificia Universidad Católica del Peru, primeira versão.

GETULIO, J. G. de S. (2001) Contribuição ao estudo da relação entre propriedades e proporcionamento de blocos de concreto – aplicação ao uso de entulho como agregado reciclado. Dissertação (Mestrado) Universidade de Brasília – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Brasília.

GONÇALVES, R. D. (2000). Agregados Reciclados De Resíduos De Concreto – Um Novo Material Para Dosagens Estruturais. São Carlos, 130p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

LEITE, M. B. (2001). Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Tese (Doutorado), Porto alegre.

LENGLER. L.; PRUDENCIO JR, L. R.; DE OLIVEIRA, A. L.(1998) Estudo da influencia da geometria de blocos de concreto na resistência à compressão de prismas

grauteados e não grauteados. VII Encontro nacional de tecnologia do ambiente construído qualidade no processo construtivo, Florianópolis – SC.

LIBORIO, J. B. L. (2003). Notas de aula de concretos estruturais. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo.

LIMA, J. A. R. (1999) Proposição de diretrizes para produção e normalização de resíduo de construção reciclado e de suas aplicações em argamassas e concretos. São Carlos, 246p. Dissertação (mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. (1994). Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais. São Paulo, Pini.

MOHAMAD, G., RAMOS ROMAM, H. (1996) Comportamento mecânico na ruptura de prismas de blocos de concreto. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

NEVILLE, A. M. (1997). Propriedades do concreto. 2. ed. São Paulo. Pini.

OLIVEIRA, M. J. E. (2002). Materiais descartados pelas obras de construção civil: estudo dos resíduos de concreto para reciclagem. Tese (Doutorado), Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.

RILEM RECOMMENDATION (1994). Specifications for Concrete with Recycled Aggregates. Materials and Structures, vol. 27, 557-559.

ROMAGNA (2000). Resistência à compressão de prisma de blocos de concreto grauteados e não grauteados. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

SÁNCHEZ E. (2000) Alvenaria Estrutural de blocos vazados de concreto: insumos básicos, aço, blocos, argamassas. Engenharia Estudo e Pesquisa. Juiz de Fora, v 3 - n 1 - p. 35-44.

SILVEIRA, J. P.; ROCHA, J. C.; CHERIAF, M. (2004) Desenvolvimento de blocos de concreto com uso das cinzas de termelétricas. I conferência latino-americana de construção sustentável X encontro nacional de tecnologia do ambiente construído, São Paulo.

SOUSA, J. G. G.; BAUER, E.; SPOSTO, R. M. (2002) Blocos de concreto produzidos com agregados provenientes da reciclagem de resíduos gerados pela construção civil. IX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído Foz do Iguaçu.

SOUSA, B. O., TEIXEIRA, B. A. do N. (1997). Diagnostico da coleta e destinação final de resíduos da construção civil na cidade de São Carlos-SP. Universidade federal de São Carlos 19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental

VALVERDE, F. M. (2000). Agregados para construção civil. <http://www.dnpm.gov.br/suma2001>.