



**UNIVERSIDADE DE RIBEIRÃO PRETO**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIAS**  
**PROGRAMA DE MESTRADO EM TECNOLOGIA AMBIENTAL**

**MARCOS JOSÉ SILVERIO**

**DESENVOLVIMENTO DE BLOCOS ESTRUTURAIS DE CONCRETO  
UTILIZANDO RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL, NAS  
MODULAÇÕES M10 E M15.**

**RIBEIRÃO PRETO**

**2019**

**Marcos José Silverio**

**DESENVOLVIMENTO DE BLOCOS ESTRUTURAIS DE CONCRETO  
UTILIZANDO RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL, NAS  
MODULAÇÕES M10 E M15.**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Mestrado Profissionalizante em Tecnologia Ambiental do Centro de Ciências Exatas, Naturais e Tecnológicas da Universidade de Ribeirão Preto UNAERP, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Ciências.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Eduardo Formigoni

**Ribeirão Preto**

**2019**

Ficha catalográfica preparada pelo Centro de Processamento  
Técnico da Biblioteca Central da UNAERP

- Universidade de Ribeirão Preto -

Silverio, Marcos José, 1985-

S587d      Desenvolvimento de blocos estruturais de concreto utilizando  
resíduos da construção civil, nas modulações M10 e M15 / Marcos  
José Silverio. – Ribeirão Preto, 2019.

210 f.: il. color.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Eduardo Formigoni.

Dissertação (mestrado) - Universidade de Ribeirão Preto,  
UNAERP, Tecnologia Ambiental. Ribeirão Preto. 2019.

MARCOS JOSÉ SILVERIO

“ DESENVOLVIMENTO DE BLOCOS ESTRUTURAIS DE CONCRETO  
UTILIZANDO RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL, NAS MODULAÇÕES  
M10 E M15”.

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre pelo programa de Mestrado Profissionalizante em Tecnologia Ambiental do Centro de Ciências Exatas, Naturais e Tecnologias da Universidade de Ribeirão Preto.

Orientador(a): Prof. Dr. Carlos Eduardo Formigoni.

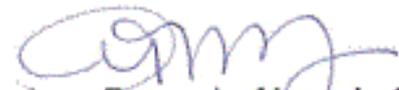
Área de concentração: Tecnologia Ambiental

Data de defesa: 26 de junho de 2019

Resultado: Aprovado

BANCA EXAMINADORA

  
Prof. Dr. Carlos Eduardo Formigoni  
Universidade de Ribeirão Preto – UNAERP  
Presidente

  
Profa. Dra. Luciana Rezende Alves de Oliveira  
Universidade de Ribeirão Preto – UNAERP

  
Prof. Dr. Mateus Araújo e Silva  
Universidade de Ribeirão Preto – UNAERP

Ribeirão Preto  
2019

Dedico este trabalho ao meu filho, Vicente  
Ferreira Silverio que mesmo sem  
compreender faz tudo valer a pena com um  
lindo e simples sorriso.  
*Obrigado!*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, por dar-me sabedoria e forças para seguir em frente.

Ao meu orientador Prof. Dr. Carlos Eduardo Formigoni pela contribuição com o presente trabalho e por todos os ensinamentos.

À minha mãe Maria Aparecida Alves Pereira por todos os sacrifícios que fez para educar a mim e minhas irmãs e por todo o incentivo que despense até os dias atuais.

À minha esposa Carla Irai Ferreira por seu carinho incondicional, sua paciência e por estar sempre ao meu lado me apoiando em todos os momentos da minha vida.

Às minhas irmãs por estarem sempre presentes em minha vida. Em especial a Maria Isabel Pereira Bonfiglioli, sempre participando em muitas escolhas e conquistas.

Agradeço especialmente ao meu amigo João Sérgio Bonfiglioli Junior, pelos conselhos e conversas, que me permitem refletir sobre oportunidades e escolhas, além de boas risadas.

Agradeço aos amigos que fiz ao longo do mestrado, cuja presença foi fundamental em meu desenvolvimento pessoal e profissional.

Agradeço a todos os professores da Universidade de Ribeirão Preto - UNAERP, especialmente aos que estão ligados ao Programa de Mestrado em Tecnologia Ambiental e do curso de graduação em Engenharia Civil.

Agradeço a divisão de Pós-Graduação da UNAERP, especialmente as secretárias Marcela Euzébio Berti e Carla Roberta de Almeida que sempre foram muito atenciosas e cordiais.

Agradeço aos técnicos de laboratório Edmundo Pereira Junior e Franciele Saraiva Fonseca, que ajudaram muito nos experimentos em laboratório, tornando este trabalho possível.

Agradeço a UNAERP, pela bolsa de estudos concedida, demonstrando acreditar no meu potencial, mas sobre tudo em possibilitar meu crescimento profissional.

Agradeço a empresa Estre e a Pedreira Juruze, que gentilmente cederam os agregados reciclados para o desenvolvimento do projeto.

Agradeço a empresa Betontix, que gentilmente executaram e permitiram o acompanhamento dos ensaios das amostras de concreto no estado endurecido.

Agradeço aos amigos Nádia Mechior e José Roberto Marchini, pois no momento mais difícil, aquele que cogitamos desistir, me fizeram ver que era possível, e até mais que isso, fizeram parte concreta deste trabalho.

Agradeço ao Professor Dr. Mateus Araújo e Silva, coordenador do curso de Engenharia Civil, que disponibilizou o laboratório do curso, além de matéria e recursos para que alguns ensaios fossem realizados.

Agradeço aos alunos do Curso de Engenharia Civil, que participaram da realização de alguns ensaios, mas sobre tudo, apoiaram e incentivaram a conclusão deste trabalho.

E finalmente, agradeço a todos que me ajudaram direta ou indiretamente para o desenvolvimento deste trabalho. MUITO OBRIGADO a todos!

## RESUMO

O trabalho analisou a utilização de agregados miúdos e graúdos reciclados provenientes de duas usinas de reciclagem na região de Ribeirão Preto, sem que houvesse qualquer intervenção no material coletado nas usinas, considerando que a classificação inicial do agregado era proveniente dos processos de obtenção de tais materiais. Outro fator a se destacar quanto a natureza do material usado é que não se buscou identificar o resíduo pela sua composição, intencionalmente buscou-se utilizar os agregados para produção de concretos, com traço na proporção de 1:7, em blocos de concreto nas modulações M – 10 e M – 15. Para isto os materiais foram coletados nas referidas usinas seguindo os parâmetros normativos explicitados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, posteriormente os materiais foram analisados quanto as suas propriedade e características físicas, sendo avaliado as valores de densidade, absorção de água, distribuição granulométrica, formato do grão, Umidade, volume de vazios, partículas leves, argilas e materiais friáveis, materiais pulverulentos, desgaste por abrasão inchamento do agregado miúdo e impurezas orgânicas. Após caracterização e comprovação de que os agregados atendiam as especificações técnicas e legais, precede-se a definição dos moldes, uma vez que se propunha uma nova geometria para o bloco, com intuito de aumentar o consumo de Resíduos de Construção Civil – RCC. Com a definição e produção das formas, foi definido o traço, considerando o método de dosagem a Associação Brasileira de Cimentos Portland – ABCP, em seguida produziu concretos dentro dos parâmetros estabelecidos para que fosse possível avaliar a resistência dos blocos de concreto. Considerando que a geometria não havia sido estudada por outros autores nas referências consultadas para realização deste trabalho, foram executados blocos com as duas amostras de agregados reciclados e uma amostra (controle) com agregados naturais, para permitir a comparação entre os valores de resistência obtidos. No estudo optou-se por romper os blocos com 21 dias de idade, pois o cimento utilizado para a produção do concreto caracteriza-se pelo ganho de resistência nos primeiros dias após a concretagem. Observou-se que os resultados apresentaram diferença de resistência dos blocos de agregado reciclado com agregado natural variando entre 18% e 53% a menos para os agregados reciclados, quando comparados aos blocos de agregados reciclados, mas comprovou-se ser possível a utilização como bloco estrutural, pois as amostras ensaiadas tiveram resistência superior a 3,0 Mpa. Por fim, o estudo comparou o consumo de agregado reciclado para a nova geometria em relação ao bloco convencional, constatando um aumento de 94%, tornando-se uma realidade importante a ser discutida em termos de disposição final dos resíduos da construção civil.

**Palavras chave:** Bloco estrutural com agregado reciclado. Resíduo de construção civil. Agregado reciclado. Dosagem de concreto com agregado reciclado.

## ABSTRACT

The research analyzed the use of small and large recycled aggregates from two recycling centers in the region of Ribeirão Preto, without any intervention from the material collected at the centers, considering that the initial classification of the aggregate came from the processes of obtaining such materials. Another factor to be highlighted regarding the nature of the material used is that the residue was not identified by its composition, but rather the aggregates were intentionally used for the production of concrete, with the proportion of a ratio of 1: 7, in concrete blocks in the modulations M - 10 and M - 15. For this, the materials were collected in the above mentioned centers following the normative parameters specified by the Brazilian Association of Technical Standards – ABNT. Later the materials were analyzed according to their properties and physical characteristics, having been evaluated for the density values, water absorption, particles size distribution, shape of the grain, dampness, volume of voids, light particles, clay and friable materials, powdery materials, abrasive wear, swelling of the small aggregate and organic impurities. After characterizing and confirming that the aggregates met the technical and legal specifications, the moulds were then defined, since a new geometry was proposed for the block, in order to increase the consumption of Civil Construction Waste - RCC. With the definition and production of the moulds, the proportion was determined, considering the dosing method the Brazilian Association of Portland Cements - ABCP, soon after, it produced concrete within the established parameters, so that it was possible to evaluate the resistance of the concrete blocks. Considering that the geometry had not been studied by other authors, blocks with the two samples of recycled aggregates and a sample (control) with natural aggregates were executed, in order to allow the comparison between the resistance values obtained. In the study, it was chosen to break the blocks with 21 days of age, because the cement used for the concrete production is characterized by the gain of resistance in the first days after concreting. It was observed that the results showed a resistance difference of the recycled aggregate blocks with natural aggregate, ranging from 18% to 53% less for the recycled aggregates, but it proved possible to use them as a structural block, since the samples tested had superior resistance to 3.0 MPa. Finally, the study compared the consumption of recycled aggregate to the new geometry in relation to the conventional block, noticing an increase of 94%, becoming an important factor to be discussed in terms of the final disposition of civil construction waste.

Keywords: Structural block with recycled aggregate; Civil construction waste; Recycled aggregate; Concrete dosing with recycled aggregate

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Origem do RCC em algumas cidades brasileiras (% da massa total) até 2008. ....	23
Figura 2 – Usinas de Reciclagem instaladas até 2015.....	25
Figura 3 – Artefatos pré-moldados de concreto .....	42
Figura 4 – Bloco vazado de concreto simples .....	43
Figura 5 – Blocos tipo canaleta .....	43
Figura 6 – Bloco compensador.....	44
Figura 7 – Representação gráfica a) Métodos de dosagem b) Métodos de abatimento .....	61
Figura 8 - Usina de reciclagem Reciclax .....	63
Figura 9 - Usina de reciclagem 2.....	64
Figura 10 - Processo de recebimento e britagem resíduos Usina Reciclax .....	64
Figura 11 - Processo de peneiramento e classificação Usina Reciclax .....	65
Figura 12 - Recebimento dos resíduos da Usina 2 .....	65
Figura 13 - Processo de britagem resíduos Usina 2 .....	66
Figura 14 - Detalhe da coleta em monte ou pilha (Seção e vista de topo) .....	67
Figura 15 – Equipamento utilizado para coleta das amostras denominado Trado manual. ....	67
Figura 16 - Coleta da amostra de RCC no topo da pilha, utilizando Trado manual...68	
Figura 17 - Coleta da amostra de RCC no meio da pilha, utilizando Trado manual..68	
Figura 18 – Coleta da amostra de RCC no final da pilha, utilizando Trado manual ..69	
Figura 19 – Frascos de amostra de RCC com os agregados coletados .....	69
Figura 20 - Jogo de peneira posicionadas no agitador mecânico. ....	73
Figura 21 - Processo de quarteamento da amostra .....	74
Figura 22 - Secagem da amostra de agregado com soprador térmico, para levar a condição de superfície saturada seca .....	75
Figura 23 - Secagem da amostra de agregado em bandeja com soprador térmico, para levar a condição de superfície saturada seca .....	76
Figura 24 - Molde cônico para avaliação da umidade superficial .....	76
Figura 25 – Secagem da amostra de agregado para levar a condição de superfície saturada seca.....	78

Figura 26 – Avaliação da condição de superfície saturada seca, grão ainda agregados .....	79
Figura 27 – Avaliação da condição de superfície saturada seca, desmonte de cone, grãos desagregados.....	79
Figura 28 – Secagem superficial do agregado graúdo com pano absorvente .....	80
Figura 29 – Pesagem da amostra de agregado submersa, na balança digital, vista frontal da massa da amostra submersa em água, a) Vista traseira da balança, com a amostra submersa, b) .....	81
Figura 30 – Compactação da amostra de agregado em 3 camadas do volume do balde de 10dm <sup>3</sup> , correspondente a 1/3. ....	83
Figura 31 – Comparação visual da água de lavagem .....	85
Figura 32 – Massa da amostra seca, para verificação dos Torrões de Argila e Materiais Friáveis.....	87
Figura 33 – Líquido denso e amostra AMR2 a) Líquido denso vertido b) .....	89
Figura 34 – Agitação líquido denso e amostra AGR2 a) Líquido denso em repouso com material leve flotando b) .....	91
Figura 35 – Pesagem das partículas leves da amostra AGR2.....	91
Figura 36 – Balde plástico fechado, para conservação das amostras de agregados miúdos secos em estufa.....	92
Figura 37 – Betoneira utilizada para homogeneização do agregado miúdo na elevação dos níveis de umidade de 0,5% a 12% .....	93
Figura 38 – Cápsulas identificadas com teores de umidade de 0,5% a 12%.....	93
Figura 39 – Leitura do nível de água no Frasco de Chapman.....	95
Figura 40 – Comparação de cor da solução padrão com a solução da amostra AMR1 .....	97
Figura 41 – Determinação do comprimento do grão da amostra AGR1.....	99
Figura 42 – Determinação da espessura do grão da amostra AGR1 .....	99
Figura 43 - Bloco de concreto tridimensional na Modulação M-10.....	103
Figura 44 - Bloco de concreto tridimensional na Modulação M-15.....	104
Figura 45 – Demonstração da coincidência dos eixos das seções vazadas para elevação de alvenarias.....	105
Figura 46 – Dimensões das paredes longitudinais e transversais (medidas em centímetros) para o bloco com modulação de 15, M – 15.....	105

Figura 47 – Dimensões das paredes longitudinais e transversais (medidas em centímetros) para o bloco com modulação de 10, M – 10.....	105
Figura 48 – Molde metálico para fabricação bloco de concreto na modulação M - 10 .....	106
Figura 49 – Molde metálico para fabricação bloco de concreto na modulação M - 15 .....	106
Figura 50 – Etapa de corte das chapas metálicas para fabricação dos moldes metálicos .....	107
Figura 51 – Etapa de corte dos tubos para produção dos moldes metálicos .....	107
Figura 52 – Etapa de dobra das chapas metálicas para fabricação dos moldes metálicos .....	108
Figura 53 – Fluxograma de aplicação do método da ABCP .....	109
Figura 54 - Gráfico para a determinação da relação água/cimento (a/c) em função das resistências do concreto e do cimento aos 28 dias de idade .....	113
Figura 55 – Cone de abatimento com a superfície nivelada .....	118
Figura 56 – Verificação do abatimento de cone .....	119
Figura 57 – Corpo de prova retificado, bloco de concreto com modulação M-15....	122
Figura 58 – Conjunto de amostras retificadas .....	122
Figura 59 – Câmara de cura úmida construída a partir de pallets de madeira para colocação dos corpos de prova.....	123
Figura 60 – Câmara de cura úmida com cobertura em lona azul para garantir retenção da água de evaporação.....	124
Figura 61 – Sistema de aspersão da câmara de cura úmida em funcionamento....	124
Figura 62 – Corpo de prova cilíndrico sendo rompido e prensa pneumática manual. ....	125
Figura 63 – Corpo de prova cilíndrico rompidos.....	125
Figura 64 – Bloco de concreto amostra AGR2 na modulação M - 10 sendo rompido em prensa pneumática semiautomática.....	126
Figura 65 – Bloco de concreto amostra AGR2 na modulação M - 10 sendo rompido em prensa pneumática semiautomática.....	126
Figura 66 – Amostra do bloco de concreto na modulação M-15 em estufa para secagem.....	127
Figura 67 – Pesagem das amostras do bloco de concreto na modulação M -10 após secagem em estufa .....	128

Figura 68 – Pesagem das amostras do bloco de concreto na modulação M-10 após submergi-la em água.....	128
Figura 69 – Pesagem das amostras do bloco de concreto na modulação M-15 após submergi-la em água.....	129
Figura 70 – Croqui do bloco estrutural (14cm x 29cm).....	130
Figura 71 – Croqui do bloco estrutural (14cm x 39cm).....	131
Figura 72 - Distribuição granulométrica AMR1.....	133
Figura 73 - Distribuição granulométrica AMR2.....	134
Figura 74 - Distribuição granulométrica AMN.....	134
Figura 75 - Distribuição granulométrica AGR1.....	137
Figura 76 - Distribuição granulométrica AGR2.....	137
Figura 77 - Distribuição granulométrica AGRN.....	137
Figura 78 – Quantidade de material fino que passou pela peneira de 150 µm da amostra AGR2.....	138
Figura 79 – Gráfico comparativo entre os resultados de massas nos seus diferentes estados entre os agregados miúdos reciclados e o agregado miúdo natural.....	140
Figura 80 – Gráfico com dos valores percentuais de absorção de água dos agregados miúdos reciclados e o agregado miúdo natural.....	142
Figura 81 – Gráfico comparativo entre os resultados do material fino que passa pela peneira de 0,075mm dos agregados miúdos reciclados e o agregado miúdo natural.....	143
Figura 82 – Gráfico comparativo entre os resultados Teor de argila em torrões e materiais friáveis dos agregados miúdos reciclados e o agregado miúdo natural...	145
Figura 83 – Gráfico comparativo entre os resultados Teor de materiais leves dos agregados miúdos reciclados e o agregado miúdo natural.....	146
Figura 84 – Gráfico coeficiente de inchamento da amostra AMR1.....	147
Figura 85 – Gráfico coeficiente de inchamento da amostra AMR1.....	147
Figura 86 – Gráfico comparativo entre os resultados Teor de materiais leves dos agregados miúdos reciclados e o agregado miúdo natural.....	148
Figura 87 – Gráfico coeficiente de inchamento dos agregados miúdos reciclados e natural.....	148
Figura 88 – Gráfico coeficiente de umidade superficial da amostra AMR2.....	149
Figura 89 – Gráfico comparativo entre os resultados de massas nos seus diferentes estados entre os agregados graúdos reciclados e o agregado graúdo natural.....	151

Figura 90 – Gráfico com dos valores percentuais de absorção de água dos agregados graúdos reciclados e o agregado graúdo natural. ....	152
Figura 91 – Gráfico comparativo entre os resultados do material fino que passa pela peneira de 0,075mm dos agregados graúdos reciclados e o agregado graúdo natural. ....	154
Figura 92 – Gráfico comparativo entre os resultados do Teor de argila em torrões e materiais friáveis dos agregados graúdos reciclados e o agregado graúdo natural. ....	155
Figura 93 – Gráfico comparativo entre os resultados Teor de materiais leves dos agregados graúdos reciclados e o agregado miúdo natural.....	156
Figura 94 – Gráfico comparativo entre os resultados do Índice de forma pelo método do Paquímetro dos agregados graúdos .....	157
Figura 95 – Gráfico coeficiente de umidade total dos agregados graúdos reciclados e o agregado graúdo natural .....	158
Figura 96 – Gráfico de perda por abrasão dos agregados graúdos reciclados e o agregado graúdo natural .....	159
Figura 97 – Gráfico comparativo de Traço x Resistencia para dosagem de concreto para blocos estruturais. ....	161
Figura 98 – Gráfico do ganho de resistência do concreto CPV – ARI (Holcim).....	163
Figura 99 – Abatimento de tronco de cone amostra 1, primeira verificação.....	164
Figura 100 – Abatimento de tronco de cone amostra 1, segunda verificação .....	164
Figura 101 – Abatimento de tronco de cone amostra 2, primeira verificação.....	165
Figura 102 – Abatimento de tronco de cone amostra 3, primeira verificação.....	166
Figura 103 – Consumo de cimento para amostra 1 .....	167
Figura 104 – Absorção de água amostra 1, Modulação M - 10.....	168
Figura 105 – Absorção de água amostra 1, Modulação M – 15.....	168
Figura 106 – Absorção de água amostra 2, Modulação M - 10.....	169
Figura 107 – Absorção de água amostra 2, Modulação M - 15.....	169
Figura 108 – Absorção de água controle, Modulação M - 10.....	170
Figura 109 – Absorção de água controle, Modulação M – 15 .....	170
Figura 110 – Ganho de resistência em Mpa para corpos de prova cilíndricos da amostra 1 .....	171
Figura 111 – Ganho de resistência em Mpa para corpos de prova cilíndricos da amostra 2 .....	172

Figura 112 – Ganho de resistência em Mpa para corpos de prova cilíndricos do controle .....	172
Figura 113 – Resistencia a compressão simples do bloco de concreto Amostra 1, Modulação M - 10.....	173
Figura 114 – Resistencia a compressão simples do bloco de concreto Amostra 1, Modulação M – 15.....	174
Figura 115 – Resistencia a compressão simples do bloco de concreto Amostra 2, Modulação M – 10.....	174
Figura 116 – Resistencia a compressão simples do bloco de concreto Amostra 2, Modulação M - 15.....	175
Figura 117 – Resistencia a compressão simples do bloco de concreto da Amostra controle, Modulação M – 10 .....	175
Figura 118 – Resistencia a compressão simples do bloco de concreto da Amostra controle, Modulação M – 15 .....	176
Figura 119 – Gráfico comparativo de consumo de agregado para nova geometria x geometria convencional .....	178

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Eixos de investimento do PAC .....	23
Quadro 2 – Soluções para acondicionamento de resíduos da construção civil.....	35
Quadro 3 – Soluções de destinação de RCC.....	37
Quadro 4 – Levantamentos bibliográficos dos métodos de dosagem para estudo com concretos reciclados.....	60
Quadro 5 - Propriedades x Normalização para agregados miúdos .....	71
Quadro 6 - Propriedades x Normalização para agregados graúdos .....	71
Quadro 7 - Propriedades do concreto no estado fresco .....	117
Quadro 8 - Propriedades do concreto no estado endurecido .....	117

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Conjunto de peneiras da série normal e intermediária (abertura nominal)	72
Tabela 2 - Limites da composição granulométrica do agregado miúdo a serem utilizados para a composição do concreto	73
Tabela 3 - Limites da composição granulométrica do agregado graúdo a serem utilizados para a composição do concreto	74
Tabela 4 - Massa Específica da Água	82
Tabela 5 – Intervalos granulométricos e massas mínimas para ensaio de Teor de Argila de Argila e matérias friáveis	86
Tabela 6 - Peneiras para remoção das partículas de argila e materiais friáveis	87
Tabela 7 - Quantidade mínima de material para ensaio	97
Tabela 8 - Aberturas das peneiras em mm, para separação da amostra e determinação das cargas abrasivas.	101
Tabela 9 - Graduação de massa para determinação do número de ciclos de rotação do tambor, para avaliação da abrasão sofrida pela amostra de agregado graúdo.	101
Tabela 10 - Dimensões padronizadas (mm)	103
Tabela 11 - Características físicas do Cimento Ultra Rápido (CPV ARI) da Holcim, ensaio no período de junho a julho de 2017.	109
Tabela 12 - Quantidade mínima de amostra para ensaio	110
Tabela 13 - Correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto	112
Tabela 14 - Valores da relação água/cimento (a/c) em função das condições de durabilidade do concreto	112
Tabela 15 - Classe de agressividade atmosférica para concretos	113
Tabela 16 - Estimativa do consumo de água por metro cúbico de concreto em função	114
Tabela 17 - Volume compactado seco de agregado graúdo por metro cúbico de Concreto	115
Tabela 18 - Quantidade mínima de amostra para ensaio	121
Tabela 19 – Valores de $\psi$ em função da quantidade de blocos	121
Tabela 20 – Requisitos para resistência característica à compressão	123
Tabela 21 - Distribuição granulométrica dos agregados miúdos	133

Tabela 22 - Distribuição granulométrica dos agregados miúdos natural e reciclados .....	135
Tabela 23 - Distribuição granulométrica dos agregados graúdos .....	136
Tabela 24 – Comparação do diâmetro máximo característico e do Módulo de Finura entre estudos realizados e os resultados de presente estudo.....	138
Tabela 25 – Dados das demais propriedades físicas dos agregados miúdos.....	139
Tabela 26 – Dados da granulometria dos agregados graúdos.....	150
Tabela 27 – Ordem da colocação dos materiais constituintes do concreto na betoneira e tempo de mistura.....	160
Tabela 28 – Ordem da colocação dos materiais constituintes do concreto na betoneira e tempo de mistura.....	161
Tabela 29 – Consumo de material para produção de 1m <sup>3</sup> de concreto.....	162
Tabela 30 – Abatimento de troco de cone, 1ª avaliação .....	163
Tabela 31 – Abatimento de troco de cone, 2ª avaliação .....	166
Tabela 32 – Consumo real de cimento.....	167
Tabela 33 – Ganho médio de resistência entre 21 e 28 dias .....	173
Tabela 34 – Consumo de material para produção de 1000 unidades de blocos de concreto .....	178

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRECON	Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição
AGN	Agregado Graúdo Natural
AGR1	Agregado Graúdo Reciclado da usina 1
AGR2	Agregado Graúdo Reciclado da usina 2
AMN	Agregado Miúdo Natural
AMR1	Agregado Miúdo Reciclado da usina 1
AMR2	Agregado Miúdo Reciclado da usina 2
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CNPJ	Cadastro Nacional de Pessoa Jurídica
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CONFEA-CREA	Conselho Federal de Engenharia e Arquitetura e pelo Conselho Regional de Engenharia e Agronomia
CPF	Cadastro de Pessoa Física
CTR	Controle de Transporte de Resíduos
FIBRA	Federação das Indústrias do Distrito Federal
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IBRACON	Instituto Brasileiro de concreto
M - 10	Modulação do bloco de concreto com 10 cm de largura
M – 15	Modulação do bloco de concreto com 15 cm de largura

PAC	Programa de Aceleração do Crescimento
PIB	Produto Interno Bruto do País
RCC	Resíduos da Construção Civil
SINDUSCON-SP	Sindicato da Indústria da Construção de São Paulo
SNIC	Sindicato Nacional da Indústria do Cimento
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
USP	Universidade de São Paulo
$\gamma$	Massa unitária
$\rho$	Massa específica
$\mu\text{m}$	Micrometro
fbk	Resistencia característica de projeto para o bloco de concreto
fcj28	Resistência média desejada aos 28 dias
fck	Resistência característica de projeto
sd	Desvio padrão
retac	Porcentagem de massa retida, acumulada nas peneiras
a/c	Relação água/cimento

## SUMÁRIO

1.	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	18
2.	<b>OBJETIVOS</b> .....	21
2.1.	OBJETIVO GERAL.....	21
2.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	21
2.2.1.	Adquirir RCC e Agregado natural para caracterização do material, sendo o RCC provenientes de 2 usinas de reciclagem na região de ribeirão .....	21
2.2.2.	Caracterizar os agregados miúdos e graúdos para a dosagem do concreto	21
2.2.3.	Criação do molde em relação as dimensões do bloco de concreto, propondo nova geometria, de modo a consumir maior quantidade de RCC .....	21
2.2.4.	Definir o traço do concreto para a obtenção de resistência para fins estruturais segundo ABNT - NBR 6136/2016.....	21
2.2.5.	Testar compressão simples dos blocos de concreto desenvolvidos com 21 dias de idade. ....	21
2.2.6.	Comparar o volume de RCC consumido para fabricação do bloco de concreto com base na nova geometria proposta com o consumo agregados naturais empregados para a produção dos blocos de concretos convencionais.....	21
3.	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	22
3.1.	PANORAMA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NO BRASIL.....	22
3.2.	RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL.....	25
3.3.	GERAÇÃO DE RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL: O CONCEITO DE PERDAS.....	27
3.3.1.	Perdas por superprodução .....	28
3.3.2.	Perdas por manutenção de estoques .....	28
3.3.3.	Perdas por transporte .....	29
3.3.4.	Perdas por fabricação de produtos defeituosos .....	29
3.3.5.	Perdas no processamento.....	30
3.3.	SEGREGAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL .....	31

3.4.	ACONDICIONAMENTO DOS RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	33
3.5.	ARTEFATOS DE CONCRETO.....	38
3.6.	O USO DO CONCRETO NA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	40
3.7.	UTILIZAÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO NA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	42
3.8.	CONCRETO COM MATERIAIS RECICLADOS .....	46
3.9.	CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS.....	51
3.9.1.	Aglomerante .....	52
3.9.2.	Agregados .....	53
3.9.2.1.	Agregado miúdo natural .....	54
3.9.2.2.	Agregado graúdo natural.....	55
3.9.3.	Agregado reciclado.....	56
3.9.3.1.	Agregado miúdo reciclado.....	57
3.9.3.2.	Agregado graúdo reciclado .....	57
3.10.	DOSAGEM .....	58
3.10.1	Abatimento do tronco de cone.....	61
4.	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>63</b>
4.1.	OBTENÇÃO DO RCC E AGREGADO NATURAL PARA DESENVOLVIMENTO DOS BLOCOS .....	63
4.1.1.	Agregado reciclado.....	63
4.1.12.	Agregado natural.....	70
4.2.	CARACTERIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES DOS AGREGADOS MIÚDOS E GRAÚDOS PARA A DOSAGEM DO CONCRETO. ....	70
4.2.1.	Determinação da composição granulométrica.....	72
4.2.2.	Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água.....	75
4.2.1.1.	Agregado Miúdo .....	75
4.2.2.2.	Agregado Graúdo .....	80
4.2.3.	Massa unitária e do volume de vazios.....	82

4.2.4.	Determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm, por lavagem .....	84
4.2.5.	Teor de Argila em Torrões e materiais friáveis .....	85
4.2.6.	Teor de partículas leves .....	88
4.2.6.1	Agregado Miúdo .....	88
4.2.6.2	Agregado Graúdo .....	89
4.2.7.	Inchamento do Agregado Miúdo.....	92
4.2.8.	Teor de Umidade Superficial por meio do frasco de Chapman .....	95
4.2.9.	Impurezas orgânicas .....	96
4.2.10.	Índice de Forma do Agregado graúdo .....	97
4.2.11.	Umidade Total do Agregado graúdo.....	100
4.2.12.	Abrasão Los Angeles.....	100
4.3.	CRIAÇÃO DO MOLDE EM RELAÇÃO AS DIMENSÕES DO BLOCO DE CONCRETO. ....	102
4.4.	DEFINIR O TRAÇO DO CONCRETO PARA A OBTENÇÃO DE RESISTÊNCIA PARA FINS ESTRUTURAIS SEGUNDO ABNT - NBR 6136/2016.....	108
4.5	AVALIAR A RESISTENCIA DOS BLOCOS DE CONCRETO AOS 21 DIAS DE IDADE.....	117
4.5.1.	Abatimento do tronco de cone.....	117
4.5.2.	Consumo de cimento real.....	118
4.5.3.	Resistencia característica a compressão dos blocos .....	119
4.6	COMPARAR O CONSUMO EM VOLUME DE RCC EM RELAÇÃO AOS CONVENCIONAIS.....	130
5.	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	132
5.1.	CARACTERIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES DOS AGREGADOS MIÚDOS E GRAÚDOS PARA A DOSAGEM DO CONCRETO. ....	132
5.1.1.	Distribuição granulométrica do agregado miúdo. ....	132
5.1.2.	Distribuição granulométrica do agregado graúdo. ....	135

5.1.3. Demais propriedades dos agregados miúdos. ....	139
5.1.3.1. Massa específica, Massa específica aparente e Massa unitária .....	140
5.1.3.2. Absorção de água .....	141
5.1.3.3. Volume de vazios .....	142
5.1.3.4. Determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm, por lavagem .....	143
5.1.3.5. Teor de argila em torrões e materiais friáveis .....	144
5.1.3.6. Teor de partículas leves .....	145
5.1.3.7. Coeficiente de Inchamento .....	146
5.1.3.8. Umidade superficial .....	149
5.1.3.9. Impurezas orgânicas .....	149
5.1.4. Demais propriedades dos agregados graúdos. ....	149
5.1.4.1 Massa específica, Massa específica aparente e Massa unitária .....	150
5.1.4.2. Absorção de água .....	151
5.1.4.3. Volume de vazios .....	153
5.1.4.4. Determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm, por lavagem .....	153
5.1.4.5. Teor de argila em torrões e materiais friáveis .....	154
5.1.4.6. Teor de partículas leves .....	155
5.1.4.7. Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro .....	156
5.1.4.8. Umidade total .....	157
5.1.4.9. Abrasão “Los Angeles” .....	158
5.2. DEFINIÇÃO DO TRAÇO PARA COMPOSIÇÃO DO CONCRETO. ....	159
5.3. COMPRESSÃO SIMPLES AOS 21 DIAS.....	162
5.3.1. Abatimento do Tronco de cone.....	163
5.3.2. Consumo real de cimento.....	167
5.3.3. Absorção de água.....	168
5.3.4. Resistência a compressão simples.....	171

5.3.4.1. Resistencia a compressão simples para os corpos de provas cilíndricos.	171
5.3.4.2. Resistencia a compressão simples para os Blocos M – 15 e M - 10.....	173
5.4. COMPARATIVO DO CONSUMO DE AGREGADO DE RCC PARA A NOVA GEOMETRIA PROPOSTA FRENTE AOS AGREGADOS NATURAIS CONSUMIDOS PARA FABRICAÇÃO DOS BLOCOS CONVENCIONAIS.	177
6. <b>CONCLUSÕES</b> .....	179
6.1 SUGESTÕES DE TRABALHALHOS FUTUROS.....	180
7. <b>REFERÊNCIAS</b> .....	181
ANEXO I.....	189
ANEXO II.....	191
ANEXO III.....	193
ANEXO IV .....	206

## 1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de um país está diretamente relacionado a obras de construção civil, em suas diversas formas de complexidade, principalmente a cerca de métodos construtivos ou disponibilidade de recursos. Essas obras ocorrem em seguimentos distintos, como em unidades residenciais, que podem ser verticais ou horizontais, em obras industriais e de infraestrutura, como saneamento básico, transportes, etc. Sendo que o desenvolvimento econômico do país tem contribuído para o fortalecimento da economia devido a disponibilização do crédito, taxas de juros o que favorece os investimentos do setor da construção. O governo exerce papel fundamental pois em várias vertentes compete a ele a liberação ou incentivo para alocação de recursos tais como os investimentos de linhas de crédito e as permissões para a construção, ou seja, a liberação do capital e as negociações para a organização das atividades propostas (OLIVEIRA, 2012).

Segundo a Federação das Indústrias do Distrito Federal – FIBRA, a construção civil em 2017 representou cerca de 6,0% do Produto Interno Bruto do País - PIB, que corresponde a um montante de 3,22 Bilhões de reais.

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, ao analisarmos a contribuição das várias atividades econômicas no país, o PIB está distribuído da seguinte forma, o setor de serviços corresponde a 38%, seguido da administração, saúde e educação públicas com 17,4%, em seguida está o comércio com 12,8% e indústria da transformação com 11,8%, posteriormente aparece a construção civil com 5,8%, sendo que por estes dados conclui-se que estas atividades somadas representam mais de 80% de toda geração de renda no país.

Mesmo com o decréscimo do setor em 2016, em 2017 já houve uma recuperação, e que coloca o setor como um dos propulsores da economia. O que, consequentemente faz com que a construção civil seja responsável por um, grande parcela dos resíduos sólidos gerados no país. Os RCC podem representar de 50% a 70% da massa dos resíduos sólidos urbanos – RSUs, sendo que em sua grande maioria são destinados incorretamente, causando prejuízos econômicos e ambientais a sociedade (BRASIL, 2005). Para Pucci (2006), os RCC historicamente estiveram a cargo do poder público todo o manejo e destinação, que enfrentava o problema de limpeza e recolhimento dos RCC depositados em locais inapropriados, como áreas públicas, canteiros, ruas, praças e margens de rios, atualmente os RCC em sua

grande maioria está a cargo de empresas privadas, que em alguns casos não possuem licenciamento e área para a destinação adequada dos RCC e até os dias atuais sobrecarregam os órgãos públicos, que se veem obrigados a intervir na situação.

Segundo a Associação Brasileira de Limpeza Pública e Resíduos Especiais – ABRELPE, (2011), em pesquisa setorial, levantou dados de RCC coletados entre 2009 e 2010, contabilizando informações sobre a coleta executada pelo serviço público, que, normalmente, nos municípios brasileiros, chegando a um montante de 59.528 mil toneladas no período, contudo as projeções não consideram os RCC provenientes de serviços privados.

Uma das formas de destinação para o RCC é o processamento deste em usinas de reciclagem, que após a publicação da Resolução CONAMA 307/2002, do Conselho Nacional de Meio Ambiente, onde foi atribuída a responsabilidade do destino aos geradores do resíduo, houve um acréscimo considerável do número de usinas de reciclagem. Segundo Miranda et al (2009) até o ano de 2002 haviam instaladas cerca de 16 usinas de reciclagem no país, já no ano de desenvolvimento de seu trabalho o número era de cerca de 48 unidades. Contribuindo para os dados atuais a Associação Brasileira para a Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição – ABRECON, criada em 2011, através de pesquisas setoriais avaliou que entre 2008 e 2013, cerca de 10,6 novas usinas foram colocadas em funcionamento por ano. Acredita-se que o número de usinas instaladas seja na ordem de 310 em todo país, tal dado não é preciso, por que os levantamentos foram realizados com base na participação das empresas em responderem a pesquisa setorial.

Pelo contexto apresentado é indiscutível a necessidade de políticas e meios de reutilizar o RCC, dispondo de ferramentas e técnicas adequadas para que tais materiais recebam destinação adequada, considerando suas características e possíveis impactos ambientais. Para Ferreira (2013) os principais impactos dos RCC, está relacionado exatamente a disposição incorreta destes materiais, podendo destacar os seguintes impactos ambientais: Degradação das áreas de manancial e de proteção permanente; Proliferação de agentes transmissores de doenças; Assoreamento de rios e córregos; Obstrução dos sistemas de drenagem, tais como piscinões, galerias e sarjetas; Ocupação de vias e logradouros públicos por resíduos, com prejuízo à circulação de pessoas e veículos, além da própria degradação da paisagem urbana; Existência e acúmulo de resíduos que podem gerar risco por sua periculosidade; Indução de escorregamentos; Aumento da turbidez e da quantidade

de sólidos em suspensão em corpos d'água receptores; Modificações do lençol freático com rebaixamento ou elevação do nível de base local; Mudanças na dinâmica de movimentação das águas subterrâneas; Inundações à jusante.

O presente trabalho tem por objetivo demonstrar a utilização dos resíduos classe A, para a fabricação de blocos de concreto com fins estruturais nas modulações M-10 e M-15, sendo proposto uma nova geometria para os blocos, visando um maior consumo dos resíduos, de modo a promover um maior reaproveitamento desde, contribuindo para diminuir a disposição final destes materiais e os impactos ambientais oriundos de disposição incorreta.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1. OBJETIVO GERAL

Este trabalho teve como objetivo desenvolver blocos de concreto produzidos com agregados de Resíduos da Construção Civil – RCC, como elemento estrutural nas modulações M-10 e M-15.

### 2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

2.2.1. Adquirir RCC e agregado natural para caracterização do material;

2.2.2. Caracterizar os agregados miúdos e graúdos para a dosagem do concreto;

2.2.3. Criar o molde em relação as dimensões do bloco de concreto, propondo nova geometria, de modo a consumir maior quantidade de RCC;

2.2.4. Definir o traço do concreto para a obtenção de resistência para fins estruturais segundo ABNT - NBR 6136/2016;

2.2.5. Testar compressão simples dos blocos de concreto desenvolvidos com vinte e um dias de idade.

2.2.6. Comparar o volume de RCC consumido para fabricação do bloco de concreto com base na nova geometria proposta com o consumo agregados naturais empregados para a produção dos blocos de concretos convencionais.

### 3. REVISÃO DE LITERATURA

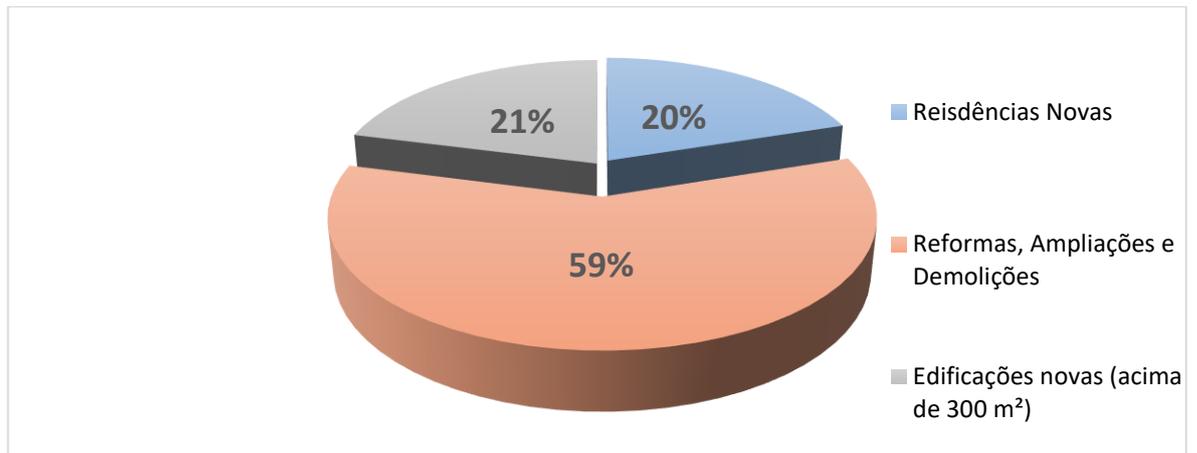
#### 3.1. PANORAMA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NO BRASIL

O impulsionamento da reciclagem dos resíduos da Construção Civil, ganhou força somente após a publicação pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) da Resolução 307/2002, Resíduos da Construção Civil (RCC) e da Lei 12.305/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, elevando sua amplitude a âmbito nacional. Em países da Europa, especialmente a Holanda, a reciclagem dos resíduos de construção, ocorre em larga escala, isso porque após a Segunda Guerra Mundial, houve a necessidade da reconstrução das edificações, na qual foram aplicados materiais reciclados (JOHN & AGOPYAN, 2000). Países como o Japão, em virtude de sua densidade demográfica e a escassez de espaços para a deposição de resíduos sólidos, possuem as políticas públicas mais elaboradas e consolidadas, nesse setor o desenvolvimento das políticas ocorrem em função de sua elevada industrialização e carência de recursos naturais, fazendo com que o gerenciamento dos RCC seja eficaz, dando grande retorno ao meio ambiente e a economia de modo geral (PINTO 1999).

No Brasil, as primeiras pesquisas científicas envolvendo o uso de agregados reciclados de resíduos de construção civil foram realizadas por Pinto (1986) em argamassas, Bodi (1997) em pavimentos, Levy (1997) em argamassas, Zordan (1997) e Buttler (2003) em concretos e Buttler (2007) blocos de alvenaria estrutural. As primeiras usinas de reciclagem instaladas foram pelas Prefeituras de São Paulo, SP (1991), de Londrina, PR (1993), e de Belo Horizonte, MG (1994).

Em 1999, foi confirmada por Pinto a relevância do tema, apontando que o RCC pode corresponder de 40 a 70% da massa dos resíduos sólidos municipais. Quanto à origem dos resíduos nos municípios brasileiros, destacam-se como predominantes as reformas, ampliações e demolições, em conformidade com os dados extraídos de Pinto & Gonzalez (2005) e Miranda (2009) demonstrados no Figura 1.

Figura 1 - Origem do RCC em algumas cidades brasileiras (% da massa total) até 2008.



Fonte: Miranda et al. (2009)

Na última década houve um grande crescimento da indústria da construção civil, no país, principalmente após a criação do Programa de Aceleração do Crescimento – PAC, que em 2007 teve seu início com o objetivo de retomar o planejamento e execução de obras de infraestrutura social, urbana, logística e energética do país. O programa está dividido em 3 grandes eixos, que apresentam as áreas de investimento que contempla a construção civil de modo geral, conforme pode ser visto na Quadro 1.

Quadro 1 – Eixos de investimento do PAC

<b>EIXO INFRAESTRUTURA LOGÍSTICA</b>	<b>EIXO INFRAESTRUTURA ENERGÉTICA</b>	<b>EIXO SOCIAL E URBANO</b>
Rodovias Ferrovias Portos Aeroportos Hidroviias Defesa Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações	Geração de Energia Transmissão de Energia Petróleo e Gás	Habitação Mobilidade Urbana Saneamento Prevenção em Áreas de Risco Recursos Hídricos Equipamentos Sociais Cidades Históricas Luz para Todos

Fonte: Autor, 2019.

Segundo o Ministério do planejamento, até o início do ano de 2018, conforme publicação do 6º balanço do PAC, de 28 de fevereiro de 2018, foram investidos 547,5 bilhões de reais nas obras do programa. Esse crescimento repercute diretamente na geração de resíduos em todos os eixos econômicos, principalmente na construção civil, (BRASIL, 2008).

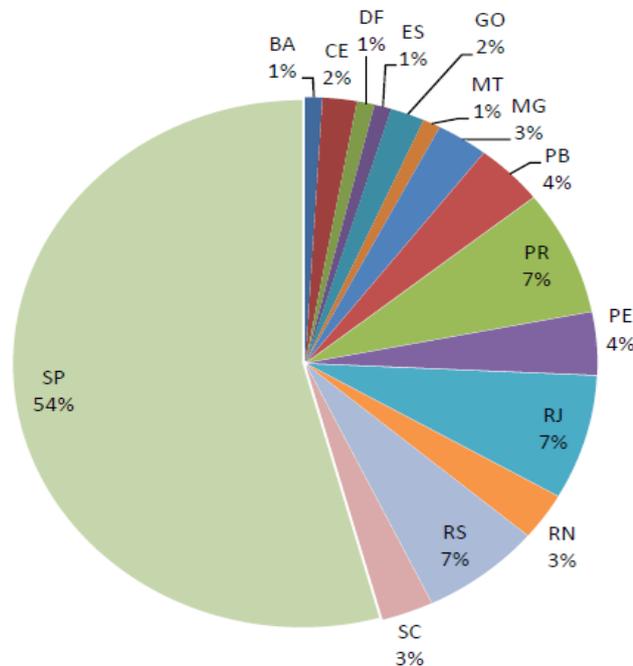
Entre 1999 e 2005, ante os benefícios econômicos e ambientais obtidos pela Prefeitura de Belo Horizonte, algumas prefeituras do Estado de São Paulo, como Piracicaba, Santo André e Campinas, também implantaram planos de gerenciamento de RCC. Já existiam pelo menos três usinas de reciclagem privadas de pequeno porte instaladas, localizadas em São Paulo, SP (área de transbordo e triagem ATT Base), Socorro, SP (Irmãos Preto Ltda.), e Fortaleza, CE (Usifort). Foi formada a Câmara Ambiental da Construção com a participação formal do Sindicato da Indústria da Construção de São Paulo (SINDUSCON-SP), Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), Universidade de São Paulo (USP) e outros, para discutir, em âmbito nacional, normas técnicas para as atividades de triagem e reciclagem.

Em 2002 foi homologada a Resolução CONAMA 307, definindo que grandes geradores públicos e privados são obrigados a desenvolver e a implantar um plano de gestão de RCC, visando a sua reutilização, reciclagem ou outra destinação ambientalmente correta. Com isso, a reciclagem ganhou uma força extra. Iniciaram-se as implantações de planos de gerenciamento de RCC em canteiros, e normas técnicas foram elaboradas por Comitês Técnicos e publicadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

O histórico de Usinas de Reciclagem de Entulho no Brasil, anteriormente a Resolução CONAMA 307/2002 foi relatado por Pinto 2005, e apresenta o Estado de São Paulo como sendo o que possui maior número de instalações. Miranda, Ângulo e Careli (2009) apresentaram estudo onde relatam a evolução do setor após a publicação da Resolução CONAMA 307/2002, apontando um crescimento significativo em número de usinas instaladas, chegando a 47 unidades no ano de 2009, sendo parte destas geridas pelo setor público, parte pelo setor privado. A Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição (ABRECON), por meio de pesquisa setorial no ano de 2013, publicou o resultado de uma pesquisa envolvendo 310 usinas associadas em todo Brasil. Seu intuito era caracterizar o setor de reciclagem. Os dados coletados possibilitaram identificar o

percentual de usinas instaladas em diferentes regiões do país, conforme demonstra a Figura 2.

Figura 2 – Usinas de Reciclagem instaladas até 2015.



Fonte: ABRECON 2016.

### 3.2. RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL

Nos mais diversos tipos de obra da construção civil, os RCC estão presentes. A atividade da construção civil não é somente responsável por produzir grande impacto na economia, mas, também, é responsável pela produção de 50% dos resíduos sólidos do país, segundo Sobrinho & Moraes (2017), cuja destinação torna-se assunto de grande importância no contexto atual.

Segundo Schwengber (2015), o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), por meio da Resolução nº 005/1993, conjuntamente à Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), por meio da ABNT - NBR nº 1004/2004, define os resíduos sólidos como:

Resíduos [...] que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial agrícola e de serviços de varrição, [ficando incluídos] os lodos provenientes dos sistemas de tratamento de água, [...] gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos, cujas particularidades tornem inviável seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos

de água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis, em face à melhor tecnologia disponível (Ibid., p. 20).

Reforçamos que esses resíduos podem se encontrar tanto no estado sólido, quanto no semissólido, havendo uma diferenciação entre resíduos sólidos e rejeito, de acordo com o que preconiza a Lei nº 12.305/2010, que normatiza a política nacional de resíduos sólidos, em seu art. 3º, incs. XV e XVI:

[..] rejeitos: resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada;

[..] resíduos sólidos: material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível; (BRASIL, 2010, art. 3º, incs. XV e XVI).

Em outras palavras, o resíduo sólido gerado pode servir para outra finalidade, isto é, reutilizado, e, mesmo, reciclado. O rejeito, por sua vez, é todo material ou substância cujas possibilidades de reaproveitamento ou reciclagem tiverem sido empregadas, não havendo mais solução final para o item ou, mesmo, parte dele, a destinação mais plausível será o encaminhamento a um aterro sanitário que atenda a todas os licenciamentos ambientais ou à incineração. Tal diferenciação é importante principalmente após a implementação da Lei nº 12.305/2010, que estabelece a eliminação de todos os lixões, para dar lugar aos aterros sanitários, os quais só receberão os rejeitos. Assim, é responsabilidade de cada empresa o trato e destinação de seus resíduos sólidos e semissólidos, estando sujeitas às penas previstas em lei.

Segundo a resolução CONAMA 307, os resíduos da construção civil são classificados em quatro classes, sendo:

**Classe A** - são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como:

a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem;

b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: materiais cerâmicos (tijolos, azulejos, blocos, telhas, placas de revestimento..etc) argamassa e concreto.

c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios-fios etc.) produzidos nos canteiros de obras.

**Classe B** - são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras e outros;

**Classe C** - são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem/recuperação, tais como os produtos oriundos do gesso;

**Classe D** - são os resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como: tintas, solventes, óleos e outros, ou aqueles contaminados oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros.

### 3.3. GERAÇÃO DE RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL: O CONCEITO DE PERDAS

De acordo com (MARQUES NETO, 2005), as perdas geradas ao longo do processo de produção tomam o centro das preocupações, uma vez que as empresas têm sido obrigadas a produzir somente o necessário, utilizando mínima força de trabalho, evitando os desperdícios. A perda é qualquer ineficiência no processo, a qual reflete no uso de equipamentos, recursos humanos, materiais e no capital, em quantidades superiores àquelas necessárias à produção da edificação. As perdas abrangem tanto a ocorrência de desperdícios de materiais, quanto a execução de tarefas desnecessárias, o que gera custos adicionais e não agregam valor.

Especificadamente na construção civil, as perdas se originam em diversas etapas do ciclo de vida da edificação. Por exemplo, na fase do projeto, uma decisão errada pode acarretar desperdícios ou gastos com retrabalho. No entanto, é na fase da execução em que ocorre uma parcela mais visível de perdas, uma vez que todas as decisões tomadas nas etapas anteriores tomam a dimensão física na fase da execução (TISAKA, 2011).

Para Xavier *et al* (2014), a fim de que as perdas sejam eliminadas, é necessário que as empresas possam diferenciar, dentre as diversas atividades que integram

partes do processo produtivo, aquelas que efetivamente contribuem para a obtenção do produto final de outras que são complementares e, por isso mesmo, possam ser melhoradas ou eliminadas sem quaisquer prejuízos do processo.

Entretanto, é preciso cautela, pois os esforços direcionados para evitar perdas em atividades essenciais de um projeto, como planejamento, contabilidade e prevenção de acidentes, embora não agreguem valor ao produto, o fazem para os clientes internos (XAVIER *et al.*, 2014).

O conceito de perdas pode englobar dois grupos: os desperdícios de materiais e a execução de tarefas desnecessárias, ambos geradores de custos adicionais que não agregam valor. O primeiro grupo é o responsável direto pela geração de resíduos e obedece a outras classificações, quais sejam: perdas por superprodução; perdas por manutenção de estoques; perdas por transporte; perdas por fabricação de produtos defeituosos; e perdas no processamento em si (MARQUES NETO, 2005).

### 3.3.1. Perdas por superprodução

Perdas por superprodução são consequência da produção de componentes ou processamento de materiais percíveis em quantidades superiores ao necessário ou de modo antecipado, isto é, antes que seja necessário, acarretando a ocorrência de perdas de recursos (material, mão de obra e equipamentos). Por exemplo, a produção de argamassa em quantidade superior à necessária para um dia de trabalho e, ainda, a confecção de armaduras em quantidade superior ao que se vai utilizar, impactando na necessidade de armazenamento e no risco de ser danificadas. (TISAKA, 2011)

### 3.3.2. Perdas por manutenção de estoques

A existência de estoques elevados de materiais, produtos em processo ou produtos inacabados pode ser resultante de erros no planejamento ou programação, o que acarreta possíveis perdas de mão de obra e equipamentos. Segundo Tisaka (2011), estoques em elevadas quantidades podem gerar perdas diretas e indiretas de materiais, uma vez que esses são depositados sem as devidas providências e cuidados, ficando, muitas vezes, expostos aos danos causados pelas intempéries, a roubos, obsolescência (no caso de materiais que possuem maior tecnologia agregada), entre outras.

A manutenção de estoques nos canteiros se justifica, geralmente, pelo fato de que os gestores da obra sentem maior segurança quando podem contar com grandes quantidades de materiais armazenados, o que garantiria a continuidade da produção, evitando as paradas. Todavia, tal fato mostra os problemas gerenciais que ocorrem muitas vezes em diversas empresas do setor da construção civil, como a falta de planejamento, erros orçamentários, programações inadequadas de entregas de materiais nos canteiros etc. (TISAKA, 2011).

De acordo com Marques Neto (2005), outro agravante para a manutenção de grandes estoques é a possível indução dos trabalhadores ao desperdício, uma vez que estoques abarrotados no canteiro podem dar a impressão de total disponibilidade de materiais, levando os trabalhadores a reduzir o seu cuidado com eles.

### 3.3.3. Perdas por transporte

As atividades de movimentação de materiais que geram custos, não agregam valor e podem ser eliminadas em curto prazo de tempo, estão relacionadas às perdas por transporte. Ribeiro (2015) informa que para se alcançar a eficiência da produção, as construtoras deverão evitar o transporte, ao invés que simplesmente mecanizá-lo. Dessa forma, melhorias podem ser alcançadas por meio do aprimoramento do leiaute dos canteiros; manutenção de limpeza; melhoramento na programação dos serviços; maior precisão no sistema de informações, entre outras.

Ressalta-se que, além do tempo que é gasto no transporte em si, há o tempo e o esforço empregado no carregamento e na descarga de materiais. Esse tempo, muitas vezes, é superior àquele dispendido com a atividade de transporte. Além disso, o transporte inadequado eleva consideravelmente a quantidade dos resíduos gerados. A excessiva quebra de blocos cerâmicos, por exemplo, é consequência de uma forma inadequada de transporte (RIBEIRO, 2015).

### 3.3.4. Perdas por fabricação de produtos defeituosos

Quando produtos são fabricados em desacordo com os requisitos de qualidade especificados em projeto, ocorrem as perdas por produtos defeituosos. Conforme Tisaka (2011), na construção civil, tais perdas se associam a uma inspeção deficitária do processo, à ausência de especificações ou de maiores detalhes em relação à

documentação – como os projetos ou manuais de procedimentos –, ao emprego de materiais defeituosos ou de qualidade inferior, bem como à falta de capacitação dos trabalhadores, entre outras.

De acordo com Ribeiro (2015), as principais consequências de se produzir com defeito é a redução do desempenho do produto final e o retrabalho, sendo esse último bastante vigente no setor da construção civil. Além de gerarem perda física dos materiais utilizados, ainda acarretam perdas no transporte, no processamento (trabalho adicionado) e das inspeções necessárias quando da execução do produto pela primeira vez.

### 3.3.5. Perdas no processamento

Ribeiro (2015) esclarece que as perdas no processamento em si originam-se na natureza das atividades do processo ou, ainda, na execução inadequada do próprio processo, em consequência da falta de procedimentos padronizados e ineficiência nos métodos de trabalho, no treinamento escasso ou inadequado dos operários, nas deficiências no detalhamento e construtividade dos projetos, entre outros.

Em outras palavras, as perdas no processamento em si são oriundas da realização de atividades desnecessárias ou, ainda, de atividades necessárias, mas de forma inadequada. Para Tisaka (2011), essas perdas se relacionam com as características fundamentais de qualidade do produto e, de modo geral, associam-se ao patamar de tecnologia ou técnica construtiva adotada pela construtora.

As quebras manuais de blocos, devido à falta desses materiais em tamanhos diferenciados, para ser utilizados em locais em que não é viável a colocação de blocos inteiros, bem como os recortes nas pedras cerâmicas para ajustes em áreas a serem revestidas, são exemplos destas perdas citadas.

Xavier *et al* (2014) apontam outras categorias de perdas, que são diretas ou indiretamente responsáveis pela maior geração de resíduos sólidos na construção civil e prejuízos para as empresas do setor: roubos, vandalismo, condições adversas do clima etc. É preciso reforçar que cada um dos tipos de perdas afeta cada obra de modos diferentes e de acordo com diversos fatores, entre os quais: o local da obra, a situação econômica do país, a cultura dos trabalhadores e da população local, o modo com a empresa gerencia o empreendimento, entre outras. Por conseguinte, um tipo de perda qualquer pode acarretar uma nova categoria dentro de uma classificação,

por conta de sua relevância ou da frequência com que ocorre na obra de uma determinada localidade ou país.

Segundo Marques Neto (2005), na indústria da construção civil, determinados fatores contribuem de forma negativa para o aumento no volume dos resíduos gerados. Trata-se de uma indústria antiga que, diferentemente de outros ramos industriais, teve a introdução de máquinas em seu processo produtivo tardiamente e em pequena escala, sendo ainda o trabalho manual a base desse processo. Por isso mesmo, o trabalho é organizado em torno de especializações. Além desses agravantes, Ribeiro (2015) sugere outras peculiaridades:

- Normalmente o produto é único e, ou seja, não seriado;
- O produto é fixo, porém, os trabalhadores são móveis, muito diferente da produção seriada, o que dificulta a organização e o controle;
- É uma indústria muito tradicional e bastante avessa às mudanças.

Essas especificidades, segundo Marques Neto (2005), trazem para a indústria da construção civil uma dificuldade para a implementação de diretrizes básicas para o gerenciamento em relação às perdas e à geração de resíduos. Esse gerenciamento torna-se uma obrigação deste setor industrial, uma vez que, após a publicação da Resolução nº 307/2002 do CONAMA, todas as empresas da construção civil devem implantar ações para a efetiva redução dos impactos no meio ambiente gerados por resíduos oriundos de suas atividades. É preciso que tais empresas estabeleçam diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão de seus resíduos, visando impactar menos possível o meio ambiente.

### 3.3. SEGREGAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

De acordo com Marques Neto (2005), as etapas de organização, limpeza e segregação de resíduos estão diretamente relacionadas à questão das perdas, tanto de materiais, quanto de mão de obra, no caso a perda de mão de obra, está relacionada a alta rotatividade dos empregados deste setor, o que dificulta a implantação e consolidação de políticas de racionamento no uso dos materiais. Promovendo uma adequada limpeza e segregação dos resíduos, é possível uma drástica redução nos índices de perda nos canteiros, pois, além desses ficarem limpos e organizados, evita-se a mistura entre insumos e resíduos, já que esses terão sido triados, impedindo, assim, que materiais novos sejam descartados como resíduos.

Também se cria a oportunidade para reaproveitamento de resíduos antes do descarte, já que esses serão quantificados e qualificados, colaborando para a sua identificação e possíveis focos de desperdício.

A segregação deverá ocorrer no momento imediato à geração do resíduo, ainda na origem. Essa ação evita que a mistura e contaminação do resíduo. A Resolução 307/2002 do CONAMA destaca que os geradores devem ter como objetivo principal a não geração dos resíduos, favorecendo a limpeza do canteiro de obras. A ABNT - NBR 10004/2004, informa que a segregação dos resíduos na fonte geradora e a identificação de sua origem devem fazer parte dos laudos de classificação, nos quais a descrição de matérias-primas, insumos e do processo que deu origem ao resíduo devem ser explicitados (SCHENGBER, 2015).

Silva *et al* (2015) informam que na fase da segregação deve ocorrer a triagem dos resíduos entre as diversas classes e quais desses demandarão uma separação exclusiva. É essencial que haja a fase da segregação, uma vez que ela facilita as etapas subsequentes. Destaca-se, ainda, que como essa fase é realizada diretamente na fonte de geração, exclui-se a necessidade de uma segregação posterior, talvez mais onerosa e o ganho de tempo no envio dos resíduos ao seu local de tratamento e destinação final dos rejeitos.

De acordo com Cabral e Moreira (2011), a fim de que os resíduos sejam reciclados e reaproveitados como matéria-prima, as características do produto reciclado devem ser compatíveis ao uso a que ele se propõe. A reciclagem dos RCC contaminados com materiais não inertes origina reciclados de pouca qualidade. Dessa forma, é essencial a separação dos diferentes tipos de resíduos produzidos, em que a fase inerte é a que tem maior potencial de reciclagem para produzir reciclados de boa qualidade que serão reaproveitados na própria construção civil. É importante que a mão de obra seja previamente treinada para efetuar a segregação do RCC ainda no canteiro de obras, tão logo ele seja gerado.

Silva *et al* (2015), citando a Resolução nº 307/2002 do CONAMA, informam que os resíduos classe A devem ser segregados dos demais, enquanto os de classe B, sugere-se que sejam separados pelo tipo de resíduo, uma vez que pode haver a necessidade de empresas diferentes ficarem responsáveis pelo tratamento e destinação final, como no caso do gesso, resíduo inicialmente inserido na classe C, mas que após publicação da Resolução nº 431/2011 do CONAMA, passou a integrar a classe B.

Na classe C, ainda que não sejam especificados literalmente na Resolução nº 307/2002, subentende-se como pincéis, lixas e resíduos de lá de vidro, os quais deverão ser segregados dos demais. Já os resíduos perigosos da classe D, por conta de suas características específicas (inflamáveis, corrosivos, reativos, tóxicos, patogênicos, cancerígenos, teratogênicos e mutagênicos) apresentam significativos riscos à saúde da população e ao meio ambiente, segundo a Lei nº 12.305/2010 e a ABNT ABNT - NBR 10004/2004. Por isso, tais resíduos devem ser segregados de outros não perigosos, de forma a evitar a contaminação e o comprometimento de processos, como reciclagem e possíveis reutilizações (SILVA *et al.*, 2015).

De acordo com Cunha Junior (2005), a diferenciação entre os tipos de RCC por classes permite elevar a importância da segregação nos locais de geração, assim como a do acondicionamento diferenciado. As possibilidades de reutilização de alguns resíduos durante a execução do empreendimento irão depender da forma como os RCC foram triados, acondicionados e manejados nos canteiros. O próprio beneficiamento do entulho e a reserva ambientalmente adequada dos RCC são dependentes da segregação por classes dos resíduos na origem, bem como da qualidade das atividades de manejo prestadas por agentes transportadores ou por operadores de área licenciados para aterros, transbordo, reciclagem.

#### 3.4. ACONDICIONAMENTO DOS RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Conforme já mencionado, na etapa de segregação, a qual, preferencialmente, se dará pelo gerador do resíduo na origem ou nas áreas de destinação licenciadas para esse fim, os resíduos são triados, respeitadas as suas características, de acordo com sua respectiva classe. Após esse processo, se dará o acondicionamento, isto é, o gerador deverá garantir que os resíduos sejam confinados, desde a etapa de geração, até à do transporte, assegurando em todos os casos em que seja possível, as condições de reutilização e de reciclagem.

Segundo Marques Neto (2005), o acondicionamento inicial é realizado no próprio local em que os resíduos são gerados. Há alguns dispositivos que podem ser mobilizados para tal fim. Por exemplo, plásticos, madeiras, papéis e metais de dimensões pequenas poderão ser acondicionados em bombonas ou em outros recipientes com alto grau de resistência e abertos. Em seu lado interno, esses

recipientes podem conter um saco de ráfia adequado ao seu tamanho, dobrado para fora, o que facilita a disposição dos resíduos e a coleta para a destinação final.

Os resíduos com maiores dimensões e pesos não precisam de recipientes específicos para o seu acondicionamento inicial. Por exemplo, resíduos classe A podem ser acondicionados em pilhas próximas ao local de transporte interno. Nesse caso, blocos de concreto, cerâmicos, argamassas, componentes em cerâmica, concreto e tijolos podem ficar acondicionados em pilhas próximas às balanças, guas ou coletores de entulhos (MARQUES NETO, 2005).

Cunha Junior (2005), citando os estudos de Pinto *et al* (2005), constroem um quadro de soluções para acondicionamento de resíduos, segundo os seus tipos, conforme Quadro 2.

De acordo com Marques Neto (2005), o acondicionamento final dos resíduos deve ser realizado de forma a facilitar a sua retirada e destinação final. Esse acondicionamento deve garantir que tais resíduos continuem segregados e mantendo as características necessárias para a reciclagem: materiais leves, podem ser acondicionados em big bags, enquanto outros, em baias fixas ou móveis, ou, ainda, em caçambas estacionárias.

Após a segregação e o acondicionamento, estabelece a Resolução 275/2001 do CONAMA (BRASIL, 2001, p. 553), que todos os dispositivos de coleta deverão estar sinalizados, indicando o resíduo e seguindo a padronização internacional de cores (resíduos classe A e de gesso não seguem um padrão específico):

- Azul: papel e papelão;
- Vermelho: plástico;
- Verde: vidro;
- Amarelo: metal;
- Preto: madeira;
- Laranja: resíduos perigosos;
- Branco: resíduos ambulatoriais e de serviços de saúde;
- Roxo: resíduos radioativos;
- Marrom: resíduos orgânicos;
- Cinza: resíduo geral não reciclável ou misturado, ou contaminado e não passível de separação (Ibid., p. 553).

Quadro 2 – Soluções para acondicionamento de resíduos da construção civil.

<b>TIPOS DE RESÍDUOS</b>	<b>ACONDICIONAMENTO</b>
<b>BLOCOS DE CONCRETO, BLOCOS CERÂMICOS, ARGAMASSAS, COMPONENTES CERÂMICOS, CONCRETO, TIJOLOS E SIMILARES.</b>	Pilhas formadas próximas aos locais de transporte interno, nos respectivos pavimentos.
<b>MADEIRA</b>	Bombonas ou pilhas formadas nas proximidades da própria bombona ou dos dispositivos de transporte vertical
<b>PLÁSTICOS (EMBALAGENS, APARAS DE TUBULAÇÕES, ETC.)</b>	Bombonas e fardos.
<b>PAPELÃO (SACOS E CAIXAS DE EMBALAGENS UTILIZADOS) E PAPÉIS (ESCRITÓRIO)</b>	Bombonas e fardos.
<b>METAL (FERRO, AÇO, FIAÇÃO, ARAME, ETC.)</b>	Bombonas.
<b>SERRAGEM</b>	Sacos de rafia próximos aos locais de geração
<b>GESSO DE REVESTIMENTO, PLACAS E ARTEFATOS</b>	Sacos de embalagem do gesso ou sacos de rafia próximos aos locais de geração
<b>SOLOS</b>	Eventualmente em pilhas para imediata remoção
<b>TELAS DE FACHADA E DE PROTEÇÃO</b>	Recolher após o uso e dispor em local adequado, sendo este já para acondicionamento final
<b>EPS (POLIESTIRENO EXPANDIDO). EX.: ISOPOR</b>	Quando em pequenos pedaços, colocar em sacos de rafia. Em placas, formar fardos
<b>RESÍDUOS PERIGOSOS PRESENTES EM EMBALAGENS PLÁSTICAS, INSTRUMENTOS DE APLICAÇÃO (PINCÉIS, BROXAS E TRINCHAS) E OUTROS MATERIAIS AUXILIARES (PANOS, TRAPOS, ESTOPAS, ETC.)</b>	Manuseio com os cuidados observados pelo fabricante do insumo na ficha de segurança da embalagem ou do elemento contaminante do instrumento de trabalho. Imediato transporte pelo usuário para o local de acondicionamento final
<b>RESTOS DE UNIFORMES, BOTAS, PANOS E TRAPOS SEM CONTAMINAÇÃO POR PRODUTOS QUÍMICOS</b>	Disposição nos bags para resíduos diversos sendo este o acondicionamento final.

Fonte: Pinto et al. (2005), citados por Cunha Junior (2005, p. 30).

Essa sinalização pode ser feita utilizando-se etiquetas plásticas autoadesivas, atendendo ao padrão de cores especificado acima, em formato A4; nas bombonas, os adesivos podem ser colados diretamente em sua parte frontal; em outros dispositivos, tais como as bags e baias, é preciso prever plaquetas no tamanho dos adesivos, para que a sinalização seja fixada (MARQUES NETO, 2005).

### 3.3 A DISPOSIÇÃO FINAL DOS RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

A Resolução nº 307/2002 do CONAMA estabelece que é responsabilidade dos geradores a destinação final dos resíduos, quando não sejam viáveis o reuso ou a reciclagem desses resíduos na própria obra. Dessa forma, as construtoras devem se responsabilizar por todos os resíduos retirados, estando sujeitas às multas municipais, em caso de deposição irregular.

De acordo com Marques Neto (2005), ao se retirar os resíduos de um canteiro, é preciso que se atentem para diversos pontos:

- É necessário que o veículo utilizado no transporte seja compatível com o modo como os resíduos estão acondicionados na obra. Alguns municípios, por meio de legislação específica, exigem que os transportadores de resíduos classe A tenham cadastro nas prefeituras;
- Deve-se buscar a redução dos custos com a coleta e remoção dos resíduos, estimulando-se parcerias com cooperativas;
- Deve-se adequar os equipamentos utilizados na coleta e remoção dos RCC aos padrões definidos em leis específicas e também pelos receptores;
- É necessária a definição do local onde os RCC serão depositados.

Cunha Junior (2005) reafirma a importância de todas as obras manterem um cadastro com transportadores e destinatários, isto é, cooperativas e compradores de resíduos. Os RCC devem ser encaminhados para o local de destinação, acompanhados do Controle de Transporte de Resíduos (CTR), tal qual preconiza a ABNT - NBR 15112/2004, que trata dos Resíduos da Construção Civil e Resíduos volumosos.

A norma estabelece, ainda, que o CTR deve ser emitido em três vias, que ficarão em poder do gerador, do transportador e do destinatário, respectivamente, possuindo um conteúdo mínimo: o nome do transportador, o seu Cadastro de Pessoa Física (CPF) e ou razão social e inscrição municipal; o nome do gerador, a origem, o CPF e ou razão social e o Cadastro Nacional de Pessoa Jurídica (CNPJ); o endereço de retirada; o destinatário, o seu nome, CPF e ou razão social e CNPJ; e o endereço de destino (CUNHA JUNIOR, 2005).

Outras informações também são relevantes, tais como: volume, quantidade; descrição do material predominante; data; assinatura do transportador; assinatura da área de transbordo e triagem; e a assinatura da área de destinação dos RCC. Costa Junior (2005, p. 37), com base em Pinto et al (2005), demonstra através do Quadro 3,

informações sobre as soluções de destinação para diversos tipos de RCC e os cuidados necessários para a reutilização ou reciclagem dos materiais propostos.

Quadro 3 – Soluções de destinação de RCC

<b>TIPOS DE RESÍDUOS</b>	<b>CUIDADOS REQUERIDOS</b>	<b>DESTINAÇÃO</b>
<b>BLOCOS DE CONCRETO, BLOCOS CERÂMICOS, ARGAMASSAS, OUTROS COMPONENTES CERÂMICOS, CONCRETO, TIJOLOS E ASSEMBLADOS.</b>	Privilegiar soluções de destinação que envolvam a reciclagem dos resíduos, de modo a permitir seu aproveitamento como agregado.	Áreas de transbordo e triagem, áreas para reciclagem ou aterros de Resíduos de construção civil licenciadas pelos órgãos competentes. Os resíduos classe a podem ser reciclados para uso em Pavimentação e concretos sem função estrutural.
<b>MADEIRA</b>	Para uso em caldeira, garantir separação da serragem dos demais resíduos de madeira. Verificar na legislação municipal restrições ao uso como combustível	Atividades econômicas que possibilitem a reciclagem destes resíduos, a reutilização de peças ou o uso como combustível em fornos ou caldeiras.
<b>PLÁSTICOS (EMBALAGENS, APARAS DE TUBULAÇÕES, ETC.)</b>	Máximo aproveitamento dos materiais contidos e a limpeza da embalagem	Empresas, cooperativas ou associações de coleta seletiva que comercializam ou reciclam estes resíduos.
<b>PAPELÃO (SACOS E CAIXAS DE EMBALAGENS) E PAPÉIS (ESCRITÓRIO)</b>	Proteger das intempéries	Empresas, cooperativas ou associações de coleta seletiva que comercializam ou reciclam estes resíduos.
<b>METAL (FERRO, AÇO, FIAÇÃO REVESTIDA, ARAMES, ETC.)</b>	Para latas de tinta, garantir o uso total do material contido nas latas	Empresas, cooperativas ou associações de coleta seletiva que comercializam ou reciclam estes resíduos.
<b>SERRAGEM</b>	Ensacar e proteger das intempéries	Reutilização dos resíduos em superfícies impregnadas com óleo para absorção e secagem, produção de briquetes (geração de energia), uso na compostagem ou outros usos.
<b>GESSO EM PLACAS ACARTONADAS</b>	Proteger das intempéries	É necessário verificar a possibilidade de reciclagem pelo fabricante Ou empresas de reciclagem. Áreas de transbordo e triagem (verificar a disponibilidade na região)
<b>GESSO DE REVESTIMENTO E ARTEFATOS</b>	Proteger das intempéries	É necessário verificar a possibilidade do aproveitamento pela Indústria gesseira e empresas de reciclagem

Continuação

Quadro 3 – Soluções de destinação de RCC (Continuação)

<b>TIPOS DE RESÍDUOS</b>	<b>CUIDADOS REQUERIDOS</b>	<b>DESTINAÇÃO</b>
<b>SOLOS</b>	Examinar a caracterização prévia dos solos para definir destinação.	Desde que não estejam contaminados, destinar a pequenas áreas de Aterramento ou em aterros de resíduos de construção civil, ambos devidamente licenciados/autorizados pelos órgãos competentes.
<b>TELAS DE FACHADA E DE PROTEÇÃO</b>	Não há	Possível reaproveitamento para a confecção de bags e sacos ou até mesmo por recicladores de plásticos.
<b>EPS</b>	Confinar, evitando dispersão	Possível destinação para empresas, cooperativas ou associações de coleta seletiva que comercializam, reciclam ou aproveitam para enchimentos (ver disponibilidade na região).
<b>MATERIAIS, INSTRUMENTOS E EMBALAGENS CONTAMINADOS POR RESÍDUOS PERIGOSOS</b>	Maximizar a utilização dos materiais para a redução dos resíduos a descartar	Encaminhar para aterros licenciados para recepção de resíduos perigosos.

Fonte: Pinto et al. (2005), citados por Costa Junior (2005, p. 37).

### 3.5. ARTEFATOS DE CONCRETO

O concreto é um dos materiais de construção mais consumidos no mundo, uma vez que o desenvolvimento de um país é dependente, também, do crescimento de sua infraestrutura urbana. De acordo com Pedroso (2009), o cimento é um material construtivo bastante empregado, podendo ser encontrado em diversas tipologias construtivas, desde pequenas residências a monumentais construções. Segundo o Sindicato Nacional da Indústria do Cimento o consumo anual aparente em 2016 foi de 44 bilhões de toneladas.

Historicamente, a origem do concreto, como material construtivo, está intimamente relacionada ao advento do cimento, pois aquele é formado da mistura homogênea do cimento, agregados miúdos e graúdos, com ou sem a incorporação de componentes minoritários, como os aditivos químicos e as adições, o que desenvolve as suas propriedades pelo endurecimento da pasta de cimento (ONOUYE & KANE, 2015).

Pedroso (2009) afirma que, para a mistura endurecer, é necessário a presença do cimento, o qual, por sua vez, surge da mistura finamente moída de compostos inorgânicos calcinados, como o calcário e a argila, que, ao ser combinada com água, promove o endurecimento da mistura. As reações químicas ocorridas entre a combinação dos minerais do cimento com a água (reações de hidratação) resultarão na pasta que irá se solidificar com o tempo, reunindo em torno de si os agregados.

O surgimento do cimento remonta ao Antigo Egito e à Mesopotâmia. Entretanto, foram os sumérios (3800 a 2000 A.C.) os primeiros povos a construírem com barro cozido que, apesar de maleável, era pouco resistente. As obras representativas da construção mesopotâmica, os zigurates, eram templos em forma de torres, os quais, na atualidade, encontram-se bastante desgastados (CUNHA, 2012a).

Todavia, cabe aos egípcios a utilização, pela primeira vez, do cimento não hidráulico, a cal e a gipsita. O primeiro produto consiste de um aglomerante simples, que resulta da calcinação de rochas calcárias. A combustão da rocha resulta na produção do óxido de cálcio, a cal virgem; esse produto, na presença de água, transforma-se em hidróxido de cálcio (cal hidratada), aglomerante que juntado à areia, era utilizado no assentamento de tijolos produzidos a partir do barro e da palha (CUNHA, 2012a).

Na Roma antiga, os construtores descobriram que se obtinha uma cal que endurecia sob a água (a cal pozolânica), ao misturarem a cinza vulcânica das cercanias do Vesúvio (a pozolana), com cal hidratada e outros aditivos, como gordura animal, leite e sangue, incorporados à mistura. Com esse material, os romanos construíram o Coliseu, o Panteão, a Via Ápia, os banhos, os aquedutos, entre outros. A esses povos, também, atribui-se a descoberta da cal hidráulica, obtida pela calcinação de rochas calcárias, com uma porção de materiais argilosos. Os historiadores não são unânimes em afirmar que os romanos foram os descobridores do concreto, porém, é certo que eles utilizaram o material em larga escala (CUNHA, 2012b).

No Brasil, o emprego do concreto na construção deu-se a partir do início do século XX, como produto patenteado e distribuído por filiais de empresas estrangeiras estabelecidas em território nacional. Em meados de 1920, a partir da instalação das indústrias cimenteiras, inicia-se o processo de difusão da tecnologia do concreto, o que viria a ser caracterizado como um momento crítico da instalação dessa tecnologia no país, até os anos de 1930 (SANTOS, 2008).

Ao longo dos anos de 1940, no entanto, verifica-se uma estabilidade no uso do concreto, sendo o processo disciplinado pela ABNT e regulado pelas atribuições profissionais do sistema formado pelo Conselho Federal de Engenharia e Arquitetura e pelo Conselho Regional de Engenharia e Agronomia (CONFEA-CREA), fazendo parte dos currículos das escolas de formação em engenharia e arquitetura (SANTOS, 2008).

Entretanto, é entre os anos de 2005 e 2012 que se vê um aumento vertiginoso no uso de cimento no país, o principal componente do concreto, na ordem de 80%, com a venda de mais de dezessete milhões de toneladas do produto no primeiro quadrimestre do ano de 2017, de acordo com dados da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) e o Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC) (DIAS *et al.*, 2008).

### 3.6. O USO DO CONCRETO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

De acordo com Pedroso (2009), o concreto é uma pedra artificial que pode ser moldada. O concreto, em seu estado fresco, se caracteriza pela plasticidade; endurecido, apresenta propriedades semelhantes às rochas naturais. O largo emprego desse material se deve a duas características básicas do material: a resistência à água e a plasticidade.

Dias *et al* (2017) apresentam algumas tipologias do concreto e que são bastante usuais no mercado brasileiro: a primeira e mais comum é o concreto armado, fabricado a partir da junção do concreto com armaduras de aço, visando a maior eficiência perante os esforços de tração. As outras tipologias são resultantes da evolução do concreto armado, quais sejam: concreto protendido, concreto autodensável e concreto de alto desempenho.

- O concreto protendido é consequência da aplicação de tensões prévias de compressão nas regiões das peças, as quais serão tracionadas, visando à redução de tensões de tração.
- O concreto adensável caracteriza-se como material de elevado abatimento, alta fluidez e alto índice de trabalhabilidade. Tais características se vinculam, de modo convencional, à adição dos superplastificantes.

- O concreto de alto desempenho é aquele que recebe adições minerais, como a sílica e o metacaulium, substâncias que agem com a cal que resulta do processo de hidratação do cimento e eleva a resistência do produto, sua durabilidade e impermeabilidade.

Conforme Dias *et al* (2017), o potencial do concreto tem sido objeto de diversos estudos, o que resultou no surgimento dos concretos especiais. Esses produtos foram desenvolvidos para aplicações específicas: concreto com adições de fibras de aço, que visam à redução das fissurações; os concretos sustentáveis, que surgem como resposta à necessidade de menor uso dos recursos naturais e maior aproveitamento dos subprodutos de diversos setores da indústria.

Na construção civil o concreto pode ser aplicado para fabricação de: tubos de concreto, artefatos presentes nas obras de saneamento básico, drenagem de águas pluviais e condutos diversos, cujo uso é disciplinado pela ABNT - NBR 8890/2007; peças de concreto para pavimentação de vias de tráfego de pedestres e de veículos (uso normatizado pela ABNT - NBR 9781/2013); blocos vazados de concreto simples para alvenaria sem função estrutura (uso disciplinado pela ABNT - NBR 7173/1982); blocos vazados de concreto simples para alvenaria estrutural (utilização normatizada pela ABNT - NBR 6136/2016); meio-fio e diversos artefatos elaborados a partir de pré-moldados de concretos (QUALHARINI, 2017)

Os pré-moldados de concreto, dentre os inúmeros materiais de construção disponíveis, são bem populares na construção civil, permitindo a produção de diferentes tipos de materiais, com usos e desempenhos específicos, a Figura 3 ilustra alguns artefatos de concreto pré-fabricados. Do ponto de vista técnico, são bastante viáveis, representando também uma alternativa econômica que garante benefícios como celeridade, qualidade e durabilidade. A sua fabricação é realizada por meio da colocação do concreto em molde; em seguida, o molde é levado para curação, em área controlada, visando à garantia da qualidade da peça. Depois de pronto, o artefato é transportado para a área da construção, para ser utilizado (QUALHARINI, 2017).

Os artefatos pré-moldados oferecem um processo mais rápido, seguro e acessível na construção, do que o próprio concreto comum, preparado diretamente no local da construção. Os pré-moldados, entre outros, contribuem para a eliminação de resíduos da construção pelas perdas. Ainda que seu emprego seja em obras de grande porte, como pontes, viadutos e edifícios, o artefato está cada vez mais

presente em projetos menores, como casas pré-moldadas e construções de pequeno porte, além de estacionamentos, escritórios e escolas (UFGRS, 2018).

Figura 3 – Artefatos pré-moldados de concreto



Fonte: ITAMBÉ, 2018, s. p.

Os pré-moldados são fabricados em um local do próprio empreendimento, tendo um rigoroso controle de qualidade. A inspeção do material é realizada pelos órgãos especializados ou pelos próprios profissionais da empresa. Esses são responsáveis pela garantia de que a fabricação dos artefatos seguiu as normas estabelecidas pela ABNT, por meio da ABNT - NBR 14.931/2004, que trata da execução de estruturas de concreto, bem como especificações da ABNT - NBR 12.655/2015, sobre o preparo, controle, recebimento e aceitação e procedimento quanto ao concreto Portland (ABNT, 2014).

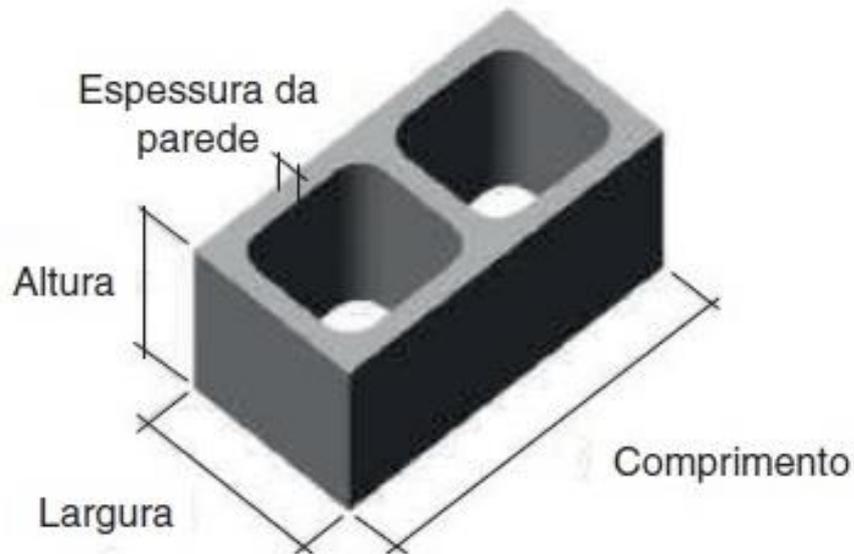
### 3.7. UTILIZAÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Outro artefato fabricado a partir do concreto são os blocos, largamente utilizados na construção civil. A ABNT - NBR 6136/2016 disciplina desde a fabricação, atendendo o tipo de material e as dimensões, até o emprego desse artefato na construção civil. A norma define que o bloco é um elemento de alvenaria, cuja área líquida é igual ou inferior a 75% da área bruta (ABNT, 2016).

De acordo com a ABNT - NBR 6136/2016, os blocos de vazados de concreto simples, que se destinam à execução de alvenaria com ou sem função estrutural, possuem alguns termos e definições (ABNT, 2016):

- Bloco vazado de concreto simples: artefato para execução de alvenaria, com ou sem função estrutural, vazado nas faces superior e inferior, cuja área líquida é igual ou inferior a 75% da área bruta, de acordo com a Figura 4, abaixo:

Figura 4 – Bloco vazado de concreto simples



Fonte: ABNT, 2016, p. 2.

- Bloco tipo canaleta: componente de alvenaria, vazado ou não, possuindo conformação geométrica, criado para racionalizar a execução de vergas, contravergas e cintas, conforme mostra a Figura 5:

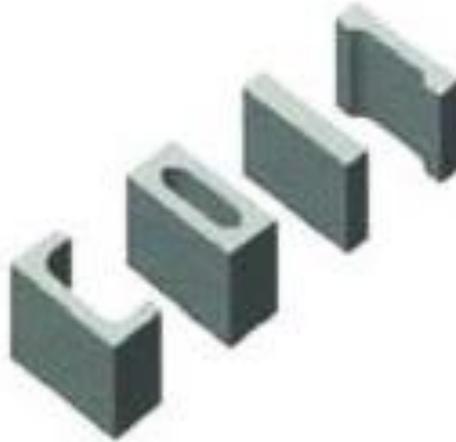
Figura 5 – Blocos tipo canaleta



Fonte: ABNT, 2016, p. 2.

- Bloco compensador: definido como o componente de alvenaria, que se destina ao ajuste de modulação. A Figura 6 traz a representação desse artefato:

Figura 6 – Bloco compensador



Fonte: ABNT, 2016, p. 3.

A ABNT - NBR 6136/2016 define, também, as especificações do material com que tais artefatos devem ser fabricados. O concreto produzido deverá utilizar o cimento do tipo Portland, agregados e água, os quais, deverão atender as especificações das ABNT - NBR's 5732, 5733, 5735, 5736, 5737, 7211, 11.578 e 15.900-1. É permitido o uso de aditivos, adições ou pigmentos, conforme disciplina a ABNT - NBR 11.768; entretanto, esses não devem conter substâncias potencialmente capazes de promover a deterioração do concreto dos blocos ou dos materiais próximos (ABNT, 2016).

Ainda de acordo com a ABNT - NBR 6136/2016, os blocos devem ser fabricados e curados por meio de processos que assegurem que o concreto obtido seja suficientemente homogêneo e compacto, de forma a atender todas as exigências da norma. Deverá haver identificação dos lotes pelo fabricante, segundo a procedência, e o transporte realizado, preferencialmente, paletizado ou cubado, visando assegurar o não prejuízo da qualidade. Não deve conter trincas, fraturas ou outros defeitos que possam prejudicar o assentamento do artefato ou a resistência e durabilidade da construção (ABNT, 2016).

Após o fornecimento, ou no decorrer deste, o comprador (ou seu representante legal) deverá verificar:

- Se os blocos satisfazem as condições estabelecidas com relação a possíveis defeitos de fabricação ou transporte;

- Colher amostras aleatórias do lote, que deverão ser encaminhadas para ensaios quanto à resistência à compressão; dimensões, absorção e área líquida; e retração linear por secagem, segundo preconiza o item 6.4 da ABNT - NBR 6136/2016.

O item 6.4.5 da mesma norma estabelece que o ensaio para verificação da retração é facultativo, podendo o comprador solicitar o atestado de prova ao fornecedor, comprovado por meio de laudo, que foram realizados testes nos blocos de maior consumo de cimento. Contudo, há que se observar o prazo para a realização do teste: no máximo, seis meses antes da data de entrega do produto (ABNT, 2016).

Segundo publicações da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), o bloco de concreto foi o primeiro a possuir uma norma brasileira para cálculo de alvenaria estrutural. Como há inúmeros fornecedores desse artefato, pode haver problemas com a sua qualidade, o que compromete a segurança das construções. A resistência à compressão do artefato é considerada boa; resistência alta só é disponibilizada por determinadas fábricas, sendo esse bloco mais pesado. No Brasil, há edificações com mais de vinte pavimentos com alvenaria estrutural de blocos de concreto; em outras unidades, o artefato entra na construção de paredes que desempenham as funções de estrutura e fechamento, eliminando pilares e vigas, reduzindo, pois, a utilização de armaduras e formas (UFRGS, 2018).

De acordo com Allen e Lano (2013), o bloco deve oferecer qualidade e economia à uma edificação, apresentando dimensões e formas adequadas, compacidade, resistência, bom acabamento geométrico, boa aparência visual, principalmente quando o projeto não prevê o revestimento. Além do mais, deve garantir isolamento termo acústico. São esses parâmetros determinantes para qualidade dos blocos e que atendem a normas específicas e apropriadas.

Os blocos são classificados, ainda, por classes: A, B e C. As duas classes iniciais, abrangem os blocos utilizados para estrutura das construções, enquanto os de classe C são utilizados para vedação. Além do bloco comum, também é fabricado o meio bloco, que possibilita a execução de alvenaria com junta de amarração, sem que haja necessidade de corte do bloco na obra. Há, ainda, os blocos tipo “U”, ou canaletas, que facilitam a execução de cintas, vergas e contravergas, conforme já citado; e os blocos tipo “J”, que possibilitam a execução da cinta e respaldo para laje. Blocos de concreto pode ou não possuir fundos: os sem fundos facilitam a passagem

de eletrodutos e tubos hidráulicos, sem a necessidade do corte na alvenaria (UFRGS, 2018).

A obtenção de blocos de concreto se dá pela mistura cimento, areia, pedrisco, pó de pedra e água, objetivando um proporcionamento racional de tais materiais, a esta proporção damos o nome de dosagem. O equipamento básico para a fabricação é a prensa, facilmente encontrada no mercado. A partir da dosagem e da disponibilidade do equipamento, pode-se obter as peças de grande regularidade dimensional e de faces e arestas bem-acabadas. A grande demanda por blocos impulsionou a produção industrializada desse produto e a utilização de outros equipamentos no processo: silos alimentadores de materiais; dosadores; esteiras para alimentação dos misturadores; misturados; máquinas para a produção dos blocos; esteiras; áreas para cura; sistema de embalagem e paletização. Geralmente, por conta da automatização do processo, as operações de pesagem e de mistura são garantidas.

### 3.8. CONCRETO COM MATERIAIS RECICLADOS

A preparação do concreto para ser utilizado na construção civil, além do tempo gasto em sua preparação, gera uma quantidade considerável de entulho. Estima-se que o setor da construção civil produza, anualmente, 84 milhões de metros cúbicos de resíduos; desses, somente dezessete milhões são reaproveitados, sendo que a maior parte é destinada aos lixões (SCHENGBER, 2015).

Entretanto, grande parte destes resíduos da construção civil poderia ser reaproveitada de diversas formas em processos estruturais, como aterros; pavimentação; fabricação de blocos com a finalidade de vedação e de outros artefatos de concreto, entre outros. Mesmo o concreto apresenta um índice de 10% de não aproveitamento, isto é, as perdas consequentes das deficiências no processo, de erros de planejamento e execução ou, ainda, das que decorrem do armazenamento indevido de materiais, os quais poderiam ser reutilizados (IBRACON, 2009).

É importante esclarecer que não se trata de concreto e sim de agregado que entra na composição da nova concretagem que é reciclado. O agregado é conseguido por meio dos resíduos de construção e demolição, tais como: fragmentos de concretos, argamassas, cerâmicas, tijolos, blocos, entre outros materiais obtidos da britagem, operações de separação ou beneficiamento. Tal processo iniciou-se

primeiramente na Alemanha, devido à reconstrução das cidades destruídas na Segunda Guerra Mundial (ABCP, 2018).

De acordo com Pedroso (2009), a influência dos agregados de resíduos de construção e demolição (RCC) tem sido investigada desde os anos de 1980, em diferentes países europeus. Essa alternativa foi viabilizada a partir da proibição da prática do uso de aterros para destinação dos resíduos passíveis de reciclagem. Assim, muitas empresas de demolição passaram a investir na desmontagem de edificações, buscando retirar contaminantes prejudiciais, como telhas de cimento amianto e madeira tratada com pesticidas, por exemplo, para concentrar o resíduo oriundo de estruturas de concreto, buscando a obter agregados reciclados de qualidade.

No Brasil, assim como em países europeus, grande parte dos resíduos reciclados é empregada como material para nivelamento de terrenos ou bases de pavimentos. O agregado não é utilizado no concreto, cuja fabricação requer critérios de controle de qualidade bem mais restritos, ainda que represente um mercado interessante para a reciclagem (ABCP, 2018).

Segundo Marques Neto (2005), a prática mais comum na utilização dos resíduos reciclados tem sido utilizá-los em estado bruto, sem qualquer processamento. A utilização fica restrita ao preenchimento das áreas de mineração mais próximas às cidades, já exauridas pela própria construção. Tal prática é geotecnica mais aceita, pois, os resíduos são materiais de composição química semelhante ao solo, a recuperação agrega somente valor imobiliário para essas áreas. Entretanto, essa opção não deveria ser a única disponível, uma vez que a utilização em pavimentos e no concreto constitui como verdadeira alternativa ambientalmente sustentável para poupar as reservas de agregados naturais.

A resistência e a durabilidade do concreto reciclado são controladas pela porosidade da pasta de cimento, como já ocorre no caso do concreto convencional, e, ainda, pela porosidade do agregado que facilmente ultrapassa os 10%. Dessa forma, a diferença essencial entre o concreto convencional e o concreto com agregado reciclado é a porosidade. Por isso, a ABNT restringe, por meio de normas específicas, a sua utilização apenas para pavimentação ou concreto não estrutural, não prevendo a sua utilização em estruturas (TISAKA, 2011).

Atualmente a reciclagem da construção civil e a sua incorporação como fonte alternativa de matéria prima para a fabricação de concreto representa um grande desafio para as diversas pesquisas na área da engenharia. No caso específico da produção de cimento, é sabido que os seus componentes são cimento, água, acrescidos de areia (agregado miúdo) e, ainda, pedras (brita ou agregado graúdo), misturados, lançados em forma para se obter o formato desejado para cada tipo de emprego na construção civil, deixados para ganhar resistência, por meio do processo em que a mistura libera calor (processo exotérmico) e se solidarizam (processo também conhecido por pega) (ABCP, 2018).

Diante disso, a produção de concreto, em escala mundial, enfrenta o grave problema que é a extração de enorme quantidade de matéria prima do meio ambiente, causando, ainda, impactos com as sobras e descarte do material. Por outro lado, a tecnologia do concreto reciclado consiste na utilização dos RCC como agregado, o que pode substituir uma parte ou totalmente o material oriundo das fontes naturais (ABCP, 2018).

Conforme Tisaka (2011), o RCC utilizado depende da aplicação final, isto é, pode ser utilizado em tijolos cerâmicos e argamassa (composto de cimento, areia e água) para concreto de pavimentação. Por sua vez, os agregados podem se transformar em argamassas novas ou até em concreto para sustentar edifícios, galpões e outras construções. Entretanto, para a fabricação do concreto, é preciso um minucioso estudo e análise das condições do RCC a ser reciclado, principalmente para fazer o levantamento do histórico de comportamento do material, em determinadas condições.

Segundo estudos de Carvalho (2008), há uma mudança nos teores de matérias minerais e não minerais presentes no RCC, conforme os canteiros de obras e os países. Por exemplo, na Inglaterra, Estados Unidos e Austrália, os teores de madeira são mais significativos nos canteiros de obras; na Holanda, os teores de resíduos asfálticos estão mais presentes nos RCC.

De acordo com Santana et al (2011), o agregado é tido como material inerte, que pode ser disperso por entre a pasta de cimento, utilizado somente por questões econômicas. Entretanto, a economia não é a única razão para a utilização do agregado, uma vez que esse material atribui vantagens técnicas ao concreto, o qual passa a possuir maior estabilidade dimensional e melhor durabilidade que a própria

pasta de cimento pura. O agregado não é totalmente inerte e suas propriedades físicas, térmicas e também químicas influenciam o desempenho e a durabilidade do concreto.

Mehta e Monteiro (2007) informam que além das propriedades fundamentais do concreto endurecido (físicas, térmicas e químicas), os agregados também exercem papel importante na determinação do custo e da trabalhabilidade das misturas de concreto. Por conta disso, é essencial o estudo dos agregados de forma isolada, pois 75% do volume do concreto é ocupado por tais agregados. Agregados reciclados apresentam considerável alteração em suas propriedades, segundo a composição do resíduo processado, dos equipamentos utilizados, do teor de impurezas, da granulometria, entre outras.

Santana et al (2011) complementam, afirmando que os agregados reciclados fornecem propriedades específicas ao composto do cimento, diferentemente das propriedades oferecidas pelos agregados convencionais, o que determinam algumas diferenças nas condições de aplicação e nas características das argamassas e concretos aos quais serão aplicados. As diferenças principais estão em relação a absorção de água dos grãos, à heterogeneidade na composição e menor resistência mecânica dos grãos.

Ainda de acordo com os estudos de Santana et al (2011), é importante mostrar algumas propriedades específicas do concreto reciclado, conforme à resistência à compressão e ao módulo de deformação:

- a) Resistência à compressão: essa é uma das propriedades mecânicas mais estudadas e que tem importância para se caracterizar o concreto no estado endurecido. Pode-se estabelecer relações entre essa propriedade do concreto e as demais, como módulo de deformação longitudinal e resistência à tração.

Na produção do concreto comum, a partir de agregados naturais, compactos e resistentes, a propriedade de resistência à compressão recebe maior influência da porosidade da matriz e da chamada zona de transição. Em concretos reciclados, no entanto, em que os valores de resistência à compressão se apresentam menores do que nos comuns, a ruptura apresenta-se nos agregados, o que leva esses a ser o elemento determinante da propriedade para o concreto reciclado.

Todos os materiais dos quais o concreto é composto influenciam diretamente a sua resistência e o seu desempenho final. Assim, os agregados também são extremamente importantes para análise criteriosa das propriedades do concreto. Qualquer alteração dos materiais componentes do concreto merece um estudo sistemático e isso também se aplica ao agregado reciclado, principalmente quando se pensa que eles correspondem até 80% de toda mistura (SANTANA et al., 2011, p. 3).

Santana et al (2011) citam, ainda, estudos de outros autores (LIMA, 1999; XIAO et al., 2005), para informar que as perdas de resistência dos concretos com reciclado em relação ao comum mostram-se diversas em pesquisas nacionais, variando de inexistente até 50%; a resistência diminui na proporção direta em que se aumenta o teor de agregado reciclado.

- b) Resistência à tração: concretos com agregados reciclados apresentam comportamento igual ao concreto comum, ou ligeiramente superior, devido à boa aderência entre a pasta e o agregado reciclado.
- c) Módulo de deformação: essa propriedade, compreendida como a elasticidade do concreto, permite prever as deformações de uma estrutura. De modo indireto, propicia antecipar a obtenção de valor de abertura de fissuras que podem surgir em estruturas de concreto, isto é, o módulo de elasticidade. Esse fator permite supor se determinada estrutura, em função do carregamento ao qual está submetida, permitirá o aparecimento de fissuras além dos limites tolerados pelas normas nacionais e internacionais vigentes.

Santana et al (2011), citando os estudos de Latterza e Machado Junior (2003), relatam que não foi observada variação, quanto ao módulo de elasticidade, entre o concreto de referência e aquele que continha 100% e 50% de grãos reciclados, ao contrário dos resultados provenientes dos estudos acerca da resistência à compressão. Esta ausência de variação pode estar relacionada “à pasta que penetra nos poros superficiais dos reciclados, garantindo maior interação entre a pasta e o agregado” (*Ibidem*, p. 3).

O concreto reciclado vem sendo largamente empregado em elementos estruturais de obras urbanas, com a obtenção de custos benéficos: bases de pavimentos, estruturas residenciais com  $f_{ck} < 20 \text{Mpa}$ , assim como na fabricação de artefatos pré-moldados, como blocos, lajes, tubos etc. Por exemplo, no Japão, dois

terços dos RCC já são utilizados em obras de pavimentação de rodovias; em países da Comunidade Europeia, desde o final da década de 1980, foram realizadas inúmeras obras com concreto oriundo de agregados reciclados; no Brasil, é emblemática a construção do Edifício Torre Almirante, no Rio de Janeiro, em 2005 (CAPELLO, 2006).

Para essa obra, a Racional Engenharia precisou demolir um esqueleto de nove pavimentos, gerando sete mil metros cúbicos de entulho. Entretanto, foi montada uma usina de reciclagem e, a partir do entulho gerado, foi produzida toda a pavimentação da obra (36 pavimentos), além dos blocos de concreto utilizados na construção de todo o edifício (CAPELLO, 2006).

### 3.9. CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS

Conforme mencionado, o concreto vem sendo largamente empregado na construção civil. Por isso mesmo, houve um considerável aumento da demanda por esse produto, em nível mundial. Contudo, é preciso ter claro que aumento da demanda em escala deve ser acompanhado com a qualidade de fabricação do produto, uma vez que a sua utilização está relacionada à segurança das vidas humanas e para a proteção do meio ambiente.

De acordo com Ribeiro Júnior (2015), a qualidade das propriedades físicas e químicas do concreto estrutural, bem como os estudos acerca desses dois aspectos, são fundamentais para a garantia de um concreto resistente e durável. O cimento, a água e os agregados deverão ser analisados como elementos capazes de influenciar o desempenho do produto, de acordo com suas propriedades físicas, térmicas e químicas.

Por sua vez, o agregado corresponde a três quartos do volume do concreto, sendo a sua aplicação de natureza econômica, uma vez que são materiais de baixo custo unitário, se comparado ao cimento. Entretanto, a economia não deve ser a única razão para a utilização dos agregados, uma vez que são eles que conferem as vantagens técnicas consideráveis ao concreto. O produto passa a ter maior estabilidade dimensional e melhor durabilidade, diferente da pasta de cimento pura (RIBEIRO JÚNIOR, 2015).

O manual do Instituto Brasileiro do Concreto - IBRACON (2009) informa que os agregados que entram na composição do concreto são considerados inertes, ou seja,

não possuem propriedades ligantes, mas a utilização de materiais contaminados ou com qualidades mineralógicas inadequadas podem levar a uma série de condições desfavoráveis ao concreto estrutural, ocasionando patologias e o colapso da estrutura.

Visando à garantia da qualidade do concreto estrutural e à diminuição dos custos com materiais, impactando na segurança e economia, é fundamental o estudo minucioso dos materiais que constituem o produto, bem como a influência desses nas propriedades do concreto fresco e endurecido.

### 3.9.1. Aglomerante

Os aglomerantes, ou ligantes, são os materiais que possuem a finalidade de aglutinar os outros materiais, os agregados, influenciando, assim, a forma e a resistência do material resultante. O aglomerante, em contato com a água, dá origem a uma pasta moldável e maleável, possibilitando o manuseio mais fácil do material. A areia, ao ser introduzida à pasta, forma a argamassa que, após ser feita a presa, torna-se rígida e resistente; juntando-se brita a argamassa, forma-se o concreto (IBRACON, 2009).

O manual da ABCP (2018) informa que o aglomerante é um material ativo, ligante, geralmente pulverulento, com a finalidade maior de formar a pasta que promoverá a união entre os grãos dos agregados, para se obter argamassa e concreto. O aglomerante, ao entrar em contato com a água, dá origem a uma pasta moldável e maleável, que permite a formação de natas. Podem ser classificados, devido ao seu princípio ativo, como:

- Poliméricos: aglomerantes que apresentam reação devido à polimerização de uma matriz. A polimerização é uma reação química que produz macromoléculas, a partir da combinação de moléculas menores. Essa reação pode ser natural ou sintética. No caso dos aglomerantes para produção de concreto, esses podem ser as resinas, o betume, entre outras.
- Aéreos: são os aglomerantes cuja pasta apresenta a propriedade de se solidificar por meio de reações de hidratação ou pela reação química do  $\text{CO}_2$  presente na atmosfera. Após o endurecimento não há resistência satisfatória quanto a pasta é submetida à ação da água. Exemplos: cal aérea e gesso.
- Hidráulicos: como exemplos, têm-se a cal hidráulica, ou hidratada, o cimento Portland e o cimento aluminoso classificados como os aglomerantes que

endurecem pela ação exclusiva da água, em uma reação química denominada hidratação.

Ainda de acordo com o manual da ABCP (2018), essas classificações dos aglomerantes podem inserir-se em duas outras mais abrangentes: aglomerantes inorgânicos e aglomerantes orgânicos. No primeiro grupo, estão os aglomerantes aéreos e hidráulicos, enquanto o segundo abrange os aglomerantes poliméricos.

Marinho (2015), baseando-se nos estudos de Coutinho (2006), também cita outra classificação para os aglomerantes, de acordo com a afinidade desses com a água: aglomerantes hidrófobos e hidrófilos. Na primeira classificação, têm-se os aglomerantes em que a água não possui qualquer papel em sua produção e endurecimento, como os aglomerantes poliméricos; já na segunda classificação, há uma afinidade do aglomerante com a água e esse, misturado a substância, dá origem a uma pasta e endurece, como é o caso dos aglomerantes aéreos e hidráulicos.

### 3.9.2. Agregados

Conforme estudos de Santana et al (2011), os agregados são produtos aplicados na fabricação do concreto e de argamassas moles; constituem-se em rocha artificial, com inúmeras utilidades na engenharia, compondo os diversos elementos estruturais de concreto armado; possibilitam que determinadas características da rocha artificial a ser formada apresentem melhor desempenho, como a redução da retração da pasta de cimento, o aumento da resistência ao desgaste, melhor trabalhabilidade e aumento da resistência ao fogo.

Os agregados representam um componente fundamental no concreto, contribuindo com cerca de 80% do peso e 20% do custo do concreto estrutural sem aditivos; apresentam uma grande variação em suas propriedades, sendo necessários na tecnologia do concreto os estudos e o controle de qualidade, antes e durante a execução da obra (SANTANA *et al.*, 2011).

De acordo com Marinho (2015), as propriedades físicas e químicas dos agregados e das misturas ligantes são fundamentais para a vida das estruturas nos quais eles são aplicados. Há inúmeras ocorrências de falência de estruturas provocadas por conta da seleção e uso inadequado dos agregados. Mehta e Monteiro (2007) ressaltam que os agregados são os principais responsáveis pela massa unitária, módulo de elasticidade e estabilidade dimensional do concreto.

Diante do exposto, expõe-se que as características mais importantes de um agregado são a sua massa específica e a massa unitária, a forma e textura, resistência à compressão e abrasão, índice de absorção de água, umidade e sanidade. Quando não são detectados elementos reativos com o cimento e o meio ambiente, a composição química da rocha é fator menos relevante que sua característica física (RIBEIRO JÚNIOR, 2015).

Segundo esse autor, algumas outras particularidades dos agregados são fundamentais:

O conhecimento de certas características dos agregados é uma exigência para a dosagem dos concretos. A massa específica é diretamente proporcional a resistência à compressão do concreto. A forma do grão do agregado, caracterizada pela granulometria e textura, também influi nas propriedades do concreto. As características dos agregados, importantes para a tecnologia dos concretos, são decorrentes da microestrutura do material (*Ibidem*, p. 9).

No Brasil, é a ABNT - NBR 7211/2009 que promove a especificação dos agregados para concreto. De acordo com essa norma, os agregados são materiais pétreos, obtidos a partir da fragmentação artificial ou natural, sendo resultado da britagem de rochas, apresentando propriedades adequadas: dimensões nominais máximas inferiores a 152 milímetros (mm) e mínima superior ou igual a 0,075 mm (ABNT, 2009). De acordo com Ribeiro Júnior (2015), o agregado natural é oriundo da degradação de rochas, por conta da ação dos agentes atmosféricos, sendo retirado dos depósitos naturais, denominados minas; pode, ainda, ser extraído das margens ou fundos de rios.

O agregado artificial, por sua vez, é consequência da trituração mecânica das rochas, processo chamado britagem. Os agregados mais utilizados para a produção de concreto e argamassa são as areias naturais quartzosas, como a areia lavada, oriunda do leito de rios, bem como a pedra britadas, proveniente das pedreiras. Outros materiais, como o seixo rolado, a argila expandida e a areia artificial possuem propriedades mecânicas que possibilitam a sua utilização como agregados de concreto estrutural (RIBEIRO JÚNIOR, 2015).

Ainda segundo a ABNT - NBR 7211/2009, os agregados natural e artificial recebem a seguinte classificação: agregado miúdo e agregado graúdo (ABNT, 2009).

#### 3.9.2.1. Agregado miúdo natural

A primeira classificação diz respeito aos agregados compostos por grãos que passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm, e ficam retidos na peneira de 150  $\mu\text{m}$  (ABNT, 2009).

A areia é o exemplo desse agregado, podendo ser de origem natural ou resultante do processo de britamento de rochas estáveis, ou ambas, misturadas. Esse tipo de agregado não deve conter grãos de tamanho único, isto é, deve se apresentar com boa distribuição granulométrica. Outra questão importante, diz respeito à quantidade de líquido presente na areia, isto é, a sua umidade, uma vez que a quantidade de água no concreto é um aspecto fundamental, que condiciona a resistência e a durabilidade da estrutura, entre outras propriedades do produto (RIBEIRO JÚNIOR, 2015).

#### 3.9.2.2. Agregado graúdo natural

Quanto a segunda classificação, agregado graúdo, as normas brasileiras fazem referências àqueles compostos por grãos que passam pela peneira com abertura de malha de 75 mm, ficando retidos, entretanto, na peneira com abertura de malha de 4,75 mm (ABNT, 2009).

O manual da ABCP (2018) trata dos materiais que são classificados como agregados graúdos que entram na composição do concreto. São tipos: pedregulhos ou britas, oriundos de rochas estáveis e, ainda, a mistura de ambos, cuja granulometria é acima de 5 mm. Os agregados graúdos são resultantes da desagregação de rochas, seja por processos naturais ou pela ação humana. No primeiro caso, são denominados pedregulhos e, no segundo, pedra britada.

Mehta e Monteiro (2007) escrevem que a dimensão máxima do agregado é, por convenção, designada pela dimensão da abertura da peneira, na qual ficam retidos 15% ou menos das partículas do agregado. Quanto maior for a dimensão máxima de um agregado, menor será a área superficial por unidade de volume, gerando uma economia considerável de cimento. Isso se deve a menor área a ser coberta pela pasta de cimento.

De acordo com Ribeiro Júnior (2015, p. 11);

O módulo de finura é um parâmetro empírico usado para determinar o índice de finura do agregado, é calculado com base na análise granulométrica do agregado, onde a somatória dos percentuais retidos acumulados nas peneiras da série padrão e dividido por 100. As

peneiras determinadas pela norma são: n° 100, n° 50, n° 30, n° 16, n° 8, n° 4, 3/8", 3/4" e 1 1/2.

É importante citar que a dimensão máxima do agregado não deverá ser maior que um quinto da dimensão mais estrita da forma, onde o concreto será colocado, assim como não deverá ultrapassar o valor de três quartos da menor distância livre entre as armaduras de reforço.

### 3.9.3. Agregado reciclado

Por conta do que já vem sendo discutido ao longo deste trabalho em relação à diminuição dos RCC e o impacto positivo na questão econômica e ambiental do país, os agregados reciclados surgem como importante fator nos estudos acerca da aplicação dos RCC na produção de concreto.

De acordo com Carrijo (2005), é preciso o estabelecimento de procedimentos sistematizados em relação à produção de agregados reciclados e sua utilização na construção civil. Há características físicas e químicas comuns aos diversos tipos de agregados reciclados aplicáveis em argamassas e concreto; a partir da identificação de certas propriedades e da fixação de valores limites para cada um deles, é possível a garantia da qualidade nas aplicações.

Carvalho (2008) conceitua os agregados reciclados, escrevendo que se tratam de material granular obtido a partir de processos de reciclagem de rejeitos ou subprodutos da produção industrial, mineração, construção ou demolição, incluindo-se, ainda, os agregados recuperados de concreto fresco, pelo método de lavagem, para utilização como agregado.

A ABNT - NBR 15116, de 2004, conceitua agregado reciclado como o material granular oriundo do beneficiamento de resíduos da construção ou demolição de obras civis, o qual apresenta características técnicas que permite a sua aplicação em obras de edificação e infraestrutura (ABNT, 2004).

O agregado reciclado proveniente dos resíduos da construção civil, ele é classificado em dois grupos: agregado reciclado de concreto e agregado reciclado misto. O primeiro é obtido a partir da reciclagem do concreto fresco ou endurecido, constituído na sua fração graúda (> 4,75 mm) de, no mínimo, 90% de massa de fragmentos à base de cimento Portland ou de material pétreo, segundo preconiza a ABNT - NBR 15116/2004 (ABNT, 2004).

A segunda classificação, agregado reciclado misto, abrange os agregados reciclados obtidos do concreto fresco ou endurecido, constituído na sua fração graúda (> 4,75 mm) por menos de 90% de massa de fragmentos à base de cimento Portland ou de material pétreo, segundo estabelece a ABNT - NBR 15116/2004 (ABNT, 2004).

Os agregados reciclados, a exemplo dos agregados naturais, também são classificados conforme a sua granulometria. Dessa forma, têm-se o agregado miúdo reciclado e o agregado graúdo reciclado.

#### 3.9.3.1. Agregado miúdo reciclado

É proveniente do processamento de concreto oriundo dos RCC, para extrair o material que será utilizado na fabricação de novo produto, com destinações diversas na construção civil. De acordo com Scott Hood (2016), o agregado miúdo reciclado apresenta características diversas daquelas do agregado natural, por conta da dependência dos materiais utilizados e do tipo de processo empregado em sua produção. Haverá sempre a necessidade de verificação de tais características antes da execução de qualquer projeto com esse tipo de agregado.

Carrijo (2005) observou a composição granulométrica do agregado miúdo reciclado, verificando que esse material tem a tendência de apresentar composição granulométrica em pouco mais grossa que a dos agregados naturais, acarretando em um modo de finura um pouco maior. Nesse sentido, a melhor faixa granulométrica adotada é de todo o material passante na malha 4,8 mm, que, de acordo com Scott Hood (2016), apresentará elevada presença de finos no agregado miúdo reciclado oriundo dos RCC. Tal característica pode provocar a diminuição da durabilidade dos concretos produzidos em relação à resistência à abrasão.

#### 3.9.3.2. Agregado graúdo reciclado

Os agregados graúdos reciclados também são provenientes dos RCC. Especificamente, são considerados agregados graúdos reciclados aqueles cujos grãos passam por uma peneira com abertura de 15 mm, ficando retidos em uma peneira de 4,8 mm (ABNT, 2009).

Para se alcançar as dimensões adequadas à utilização dos agregados graúdos reciclados, os RCC devem passar pelo processo de britagem. Tal processo pode ser realizado em circuitos abertos ou fechados. No circuito fechado, os materiais passam

por um britador até atingirem o tamanho máximo desejado, enquanto que no circuito aberto o material passa pelo britador uma única vez (CARRIJO, 2005).

Em razão da alta heterogeneidade dos agregados reciclados, é fundamental a implantação de uma usina de produção destes materiais, a fim de que seja realizado o controle das características desses, ainda que sejam promovidas a catação e separação visual do RCC anteriormente à britagem, para o conhecimento dos componentes que originarão o agregado reciclado (SCOTT HOOD, 2016).

### 3.10. DOSAGEM

Segundo Almeida (2002) o concreto é um material de construção resultante da mistura, em quantidades racionais, de aglomerante (cimento), agregados (pedra e areia) e água. Logo após a mistura, o concreto deve possuir plasticidade suficiente para as operações de manuseio, transporte e lançamento em formas, adquirindo coesão e resistência com o passar do tempo, devido às reações que se processam entre aglomerante e água. Em alguns casos, são adicionados aditivos que modificam suas características físicas e químicas.

O estudo da dosagem do concreto busca a mistura ideal e econômica entre seus componentes, utilizando os materiais disponíveis na região, atendendo as características estabelecidas no projeto. Esta mistura é expressa através de um traço, que é a proporção em massa ou volume de cada material.

Segundo Frasson Junior (2000) os concretos plásticos são conhecidos por formarem, uma massa fluida, facilmente adensável, a partir da mistura de agregados e aglomerantes. Esta característica permite que estes concretos sejam transportados e lançados até os locais onde serão aplicados. Sendo que ao serem lançados, sua consistência é alterada pelo adensamento, devido a retirada de ar aprisionado à mistura.

Na literatura existem vários trabalhos com concretos produzidos com agregados reciclados, onde os autores utilizaram dosagens experimentais, por diferentes métodos de dosagem. Santos (2016) em seus estudos bibliográficos, verificou inúmeros trabalhos, avaliando quais métodos de dosagem foram utilizadas, apresentando sua conclusão a respeito em um Quadro que consta os autores com os respectivos anos dos trabalhos desenvolvidos, o método de dosagem e o método de avaliação do abatimento, demonstrado no Quadro 4, o autor ainda apresentou seus

resultados de forma gráfica a explicitando a distribuição dos métodos de dosagens avaliados, conforme Figura 7.

Filho (2007), especifica que para blocos de concreto convencionais, a dosagem deve ser feita para a obtenção de uma mistura mais seca, para que após o processo de adensamento, os mesmos possam ser rapidamente desmoldados, permitindo o uso dos moldes imediatamente, importante ressaltar que o autor afirma que o concreto deve ser dosado cuidadosamente e sua consistência controlada para obter as propriedades físicas desejadas, tais como, textura, cor e regularidade dimensional.

A dosagem pode ser considerada não experimental ou experimental. Para Petrucci (1987) considera-se dosagem não experimental aquelas desenvolvidas arbitrariamente, com base na experiência do construtor, sem sequer levar em consideração os aspectos técnicos dos materiais, normalmente estas dosagens são executadas em obras de pequeno porte, onde a exigência de cargas é desprezível, ou em locais onde não são considerados ambientes agressivos.

Já a dosagem experimental é adotada em relação a métodos definidos, levando-se em consideração as propriedades dos materiais que irão compor a mistura. Para o desenvolvimento da dosagem experimental, frequentemente realiza-se estudos prévios, definindo a partir de ensaios laboratoriais quais são as características dos materiais empregados na composição do proporcionamento adequado dos componentes da mistura, resultando em concreto que são avaliados no atendimento as exigências de trabalhabilidade, resistência e durabilidade (BOGGIO, 2000).

A Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP apresenta um método de dosagem para concretos com consistência plástica, adaptado do “*American Concrete Institute*” - ACI. Para Prudêncio (1994), este método baseia-se no fato de que cada agregado graúdo possui um volume de vazios a ser preenchido pela argamassa, sendo assim, a argamassa irá envolver os agregados graúdos, servindo como um lubrificante no estado fresco, ou seja, conferindo trabalhabilidade para a mistura, além de preencher os espaços vazios existentes entre os agregados, logo a quantidade de argamassa necessária está relacionada com a massa unitária compactada do agregado graúdo e o tipo de agregado miúdo utilizado para a composição.

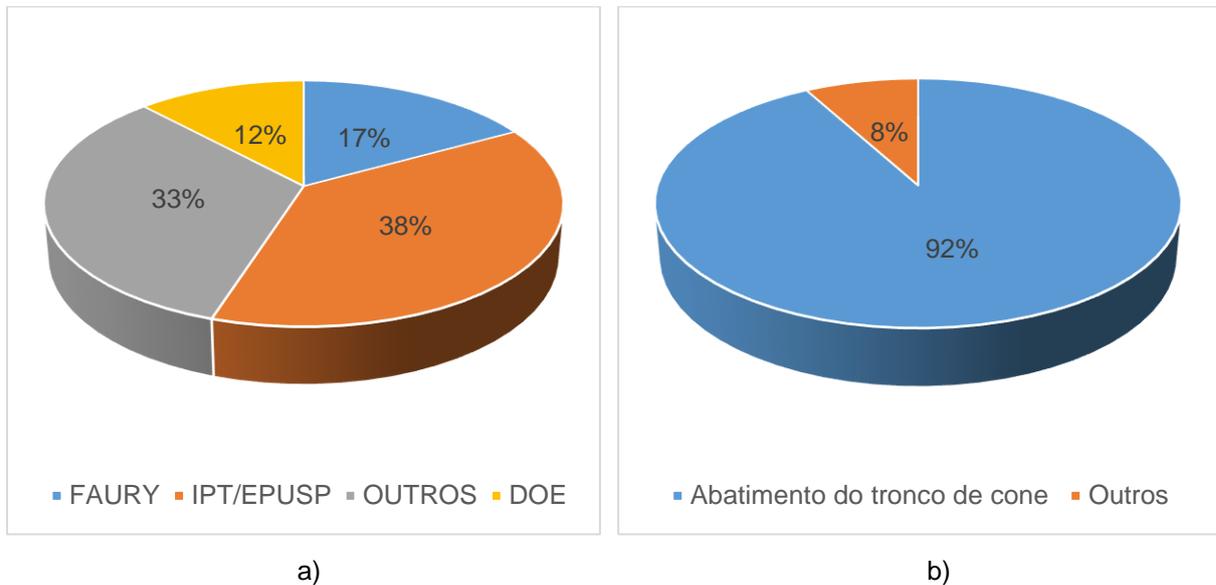
O método proposto foi desenvolvido em 1984, apresentado no boletim técnico (ET-67), sob o título “Parâmetros de Dosagem Racional do Concreto”, sendo uma adaptação do método americano proposto pela ACI 211.1-81 (*Standart Practice for Selecting Proportion for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete*), considera

Tabelas e gráficos elaborados a partir de informações experimentais, que permitem a utilização dos agregados que se enquadram nos limites propostos pelas normas da ABNT, ou seja, para utilização do método levasse em consideração a adaptação para as características dos agregados brasileiros.

Quadro 4 – Levantamentos bibliográficos dos métodos de dosagem para estudo com concretos reciclados

<b>Autor</b>	<b>Método de dosagem</b>	<b>Medida de trabalhabilidade</b>
Bairagi <i>et al.</i> (1990); Poon <i>et al.</i> (2004a); Kou <i>et al.</i> (2011a); Kou <i>et al.</i> (2011b)	ACI	Abatimento do tronco de cone
Malta (2012)	ACI/ABCP, IPT/EPUSP, AITCIN e MEHTA/AITCIN	Abatimento do tronco de cone
Etxeberria <i>et al.</i> (2007); Mas <i>et al.</i> (2012)	Bolomey	Abatimento do tronco de cone
Tam <i>et al.</i> (2005)	Buildings Department (BD)	Abatimento do tronco de cone
Rahman <i>et al.</i> (2009); Safiuddin <i>et al.</i> (2011); Yang <i>et al.</i> (2011); Kwan <i>et al.</i> (2012); Ismail <i>et al.</i> (2013)	DoE (Department of Environment)	Abatimento do tronco de cone
Evangelista <i>et al.</i> (2007); Pacheco-Torgal <i>et al.</i> (2010); Ferreira <i>et al.</i> (2011); Fonseca <i>et al.</i> (2011); González-Fonteboa <i>et al.</i> (2012); Matias <i>et al.</i> (2013); Seara-Paz <i>et al.</i> (2014)	Faury	Abatimento do tronco de cone
Leite (2001); Vieira (2003); Santos (2006); Fonseca (2006); Cabral (2007); Lovato (2007); Nunes (2007); Moreira (2010); Troian (2010); Werle (2010); Padovan (2013); Reis (2013); Cordeiro (2013)	IPT/EPUSP	Abatimento do tronco de cone
Moitinho e Leite (2015)	IPT/EPUSP	Abatimento do tronco de cone/Mesa de Graff
Carneiro (2011); Amario (2015)	Modelo do Empacotamento Compressível	Abatimento do tronco de cone
Figueiredo Filho (2011)	Modelo do Empacotamento Compressível	Abatimento do tronco de cone/Mesa de Graff/Vebe

Figura 7 – Representação gráfica a) Métodos de dosagem b) Métodos de abatimento



Fonte: SANTOS (2016), p 40.

O uso desta metodologia aplica-se para concretos semi-plásticos à fluído, segundo Rodrigues (1998) que argumenta “este método de dosagem foi desenvolvido de maneira a fornecer para misturas plásticas, o mais baixo teor de areia”. Boggio (2000) afirma que um dos princípios básicos deste método está no fato de que o procedimento vincula as granulometrias do agregado miúdo e do graúdo um valor máximo do agregado total compactado por metro cúbico do concreto.

### 3.10.1 Abatimento do tronco de cone

O abatimento do tronco de cone, permite a avaliação da consistência do concreto, fator preponderante para a trabalhabilidade. A Utilização do tronco de Abrams, permite mensurar a fluidez de um concreto, sendo que os procedimentos para realização do teste estão previstos na ABNT - NBR NM 67/1998.

Neville (1997) aponta que não há um método para medir diretamente a trabalhabilidade de um concreto, através de resultados diretos por meio de grandezas físicas, no entanto o autor destaca que a trabalhabilidade é uma propriedade essencial quanto ao resultado final do concreto, uma vez que tal característica demonstra uma mistura capaz de um alto índice de compacidade, garantindo um adensamento satisfatório e adequado. A importância da trabalhabilidade é confirmada por Leite

(2001), para a autora, tal característica influencia acentuadamente as propriedades do concreto endurecido.

Santos (2006) em seus estudos desenvolveu concretos com agregado graúdo reciclado de RCC, o autor realizou diversas dosagens, substituindo os agregados graúdos naturais por agregados reciclados de RCC e sua pesquisa apontou valores aceitáveis quanto a trabalhabilidade das misturas, que foram constatadas através do teste do abatimento do tronco de cone. No trabalho os valores do abatimento variaram de  $60\pm 10$ mm até  $120\pm 10$ mm, sendo que os menores abatimentos foram obtidos para a mistura que substituiu em 100% os agregados graúdos naturais por agregados graúdos reciclados, em média o valor do abatimento foi de 58mm.

Buttler (2003) verificou a influência da idade do tempo de reciclagem nas propriedades dos agregados e de concreto executados com tais agregados, em sua pesquisa o autor assumiu um abatimento de  $60\pm 10$ mm, e posteriormente na avaliação do abatimento, verificou que era necessário realizar correções na relação água/cimento de modo a manter em todas as dosagens, resultados similares quanto a trabalhabilidade. Assim, em seu trabalho os abatimentos variaram de 50mm a 70mm, dentro do determinado. Contudo para manter a relação a/c, as correções necessárias demonstraram valores de 0,41 a 0,48 para esta relação.

Cabral (2007) realizou em seu trabalho a modelagem de propriedades mecânicas e de durabilidade de concretos produzidos com agregados reciclados, considerando a variabilidade da composição do RCC, para análise de tais propriedades, na execução dos corpos de prova, o autor obteve um abatimento pelo tronco de cone de  $120\pm 20$ mm.

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1. OBTENÇÃO DO RCC E AGREGADO NATURAL PARA DESENVOLVIMENTO DOS BLOCOS

#### 4.1.1. AGREGADO RECICLADO

A seleção da matéria prima, foi realizada mediante a visita em duas usinas de reciclagem de resíduos da construção civil na região de Ribeirão Preto. A usina 1, tem por nome Reciclax, sendo uma empresa integrante do grupo Estre, localizada na Rodovia SP 255, Antônio Machado Santana, Km 16,8, sentido Araraquara - Distrito de Bonfim Paulista, Ribeirão Preto – SP, na Figura 8 é possível visualizar a unidade de tritramento do RCC da Usina 1.

Os dados da empresa foram expostos neste trabalho, por solicitação da mesma, formalizado através de e-mail, conforme Anexo I.

Figura 8 - Usina de reciclagem Reciclax



Fonte: Autor, 2019.

A usina 2, fica localizada na Zona Rural, Distrito de Juruce, Jardinópolis – SP. na Figura 9 é possível visualizar a unidade de tritramento do RCC da Usina 2.

Figura 9 - Usina de reciclagem 2



Fonte: Autor, 2019.

Na visita foi identificado o processo de recebimento e triagem dos resíduos, posteriormente verificou-se a etapa de trituração dos RCC, que acontece em um equipamento chamado de Triturador de mandíbulas, este equipamento é o responsável por quebrar os resíduos em pequenos grãos, que em seguida passam por um sistema de peneiramento e conseqüentemente de classificação dos agregados pelo tamanho, conforme Figura 10 e Figura 11.

Figura 10 - Processo de recebimento e britagem resíduos Usina ReciclaX



Fonte: Autor, 2019.

Figura 11 - Processo de peneiramento e classificação Usina Reciclax



Fonte: Autor, 2019.

Na Usina 1, a separação dos agregados foi feita em relação a dois tamanhos de grãos, conforme a classificação em agregado miúdo e graúdo, de acordo com a definição da ABNT - NBR NM 248/2003.

Assim como na Usina 1, a Usina 2, faz somente a separação em dois tamanhos diferentes, referentes a classificação de agregado miúdo e graúdo, conforme Figura 12 e Figura 13.

Figura 12 - Recebimento dos resíduos da Usina 2



Fonte: Autor, 2019.

Figura 13 - Processo de britagem resíduos Usina 2



Fonte: Autor, 2019.

Para a coleta das amostras, o processo de amostragem obedeceu aos requisitos constantes na ABNT - NBR 10007/2004 – Amostragem de Resíduos Sólidos, divididos em 4 etapas, conforme descrito abaixo.

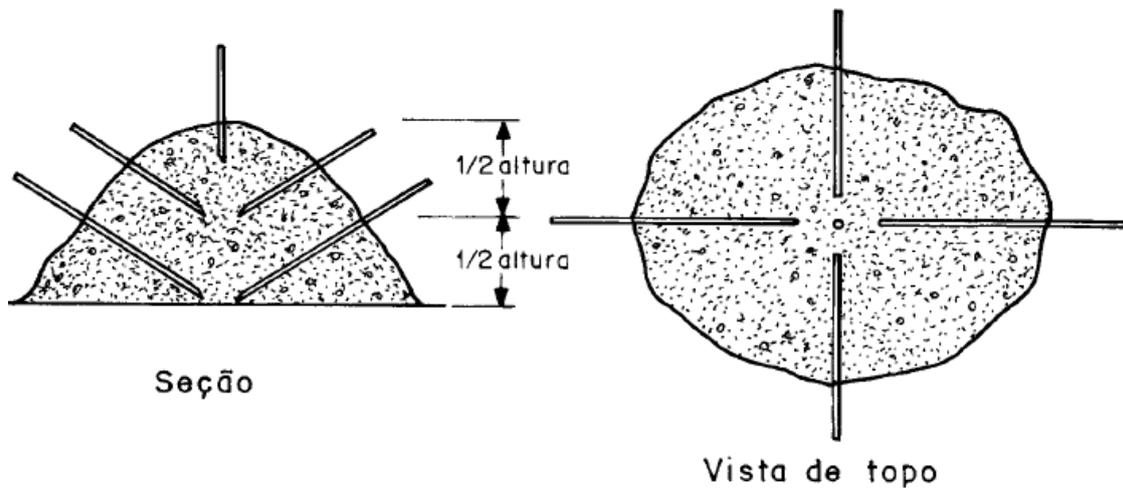
Etapa 1: Coletou-se as amostras em pelo menos três seções, sendo, do topo, aproximadamente ao meio da pilha e na base, conforme Figura 14, para cada seção foram coletadas amostras em quantidade suficiente para o preenchimento do frasco de amostra, totalizando 3 frascos com volume individual de 18L, cada um correspondente a uma seção da pilha. Optou-se por coletar um quarto frasco, para garantir a quantidade de amostra suficiente para a realização dos ensaios de caracterização dos agregados, no total o volume coletado corresponde a 72L.

Etapa 2: Inseriu-se o trado, conforme Figura 15, com pelo menos 1m de profundidade, ou altura que fosse suficiente para garantir que a amostra fosse a mais homogênea possível, livres de contaminações ou sujidades, considerando que a pilha possuía altura aproximada de 1,30 m, o trado foi introduzido para realizar a coleta, conforme descrito na Etapa1, podendo ser evidenciado na Figura 16, Figura17 e Figura 18.

Etapa 3: Retirou-se o trado da pilha e transferiu-se as amostras para o balde de amostragem, cada balde conterà o volume correspondente a uma seção, conforme Figura 19.

Etapa 4: Nesta etapa o frasco de amostra foi tampado e foi preenchida a ficha de coleta, com as seguintes informações: nome do técnico de amostragem; data e hora da coleta; identificação da origem do resíduo; identificação de quem receberá os resultados; número da amostra; descrição do local da coleta; determinações efetuadas em campo; determinações a serem efetuadas no laboratório e observações.

Figura 14 - Detalhe da coleta em monte ou pilha (Seção e vista de topo)



Fonte: ABNT, ABNT - NBR 10007/2014, p. 16.

Figura 15 – Equipamento utilizado para coleta das amostras denominado Trado manual.



Fonte: Autor, 2019.

Figura 16 - Coleta da amostra de RCC no topo da pilha, utilizando Trado manual



Fonte: Autor, 2019.

Figura 17 - Coleta da amostra de RCC no meio da pilha, utilizando Trado manual



Fonte: Autor, 2019.

Figura 18 – Coleta da amostra de RCC no final da pilha, utilizando Trado manual



Fonte: Autor, 2019.

Figura 19 – Frascos de amostra de RCC com os agregados coletados



Fonte: Autor, 2019.

#### 4.1.12. Agregado natural

Os agregados miúdos e graúdos para desenvolvimento do concreto de referência, serão obtidos em lojas de materiais de construção, sendo classificados de acordo com as normas ABNT - NBR 7211/2009 e ABNT - NBR NM 248/2003. Considerando a existência de tais materiais para uso do laboratório de engenharia Civil da Universidade de Ribeirão Preto, foram utilizados os agregados adquiridos pelo laboratório.

#### 4.2. CARACTERIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES DOS AGREGADOS MIÚDOS E GRAÚDOS PARA A DOSAGEM DO CONCRETO.

Para determinação das propriedades dos agregados foram realizadas as análises segundo as normas da ABNT, descritas no Quadros 05 e Quadro 06.

Foi considerado para efeito de desenvolvimento do trabalho a realização de 3 composições diferentes para a execução dos blocos de concreto, mediante os materiais selecionadas na Usina 1, denominada de Amostra 1, Usina 2 denominada de Amostra 2 e com relação aos agregados naturais, denominada de Amostra 3.

Adota-se o termo para agregados naturais, aqueles que ainda não foram utilizados para a convecção de nenhum material como argamassa ou concreto, os agregados naturais apresentam caráter referencial, sendo aplicados na confecção do bloco controle para avaliação da resistência a compressão simples.

Para facilitar a interpretação das análises realizadas com os diferentes tipos de materiais, adota-se a nomenclatura:

- AMR1: Agregado Miúdo Reciclado da usina 1
- AMR2: Agregado Miúdo Reciclado da usina 2
- AMN: Agregado Miúdo Natural
- AGR1: Agregado Graúdo Reciclado da usina 1
- AGR2: Agregado Graúdo Reciclado da usina 2
- AGN: Agregado Graúdo Natural

Considerando que os materiais, fonte das amostras de resíduos utilizados neste estudo, originalmente atendiam os parâmetros estabelecidos na ABNT - NBR 7211/2009, não foram realizados os ensaios de caracterização dos Limites máximos para a expansão devida à reação álcali-agregado e teores de cloretos e sulfatos

presentes nos agregados miúdos. Para os agregados graúdos foram realizados os ensaios especiais para propriedades mecânicas pois os mesmos são materiais heterogêneo não sendo possível caracterizar uma rocha como sendo fonte do material.

Quadro 5 - Propriedades x Normalização para agregados miúdos

<b>Propriedade</b>	<b>Normalização</b>
Composição granulométrica dos agregados	ABNT - NBR NM 248 / 2003
Massa específica, Massa específica aparente	ABNT - NBR NM 52 / 2003
Absorção de água	ABNT - NBR NM 30 / 2001
Massa unitária e do volume de vazios	ABNT - NBR NM 45 / 2006
Determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm, por lavagem	ABNT - NBR NM 46 / 2003
Teor de argila em torrões e materiais friáveis	ABNT - NBR 7218 / 2010
Teor de partículas leves	ABNT - NBR 9936 / 2013
Inchamento	ABNT - NBR 6467 / 2009
Umidade superficial	ABNT - NBR 9775 / 2011
Impurezas orgânicas	ABNT NM 49 / 2001

Fonte: Autor, 2019.

Quadro 6 - Propriedades x Normalização para agregados graúdos

<b>Propriedade</b>	<b>Normalização</b>
Composição granulométrica dos agregados	ABNT - NBR NM 248 / 2003
Massa específica, Massa específica aparente e Absorção de água	ABNT - NBR NM 53 / 2003
Massa unitária e do volume de vazios	ABNT - NBR NM 45 / 2006
Determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm, por lavagem	ABNT - NBR NM 46 / 2003
Teor de argila em torrões e materiais friáveis	ABNT - NBR 7218 / 2010
Teor de partículas leves	ABNT - NBR 9936 / 2013
Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro	ABNT - NBR 7809 / 2008
Umidade total	ABNT - NBR 9939 / 2011
Abrasão Los Angeles	ABNT - NBR NM 51 / 2001

Fonte: Autor, 2019.

#### 4.2.1. Determinação da composição granulométrica.

A composição granulométrica dos agregados reciclados e naturais foram definidas de acordo com a ABNT - NBR NM 248/2003, onde os agregados miúdos e graúdos foram peneirados por sistema vibratório de peneiras metálicas acopladas, com aberturas de malha conforme Tabela 01, onde constam duas series com aberturas de peneiras denominadas, série principal e série intermediária, podendo ser evidenciada na Figura 20.

Para cada uma das amostras de ensaio, foi anotada porcentagem retida, em massa, em cada peneira, com aproximação de 0,1 % conforme equação 1. Os valores obtidos nos ensaios de peneiramento estabelecem a curva de distribuição granulométrica.

$$\%ret = \frac{m1}{mt} * 100 \quad \text{Equação 1.}$$

Onde:

**%ret** é porcentagem de massa retida em cada peneira;

**m1** é a massa retida em cada peneira, em gramas;

**mt** é a massa total de ensaio, em gramas;

Tabela 1 – Conjunto de peneiras da série normal e intermediária (abertura nominal)

Série normal	Série intermediária
75 mm	-
-	63 mm
-	50 mm
37,5 mm	-
-	31,5 mm
-	25 mm
19 mm	-
-	12,5 mm
9,5 mm	-
-	6,3 mm
4,75 mm	-
2,36 mm	-
1,18 mm	-
600 µm	-
300 µm	-
150 µm	-

Os mesmos parâmetros foram utilizados para a determinação da granulometria do agregado miúdos e graúdos, a serem utilizados para a composição do concreto, sendo que a distribuição granulométrica deve atender aos limites estabelecidos na Tabela 02 e Tabela 03.

Figura 20 - Jogo de peneira posicionadas no agitador mecânico.



Fonte: Autor, 2019.

Tabela 2 - Limites da composição granulométrica do agregado miúdo a serem utilizados para a composição do concreto

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISO 3310-1)	Porcentagem, em massa, retida acumulada			
	Limites inferiores		Limites superiores	
	Zona utilizável	Zona ótima	Zona ótima	Zona utilizável
9,5 mm	0	0	0	0
6,3 mm	0	0	0	7
4,75 mm	0	0	5	10
2,36 mm	0	10	20	25
1,18 mm	5	20	30	50
600 $\mu\text{m}$	15	35	55	70
300 $\mu\text{m}$	50	65	85	95
150 $\mu\text{m}$	85	90	95	100

NOTAS

- 1 O módulo de finura da zona ótima varia de 2,20 a 2,90.
- 2 O módulo de finura da zona utilizável inferior varia de 1,55 a 2,20.
- 3 O módulo de finura da zona utilizável superior varia de 2,90 a 3,50.

Fonte: ABNT, ABNT - NBR 7211/2009, p. 09.

Tabela 3 - Limites da composição granulométrica do agregado graúdo a serem utilizados para a composição do concreto

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISO 3310-1)	Porcentagem, em massa, retida acumulada				
	Zona granulométrica $d/D^{1)}$				
	4,75/12,5	9,5/25	19/31,5	25/50	37,5/75
75 mm	-	-	-	-	0 – 5
63 mm	-	-	-	-	5 – 30
50 mm	-	-	-	0 – 5	75 – 100
37,5 mm	-	-	-	5 – 30	90 – 100
31,5 mm	-	-	0 – 5	75 – 100	95 – 100
25 mm	-	0 – 5	5 – 25 <sup>2)</sup>	87 – 100	-
19 mm	-	2 – 15 <sup>2)</sup>	65 <sup>2)</sup> - 95	95 – 100	-
12,5 mm	0 – 5	40 <sup>2)</sup> - 65 <sup>2)</sup>	92 – 100	-	-

Fonte: ABNT, ABNT - NBR 7211/2005, p. 12.

Para obtenção da amostra utilizada neste ensaio e nos demais ensaios realizados para caracterização dos agregados, foram observados os parâmetros da norma ABNT - NBR NM 26/2001 e ABNT - NBR 27/2001, procedendo o quarteamo da amostra até a massa mínima necessária para realização dos ensaios, conforme demonstrado na Figura 21.

Figura 21 - Processo de quarteamo da amostra



Fonte: Autor, 2019.

#### 4.2.2. Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água.

##### 4.2.1.1. Agregado Miúdo

- **Massa Específica e Massa Específica Aparente:** Para determinação da massa específica e da massa específica aparente, foram observados os parâmetros constantes na ABNT - NBR NM 52/2003, sendo utilizada uma amostra com massa de 1 kg, previamente seca em estufa com temperatura constante de  $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$ , foi submersa em água e deixada em repouso por 24 h. Em seguida retirou-se a amostra de água e estendeu sobre uma superfície plana, submetendo-a à ação de uma suave corrente de ar, revolvendo a amostra com frequência para assegurar uma secagem uniforme até que os grãos de agregado miúdo não estavam fortemente aderidos entre si, conforme Figura 22 e Figura 23. Posteriormente o agregado miúdo foi colocado no molde, sem comprimi-lo e compactado sua superfície suavemente com 25 golpes de haste de compactação, conforme determinação da NBR NM 52/2003 e então levantou-se verticalmente o molde. Para a validação do procedimento a amostra foi submetida ao teste do molde de modo que não poderia desmontar-se na primeira avaliação. A secagem iniciou em superfície plana, mas foi concluída em bandeja metálica para evitar perda de material. A Figura 24, ilustra o molde com a amostra antes da elevação vertical do molde e avaliação da secagem superficial.

Figura 22 - Secagem da amostra de agregado com soprador térmico, para levar a condição de superfície saturada seca



Fonte: Autor, 2019.

Figura 23 - Secagem da amostra de agregado em bandeja com soprador térmico, para levar a condição de superfície saturada seca



Fonte: Autor, 2019.

Figura 24 - Molde cônico para avaliação da umidade superficial



Fonte: Autor, 2019.

Com base no procedimento descrito anteriormente foi possível obter os valores da Massa específica aparente do agregado seco, conforme equação 2, e da Massa específica do agregado saturado superfície seca, conforme equação 3, sendo que o volume de água foi calculado pela equação 4. A massa específica seca do agregado foi obtida através da equação 5.

$$d_1 = \frac{m}{V - V_a} \quad \text{Equação 2}$$

$$d_2 = \frac{m_s}{V - V_a} \quad \text{Equação 3}$$

$$V_a = \frac{m_2 - m_1}{\rho_a} \quad \text{Equação 4}$$

$$d_3 = \frac{m}{(V - V_a) - \frac{m_s - m}{\rho_a}} \quad \text{Equação 5}$$

Onde:

**$d_1$**  é a massa específica aparente do agregado seco, em gramas por centímetro cúbico;

**$d_2$**  é a massa específica do agregado saturado, superfície seca, em gramas por centímetro cúbico;

**$d_3$**  é a massa específica do agregado, em gramas por centímetro cúbico;

**$m$**  é a massa da amostra seca em estufa, em gramas;

**$m_1$** , é a massa do conjunto (frasco + agregado), em gramas;

**$m_2$** , é a massa total (frasco + agregado + água), em gramas;

**$m_s$**  é a massa da amostra na condição saturada superfície seca, em gramas;

**$V$**  é o volume do frasco, em centímetros cúbicos;

**$V_a$**  é o volume de água adicionada ao frasco, de acordo com a seguinte fórmula, em centímetros cúbicos.

**$\rho_a$** , é a massa específica da água, em gramas por centímetro cúbico.

- **Absorção de água:** Para determinação da absorção de água, foram observados os parâmetros constantes na ABNT - NBR NM 30/2001, sendo utilizada uma amostra com massa de 1 kg, previamente seca em estufa com temperatura constante de  $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$ , foi submersa em água e deixada em repouso por 24 h. Em seguida retirou-se a amostra de água e estendeu sobre uma superfície plana, submetendo-a à ação de uma suave corrente de ar, revolvendo a amostra com frequência para assegurar uma secagem uniforme até que os grãos de agregado miúdo não estavam fortemente aderidos entre si, Figura 25. A secagem iniciou em superfície plana, mas foi concluída em bandeja metálica para evitar perda de material. Posteriormente, o agregado miúdo foi colocado no molde, sem comprimi-lo e sua superfície compactada suavemente com 25 golpes de haste de compactação e então levantou-se verticalmente o molde para avaliar a condição de saturação, sendo que a Figura 26, evidencia uma quantidade de água que mantém os grãos aderidos e a Figura 27 evidencia a condição de superfície saturada seca, constatada pela desagregação dos grãos.

Figura 25 – Secagem da amostra de agregado para levar a condição de superfície saturada seca



Fonte: Autor, 2019.

Figura 26 – Avaliação da condição de superfície saturada seca, grão ainda agregados



Fonte: Autor, 2019.

Figura 27 – Avaliação da condição de superfície saturada seca, desmonte de cone, grãos desagregados



Fonte: Autor, 2019.

Com base no procedimento descrito anteriormente foi possível obter os valores da Absorção de água, conforme equação 6.

$$A = \left( \frac{m_s - m}{m} \right) * 100 \quad \text{Equação 6}$$

Onde:

**A**, é a absorção de água, em porcentagem;

**m<sub>s</sub>**, é a massa ao ar da amostra na condição saturado e de superfície seca, em gramas;

**m**, é a massa da amostra seca em estufa, em gramas.

#### 4.2.2.2. Agregado Graúdo

Para determinação da massa específica e da massa específica aparente, foram observados os parâmetros constantes na ABNT - NBR NM 53/2003, sendo utilizada uma amostra com massa de 10 kg, previamente seca em estufa com temperatura constante de  $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$ , foi submersa em água e deixada em repouso por 24 h. Em seguida retirou-se a amostra de água e estendeu sobre uma superfície plana, sob um pano e procedeu-se a secagem superficial da mesma, Figura 28, registrando o valor da massa. Após a secagem superficial da amostra, submergiu-se novamente e registrou-se o valor da massa submersa em água, Figura 29.

Figura 28 – Secagem superficial do agregado graúdo com pano absorvente



Fonte: Autor, 2019.

Figura 29 – Pesagem da amostra de agregado submersa, na balança digital, vista frontal da massa da amostra submersa em água, a) Vista traseira da balança, com a amostra submersa, b)



(a)



(b)

Fonte: Autor, 2019.

Com base no procedimento descrito anteriormente foi possível obter os valores da Massa específica aparente do agregado seco, conforme equação 7, da Massa específica do agregado na condição saturado superfície seca, conforme equação 8, da Massa específica aparente, conforme equação 9 e da Absorção de água, conforme equação 10. Para determinação dos valores acima foram realizadas duas determinações adotando a média dos resultados.

$$d = \frac{m}{m_s - m_a} \quad \text{Equação 7}$$

$$d = \frac{m_s}{m_s - m_a} \quad \text{Equação 8}$$

$$d_a = \frac{m}{m - m_a} \quad \text{Equação 9}$$

$$A = \left( \frac{m_s - m}{m} \right) * 100 \quad \text{Equação 10}$$

Onde:

**d** é a massa específica do agregado seco, em gramas por centímetro cúbico;  
**d<sub>s</sub>** é a massa específica do agregado na condição saturado superfície seca, em gramas por centímetro cúbico;

**d<sub>a</sub>** é a massa específica aparente, em gramas por centímetro cúbico;

**m** é a massa ao ar da amostra seca, em gramas;

**m<sub>s</sub>** é a massa ao ar da amostra na condição saturada superfície seca, em gramas;

**m<sub>a</sub>** é a massa em água da amostra, em gramas.

**A** é a absorção de água, em porcentagem;

#### 4.2.3. Massa unitária e do volume de vazios.

Para determinação da massa unitária e volumes de vazios, foram observados os parâmetros constantes na ABNT - NBR NM 45/2006, sendo utilizada uma amostra 150% do volume do frasco utilizado, previamente seca em estufa com temperatura constante de  $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$ .

Para determinação do volume do frasco e proceder sua calibração, o mesmo foi totalmente cheio com água entre  $18^\circ\text{C}$  e  $25^\circ\text{C}$ , determinada a massa de água e a temperatura da mesma, sendo possível estabelecer a massa específica da água, através da Tabela 4.

Tabela 4 - Massa Especifica da Água

Temperatura $^\circ\text{C}$	Densidad / <i>Massa específica</i> $\text{kg/m}^3$
15,6	999,01
18,3	998,54
21,1	997,97
23,0	997,54
23,9	997,32
26,7	996,59
29,4	995,83

Fonte: ABNT, ABNT - NBR NM 45/2006, p. 10.

A NBR NM 45/2006 prevê dois métodos para a determinação da massa unitária, sendo o “método A” para a obtenção do valor da massa no estado compactado e o “método C” para determinação da massa no estado solto.

Para desenvolvimento do ensaio foram adotados o “método A” - Massa Unitária Compactada da referida norma, onde se determinou a massa do recipiente vazio, em seguida procedeu-se o enchimento do mesmo em camadas correspondentes a 1/3 do volume, promovendo com 25 golpes de haste de compactação em cada camada, Figura 30, ao término do preenchimento nivelou-se o material contido com as bordas do recipiente e registrou-se a massa do recipiente mais seu conteúdo. Além do método A, adotou-se também o “método C” - Massa Unitária no Estado Solto, realizando o preenchimento do recipiente soltando a amostra a não mais de 5cm, da borda do mesmo, até que essa estravasse do recipiente, em seguida nivelou-se o material contido com as bordas do recipiente e registrou-se a massa do recipiente mais seu conteúdo.

Figura 30 – Compactação da amostra de agregado em 3 camadas do volume do balde de 10dm<sup>3</sup>, correspondente a 1/3.



Fonte: Autor, 2019.

Com base no procedimento descrito anteriormente foi possível obter os valores da Massa unitária, conforme equação 11, e do Índice de volume de vazios, conforme equação 12. Para determinação dos valores acima foram realizadas três determinações adotando a média dos resultados.

$$\rho_{ap} = \frac{m_{ar} - m_r}{V} \quad \text{Equação 11}$$

$$Ev = \frac{100[(d_1 * \rho_w) - \rho_{ap}]}{d_1 * \rho_w} \quad \text{Equação 12}$$

Onde:

$\rho_{ap}$  é a massa unitária do agregado, em quilogramas por metro cúbico;

$\rho_w$ , massa específica da água, em quilogramas por metro cúbico;

$m_{ar}$  é a massa do recipiente mais o agregado, em quilogramas;

$m_r$  é a massa do recipiente vazio, em quilogramas;

$V$  é o volume do frasco, em metros cúbicos;

$E_v$ , = índice de volume de vazios nos agregados, em porcentagem;

$d_1$ , massa específica relativa do agregado seco;

#### 4.2.4. Determinação do material fino que passa através da peneira 75 $\mu\text{m}$ , por lavagem

Para determinação do material fino que passa através da peneira 75  $\mu\text{m}$ , foram observados os parâmetros constantes na ABNT - NBR NM 46/2003, sendo utilizada uma amostra de 500 g, previamente seca em estufa com temperatura constante de  $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$ . Em seguida submergiu-se a amostra em água procedendo a agitação vigorosa buscando a separação de todas as partículas mais finas que 75  $\mu\text{m}$  das maiores, e para que ocorresse a suspensão do material fino. Imediatamente após a agitação, verteu-se a solução em um conjunto de peneiras onde a de maior abertura corresponde ao diâmetro de 1,18 mm e a de menor abertura com diâmetro de 75  $\mu\text{m}$ . O procedimento lavagem foi repetido até que a água se tornasse límpida, sendo realizada uma comparação visual entre as águas de antes e depois do processo de lavagem, conforme Figura 31.

Figura 31 – Comparação visual da água de lavagem



Fonte: Autor, 2019.

Em seguida submergiu-se a amostra em água novamente, esperando que todas as partículas se decantarem, sendo o material levado para estufa com temperatura constante de  $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$ , e registrada sua massa final seca. Para determinação dos valores acima foram realizadas duas determinações adotando a média dos resultados.

Com base no procedimento descrito anteriormente foi possível obter a quantidade de material que passa pela peneira de  $75 \mu\text{m}$ , conforme equação 13.

$$m = \left( \frac{m_i - m_f}{m_i} \right) * 100 \quad \text{Equação 13}$$

Onde:

**m** é a porcentagem de material mais fino que a peneira de  $75 \mu\text{m}$  por lavagem;

**$m_i$**  é a massa original da amostra seca; em gramas;

**$m_f$**  é a massa da amostra seca após a lavagem, em gramas.

#### 4.2.5. Teor de Argila em Torrões e materiais friáveis

Para determinação do Teor de Argila de Argila e matérias friáveis, foram observados os parâmetros constantes na ABNT - NBR 7218/2010, sendo utilizada uma amostra de 200 g, 1000 g e 2000 g, de acordo com os intervalos granulométricos,

considerando a faixa de intervalos, constantes na Tabela 5, previamente seca em estufa com temperatura constante de  $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$ .

Tabela 5 – Intervalos granulométricos e massas mínimas para ensaio de Teor de Argila de Argila e matérias friáveis

<b>Intervalos granulométricos a serem ensaiados</b>	<b>Massa mínima de amostra para ensaio de cada intervalo granulométrico</b>
<b>mm</b>	<b>g</b>
$\geq 1,18$ e $< 4,75$	200
$\geq 4,75$ e $< 9,5$	1000
$\geq 9,5$ e $< 19,0$	2000
$\geq 19,0$ e $< 37,5$	3000
$\geq 37,5$	5000

Fonte: ABNT, ABNT - NBR 7218/2010, p. 2.

Após as massas secas, as mesmas foram submergidas em água onde permaneceram em repouso por 24, horas, findado este tempo identificou-se as partículas com aspecto de torrões de argila ou materiais friáveis, pressionando com as pontas dos dedos, de modo a desfaze-las. Em seguidas as amostras foram transferidas para as peneiras com aberturas conforme Tabela 6, procedendo a lavagem das amostras, agitando cuidadosamente as peneiras durante o fluxo de lavagem.

Posteriormente, as amostras foram levadas a estufa com temperatura constante de  $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$ , para proceder a secagem, sendo anotado o valor da massa final, após esta ser resfriada a temperatura ambiente, conforme Figura 32.

Com base no procedimento descrito acima é possível obter o teor de argila em torrões e materiais friáveis, conforme equação 14.

$$mt = \left( \frac{mi - mf}{mi} \right) * 100 \quad \text{Equação 14}$$

Onde:

**mt** é a porcentagem de material mais fino que a peneira de 75 mm por lavagem;

**mi** é a massa original da amostra seca; em gramas;

**mf** é a massa da amostra seca após a lavagem, em gramas

Tabela 6 - Peneiras para remoção das partículas de argila e materiais friáveis

Intervalos granulométricos a serem ensaiados mm	Abertura das peneiras
$\geq 1,18$ e $< 4,75$	600 $\mu\text{m}$
$\geq 4,75$ e $< 9,5$	2,36 mm
$\geq 9,5$ e $< 19,0$	4,75 mm
$\geq 19,0$ e $< 37,5$	4,75 mm
$\geq 37,5$	4,75 mm

Fonte: ABNT, ABNT - NBR 7218/2010, p. 2.

Figura 32 – Massa da amostra seca, para verificação dos Torrões de Argila e Materiais Friáveis



Fonte: Autor, 2019.

#### 4.2.6. Teor de partículas leves

Para determinação do Teor de partículas leves, foram observados os parâmetros constantes na ABNT - NBR 9936/2013, sendo utilizada uma amostra de 200 g, para o agregado miúdo e 3000 g para o agregado graúdo, previamente seca em estufa com temperatura constante de  $(105 \pm 5)$  °C. Considerando que os procedimentos experimentais se diferem para agregado miúdo graúdo, os mesmos serão descritos separadamente.

##### 4.2.6.1 Agregado Miúdo

Após o resfriamento da amostra de 200 g, procedeu-se o peneiramento com a peneira de abertura de 300  $\mu\text{m}$ , sendo registrado o valor da massa retida, em seguida esta massa foi levada a condição de saturado com superfície seca, conforme procedimentos da ABNT - NBR NM 30.

Posteriormente, a amostra foi introduzida em líquido denso, para este experimento utilizou-se uma solução de cloreto de zinco em água com densidade de  $2,0 \text{ g/cm}^3$ , sendo que o volume da solução foi superior a 3 vezes o volume da amostra. Em seguida agitou-se vigorosamente a solução com uma haste de vidro e aguardou-se alguns segundos para que a amostra decantasse, de modo que as partículas leves flotassem na solução. Após transcorrido alguns minutos verteu-se o líquido em outro frasco passando pela peneira de 300  $\mu\text{m}$  cuidadosamente para que somente o líquido fosse transferido de frasco, esse procedimento foi repetido até que não se identificou mais partículas em suspensão. A Figura 33, demonstra a amostra AMR2, percebe-se que devido ao grande índice de material pulverulento, ocorre pouca separação entre os materiais finos e a solução.

Após peneiramento das partículas leves, efetuou-se a lavagem da massa retida, para remover o líquido denso, a massa retida foi levada a estufa com temperatura constante de  $(105 \pm 5)$  °C, para proceder a secagem, sendo anotado o valor da massa final, após esta ser resfriada a temperatura ambiente.

Figura 33 – Líquido denso e amostra AMR2 a) Líquido denso vertido b)



(a)

(b)

Fonte: Autor, 2019.

#### 4.2.6.2 Agregado Graúdo

Após o resfriamento da amostra de 3000 g, procedeu-se o peneiramento com a peneira de abertura de 4,75 mm, sendo registrado o valor da massa retida, em seguida esta massa foi levada a condição de saturado com superfície seca, conforme procedimentos da ABNT - NBR NM 53.

Posteriormente, a amostra foi introduzida em líquido denso, para este experimento utilizou-se uma solução de cloreto de zinco em água com densidade de  $2,0 \text{ g/cm}^3$ , sendo que o volume da solução foi superior a 3 vezes o volume da amostra. Em seguida agitou-se vigorosamente a solução com uma haste de vidro e aguardou-se alguns segundos para que a amostra decantasse, de modo que as partículas leves flotassem na solução. Após transcorrido alguns minutos verteu-se o líquido em outro frasco passando pela peneira de  $300 \mu\text{m}$  cuidadosamente para que somente o líquido fosse transferido de frasco, esse procedimento foi repetido até que não se identificou mais partículas em suspensão.

Após peneiramento das partículas leves, efetuou-se a lavagem da massa retida, para remover o líquido denso, a massa retida foi levada a estufa com temperatura constante de  $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$ , para proceder a secagem, sendo anotado o valor da massa final, após esta, ser resfriada a temperatura ambiente. Na Figura 32, podemos verificar o processo de agitação com bastão de vidro da amostra AGR2, figura a) e após este processo os materiais leves que floreram e posteriormente foram pesados, conforme Figura 34.

Com base no procedimento descrito acima é possível obter o teor de partículas leves para agregados miúdos e grãos, conforme equações 15 e 16 respectivamente.

$$L = \left(\frac{m_1}{m_2}\right) * 100 \quad \text{Equação 15}$$

$$L = \left(\frac{m_1}{m_3}\right) * 100 \quad \text{Equação 16}$$

Onde:

**L** é o teor de partículas leves, expresso em porcentagem (%). O resultado deve ser arredondado ao décimo mais próximo;

**m<sub>1</sub>** é a massa seca de partículas flutuantes, expressa em gramas (g);

**m<sub>2</sub>** é a massa seca da porção da amostra retida na peneira com abertura de malha de 300  $\mu\text{m}$ , expressa em gramas (g).

**m<sub>3</sub>** é a massa seca da porção da amostra retida na peneira com abertura de malha de 4,75 mm, expressa em gramas (g).

Figura 34 – Agitação líquido denso e amostra AGR2 a) Líquido denso em repouso com material leve flutando b)



(a)

(b)

Fonte: Autor, 2019.

Figura 35 – Pesagem das partículas leves da amostra AGR2



Fonte: Autor, 2019.

#### 4.2.7. Inchamento do Agregado Miúdo

Para determinação do inchamento do agregado miúdo, foram observados os parâmetros constantes na ABNT - NBR 6467/2006, sendo utilizada uma amostra de 45 kg, previamente seca em estufa com temperatura constante de  $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$ . Considerando que a capacidade volumétrica da estufa, não permitia a secagem da quantidade total de amostra, esse processo ocorreu fracionado, sendo que a cada volume de amostra seca, a mesma era depositada em um recipiente e depois de esfriada, foram fechados para não absorver umidade do ar, conforme Figura 36.

Posteriormente a secagem do volume total da amostra, a mesma foi misturada por equipamento de preparo de argamassa e concretos, denominado Betoneira, demonstrado pela Figura 37. Após a homogeneização retirou-se uma porção para a determinação da massa unitária, conforme prescrito na ABNT - NBR 7251 e outra porção de amostra foi colocada na capsula, previamente pesada, Figura 38. Este procedimento foi realizado para faixas de 0,0%, 0,5%, 1%, 2%, 3%, 4%, 5%, 7%, 9% e 12%, de teor de umidade, considerando que a porcentagem de adição de água foi realizada em relação a massa total de amostra.

Figura 36 – Balde plástico fechado, para conservação das amostras de agregados miúdos secos em estufa.



Fonte: Autor, 2019.

Figura 37 – Betoneira utilizada para homogeneização do agregado miúdo na elevação dos níveis de umidade de 0,5% a 12%



Fonte: Autor, 2019.

Figura 38 – Cápsulas identificadas com teores de umidade de 0,5% a 12%



Fonte: Autor, 2019.

Ao término da coleta de cada amostra nas cápsulas devidamente identificadas, registrou-se os valores da cápsula ocupada com o agregado. Em seguida as cápsulas foram levadas a estufa com temperatura constante de  $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$ , para proceder a secagem, sendo anotado o valor da massa final, após estas, serem resfriadas a temperatura ambiente.

Com base no procedimento descrito acima é possível obter teor de umidade do agregado contido em cada uma das cápsulas, o coeficiente de inchamento em cada uma das cápsulas, conforme equação 17 e equação 18. Assim foi possível plotar um gráfico com as informações dos teores de umidade e coeficiente de inchamento para cada cápsula, obtendo a umidade crítica e o coeficiente de inchamento médio.

$$L = \left( \frac{m_i - m_f}{m_f - m_c} \right) * 100 \quad \text{Equação 17}$$

Onde:

**h** é o teor de umidade do agregado, em porcentagem;

**m<sub>i</sub>** é a massa inicial da cápsula com o material em ensaio, em gramas;

**m<sub>f</sub>** é a massa após a secagem, da cápsula com o material em ensaio em gramas;

**m<sub>c</sub>** é a massa da cápsula, em gramas.

$$\frac{V_h}{V_s} = \frac{\gamma_s}{\gamma_h} * \frac{(100 + h)}{100} \quad \text{Equação 18}$$

Onde:

**V<sub>h</sub>** é O volume do agregado com um determinado teor de umidade (h), em centímetros cúbicos;

**V<sub>s</sub>** é o volume do agregado seco em estufa, em centímetros cúbicos;

**V<sub>h</sub>/V<sub>s</sub>** é o coeficiente de inchamento do agregado;

**γ<sub>h</sub>** é a massa unitária do agregado com um determinado teor de umidade (h), em gramas por centímetro cúbico;

**γ<sub>s</sub>** é a massa unitária do agregado seco em estufa, em gramas por centímetro cúbico.

#### 4.2.8. Teor de Umidade Superficial por meio do frasco de Chapman

Para determinação do teor de umidade superficial, foram observados os parâmetros constantes na ABNT - NBR 9775 / 2011, sendo utilizada uma amostra de 500g, previamente seca em estufa com temperatura constante de  $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$ , posteriormente procedeu-se o preenchimento do frasco de Chapman com água até a marca de 200 ml, esperando alguns segundos para que a água eventualmente aderida as paredes laterais escoasse, logo após, inseriu-se a amostra no frasco, e procedendo agitação do conjunto para eliminar bolhas de ar.

Em seguida aguardou-se o tempo de 45 segundos, para que o agregado decantasse e efetuou-se a leitura do nível de água obtido, após a incorporação da amostra, conforme Figura 39, registrando o valor obtido.

Figura 39 – Leitura do nível de água no Frasco de Chapman



Fonte: Autor, 2019.

Com base no procedimento descrito anteriormente foi possível obter o teor de umidade superficial, expresso em porcentagem (%) da massa de agregado miúdo na condição saturada de superfície seca (SSS), conforme equação 19. Para determinação dos valores acima foram realizadas duas determinações adotando a média dos resultados.

$$h = \frac{[500 - (v - 200) * \gamma]}{(v - 700) * \gamma} * 100 \quad \text{Equação 19}$$

Onde:

**h** é o teor de umidade superficial, expresso em porcentagem (%) da massa de agregado miúdo na condição saturada de superfície seca (SSS). O resultado deve ser arredondado ao décimo mais próximo;

**v** é a leitura do frasco de Chapman (volume ocupado pelo conjunto água-agregado miúdo), expresso em mililitros;

**γ** é a densidade na condição saturada de superfície seca (SSS) do agregado miúdo, expressa em gramas por mililitro.

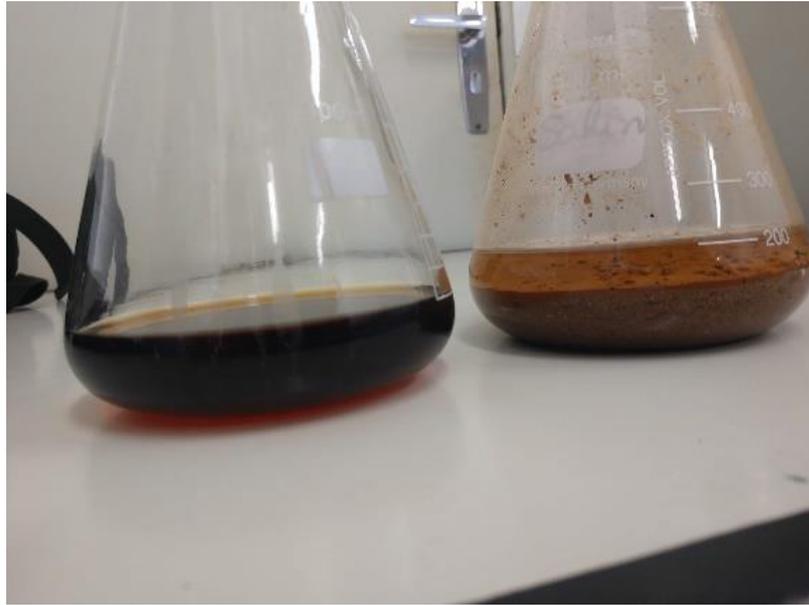
#### 4.2.9. Impurezas orgânicas

Para determinação de impurezas orgânicas, foram observados os parâmetros constantes na ABNT - NBR NM 49/ 2001, sendo utilizada uma amostra de 200 g, previamente seca em estufa com temperatura constante de  $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$ .

Foram preparadas as soluções de hidróxido de sódio a 3% e solução padrão de ácido tânico a 2%.

Em um frasco Erlenmeyer, adicionou-se 100 ml da solução de hidróxido de sódio e a amostra, procedendo agitação vigorosa do conjunto, em seguida colocou-se a solução em um armário para garantir a não exposição a luz. Em outro frasco Erlenmeyer, 97 ml da solução de hidróxido de sódio e 3 ml da solução de ácido Tânico, de mesmo modo a solução foi protegida da luz. Findado o tempo de 24 horas, comparou-se as cores das soluções, avaliando a coloração e comparando-as, conforme demonstrado na Figura 40.

Figura 40 – Comparação de cor da solução padrão com a solução da amostra AMR1



Fonte: Autor, 2019.

#### 4.2.10. Índice de Forma do Agregado graúdo

Para determinação do teor de umidade superficial, foram observados os parâmetros constantes na ABNT - NBR 7809/2019, sendo utilizada uma amostra de 5 kg, 10 kg, 15 kg e 20 kg, de acordo com os intervalos granulométricos, considerando a faixa de intervalos, constantes na Tabela 7, previamente seca em estufa com temperatura constante de  $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$ .

Tabela 7 - Quantidade mínima de material para ensaio

<b>Intervalos granulométricos a serem ensaiados (abertura da peneira em mm)</b>	<b>Massa mínima da amostra inicial Kg</b>
> 9,5 e $\leq$ 19,0	5
< 19,0 e $\leq$ 25,0	10
< 25,0 e $\leq$ 37,5	15
> 37,5	20

Fonte: ABNT, ABNT - NBR 7809/2019, p. 2.

Os grãos passantes pelas peneiras dos intervalos, foram quarteados de modo a permanecer a quantidade, resultante da equação 20. Os números fracionados foram arredondados, considerando um total de 200 grãos.

$$N_i = \frac{200}{F_1 + F_2 + \dots + F_i + \dots + F_n} * F_i \quad \text{Equação 20}$$

Onde:

**N<sub>i</sub>** é o número de grãos a serem medidos na fração *i*;

**F<sub>i</sub>** é a porcentagem de massa retida individual da fração *i*;

**F<sub>1</sub> + F<sub>2</sub> + .. F<sub>i</sub> .. F<sub>n</sub>** é a soma das porcentagens, retidas individuais, em massa, das frações obtidas.

Posteriormente foi efetuado com o auxílio de um paquímetro a medida em milímetros do comprimento e a espessura de cada um dos grãos obtidos.

Com base no procedimento descrito anteriormente foi possível obter índice de forma do agregado, pelo uso da equação 21.

$$I = \frac{C_{\text{médio}}}{e_{\text{médio}}} \quad \text{Equação 21}$$

Onde:

**I** é o índice de forma do agregado;

**C médio** é o comprimento médio, expresso em milímetros (mm) dos 200 grãos;

**e médio** é a espessura média, expressa em milímetros (mm) dos 200 grãos.

De acordo com a ABNT - NBR 7809 (2019), o índice de forma do agregado é obtido pela média da relação entre o comprimento e a espessura dos grãos do agregado, ponderada pela quantidade de grãos de cada fração granulométrica que o compõe. Sendo que o comprimento de um grão é a maior dimensão possível de ser medida em qualquer direção do grão e a espessura de um grão é a menor distância possível entre planos paralelos entre si em qualquer direção do grão.

O desenvolvimento das medidas pode ser demonstrado através da Figura 41 e Figura 42.

Figura 41 – Determinação do comprimento do grão da amostra AGR1



Fonte: Autor, 2019.

Figura 42 – Determinação da espessura do grão da amostra AGR1



Fonte: Autor, 2019.

#### 4.2.11. Umidade Total do Agregado graúdo

Para determinação da umidade total do agregado graúdo, foram observados os parâmetros constantes na ABNT - NBR 9939/ 2011, sendo utilizada uma amostra de 2000g, onde foi pesada e registrado o valor da massa inicial, em seguida a massa foi levada a estufa com temperatura constante de  $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$ , para proceder a secagem, sendo anotado o valor da massa final, após esta, ser resfriada a temperatura ambiente.

Com base no procedimento descrito acima é possível o teor de umidade total, pela equação 22.

$$h = \frac{m_i - m_f}{m_f} * 100 \quad \text{Equação 22}$$

Onde:

**h** é o teor de umidade total, expresso em porcentagem (%). O resultado deve ser arredondado ao décimo mais próximo;

**m<sub>i</sub>** é a massa inicial da amostra, expressa em gramas (g);

**m<sub>f</sub>** é a massa final da amostra seca, expressa em gramas (g).

#### 4.2.12. Abrasão Los Angeles

Para determinação da abrasão Los Angeles, em decorrência da falta de equipamento, este ensaio foi terceirizado para o laboratório JPA Engenharias & Obras na cidade de Piracicaba, interior de São Paulo. A seguir descreve-se os procedimentos realizados para obtenção dos resultados.

O ensaio observou os parâmetros constantes na ABNT - NBR NM 51/ 2001, sendo utilizada uma amostra com massa, com características similares as cargas abrasivas, as amostras foram peneiradas conforme abertura constantes na Tabela 8, em seguida, lavou e secou separadamente cada fração do agregado em estufa a  $(107,5 \pm 2,5) ^\circ\text{C}$ .

Tabela 8 - Aberturas das peneiras em mm, para separação da amostra e determinação das cargas abrasivas.

<b>Jogo de peneiras</b>	
<b>(abertura da peneira em mm)</b>	
75,0	
63,0	
50,0	
37,5	
25,0	
19,0	
12,5	
9,5	
6,3	
4,75	
2,36	
1,70	

Fonte: ABNT, ABNT - NBR NM 51/2000, p. 3.

Após o resfriamento da massa, a mesma foi inserida na máquina “Los Angeles”, procedendo a rotação do tambor do equipamento, sendo predefinida a rotação por minuto e o número de rotação, atendendo os parâmetros da Tabela 9.

Tabela 9 - Graduação de massa para determinação do número de ciclos de rotação do tambor, para avaliação da abrasão sofrida pela amostra de agregado graúdo

Tamices/Peneiras (abertura) mm		Muestra - masa parcial/Amostra - massa parcial g						
Material		Graduación/Gradação						
Pasa/Passa	Retenido/ Retido	A	B	C	D	E	F	G
75	63					2 500±50		
63	50					2 500±50		
50	37,5					5 000±50	5 000±50	
37,5	25	1 250±25					5 000±25	5 000±25
25	19	1 250±25						5 000±25
19	12,5	1 250±10	2 500±10					
12,5	9,5	1 250±10	2 500±10					
9,5	6,3			2 500±10				
6,3	4,75			2 500±10				
4,75	2,36				5 000±10			
Masas totales/Massa totais (g)		5 000±10	5 000±10	5 000±10	5 000±10	10 000±100	10 000±75	10 000±50
Número de rotaciones del/ rotações do tambor		500	500	500	500	1 000	1 000	1 000

Fonte: ABNT, ABNT - NBR NM 51/2000, p. 5.

Após este procedimento a amostra é retirada do equipamento e peneirada na peneira com abertura de 1,70mm, em seguida a massa foi lavada e levada a estufa com temperatura constante de  $(107,5 \pm 2,5)$  °C, para proceder a secagem, sendo anotado o valor da massa final, após esta, ser resfriada a temperatura ambiente.

Com base no procedimento descrito acima é possível obter a porcentagem de perda por abrasão, pela equação 23.

$$P = \frac{m - m1}{m} * 100 \quad \text{Equação 23}$$

Onde:

**P** é a perda por abrasão, em porcentagem;

**m** é a massa da amostra seca, em gramas;

**m1** é a massa do material retido na peneira com abertura de malha de 1,7 mm, em gramas.

#### 4.3. CRIAÇÃO DO MOLDE EM RELAÇÃO AS DIMENSÕES DO BLOCO DE CONCRETO.

Para a determinação das dimensões dos blocos, observou-se os parâmetros constantes na ABNT - NBR 6136/2016, que prevê dentre outros critérios as dimensões mínimas dos blocos, bem como as espessuras de suas paredes longitudinais e transversais. A referida norma estabelece que os blocos de concreto para alvenaria possuem dimensões modulares conforme previsto na Tabela 10, para identificação das modulações, observa-se a linha, correspondente ao parâmetro largura, que apresenta a dimensão real do bloco, já no campo família, apresentam-se as dimensões nominais, considerando que o trabalho tem por objetivo desenvolver blocos de concreto para alvenaria estrutural, optou-se por criar os moldes nas modulações M - 10 e M - 15, em virtude de tais modulações serem comuns no mercado e de fácil obtenção.

Outro fator preponderante para a proposta de nova geometria dos blocos, dar-se-á em detrimento do consumo de material empregado para a fabricação do bloco, atendendo as determinações das ABNT - NBR's 5712 e 6136, conforme croqui apresentado na Figura 43 e Figura 44.

Assim a nova geometria proposta, apresenta um aumento no emprego de materiais para a execução dos blocos, possibilitando um maior consumo de RCC

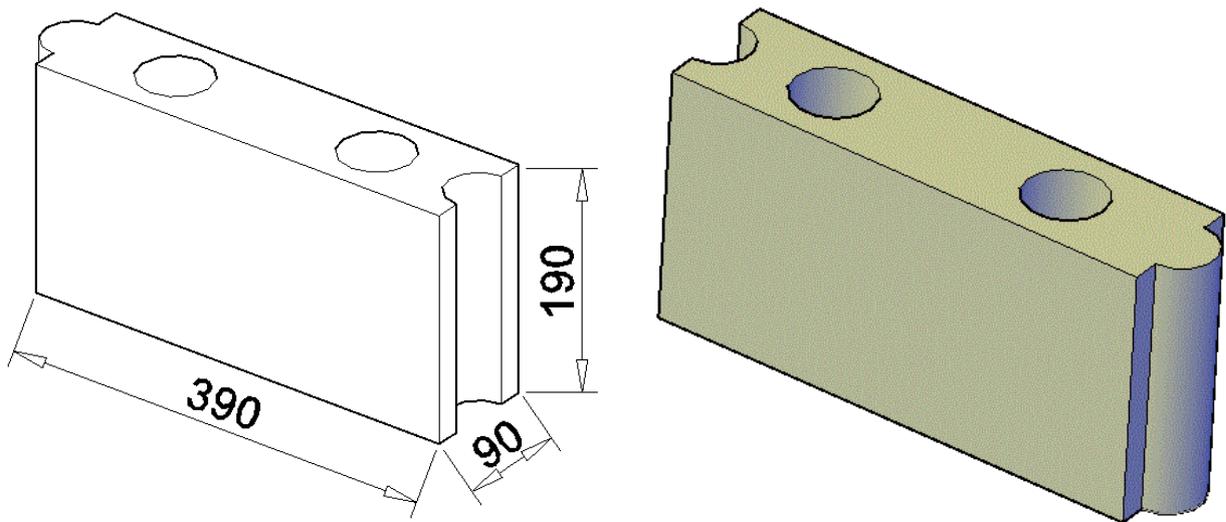
comparando a geometria definida na ABNT - NBR 6136 usualmente praticadas no mercado.

Tabela 10 - Dimensões padronizadas (mm)

Família		20 x 40	15 x 40	15 x 30	12,5 x 40	12,5 x 25	12,5 x 37,5	10 x 40	10 x 30	7,5 x 40	
Medida Nominal mm	Largura	190	140		115			90		65	
		Altura	190	190	190	190	190	190	190	190	190
	Comprimento	Inteiro	390	390	290	390	240	365	390	290	390
		Meio	190	190	140	190	115	-	190	140	190
		2/3	-	-	-	-	-	240	-	190	-
		1/3	-	-	-	-	-	115	-	90	-
		Amarração "L"	-	340	-	-	-	-	-	-	-
		Amarração "T"	-	540	440	-	365	-	-	290	-
		Compensador A	90	90	-	90	-	-	90	-	90
		Compensador B	40	40	-	40	-	-	40	-	40
		Canaleta inteira	390	390	290	390	240	365	390	290	-
		Meia canaleta	190	190	140	190	115	-	190	140	-
	NOTA 1 As tolerâncias permitidas nas dimensões dos blocos indicados nesta Tabela são de $\pm 2,0$ mm para a largura e $\pm 3,0$ mm para a altura e para o comprimento. NOTA 2 Os componentes das famílias de blocos de concreto têm sua modulação determinada de acordo com a ABNT NBR 15873. NOTA 3 As dimensões da canaleta J devem ser definidas mediante acordo entre fornecedor e comprador, em função do projeto.										

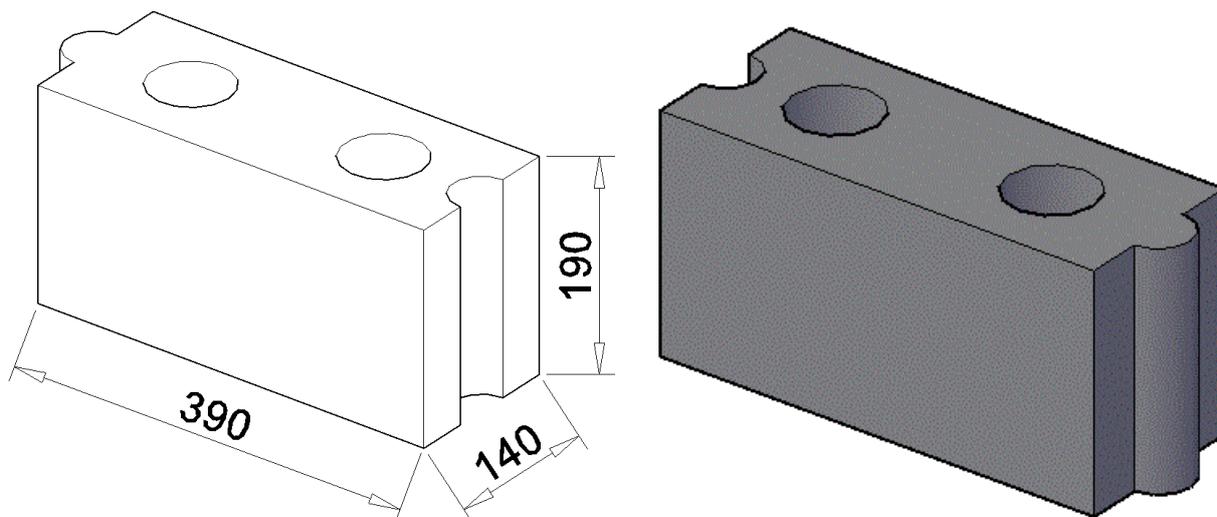
Fonte: ABNT, ABNT - NBR 6136/2016, p. 3.

Figura 43 - Bloco de concreto tridimensional na Modulação M-10



Fonte: AUTOR, 2019.

Figura 44 - Bloco de concreto tridimensional na Modulação M-15



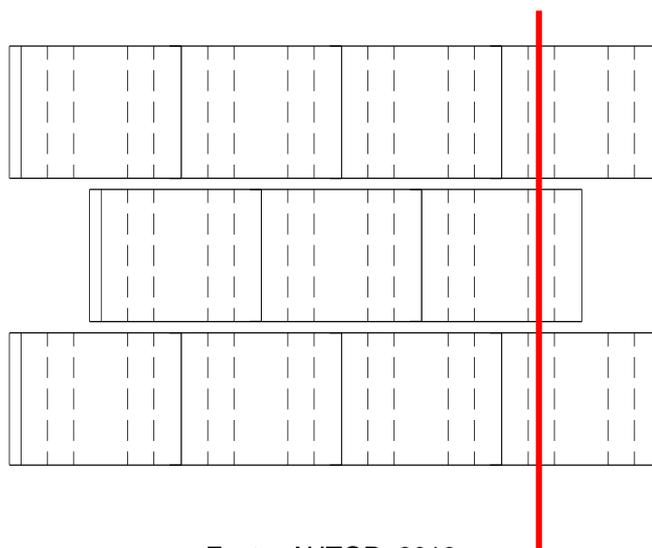
Fonte: AUTOR, 2019.

Os moldes foram fabricados em chapa metálica com espessura de 3mm para as paredes laterais e 3,5mm para a base, sendo que as seções vazadas foram obtidas por tubos de diâmetro de 78 mm, com paredes de 2,1 mm de espessura, os furos foram posicionados centralizados em relação a seção longitudinal do bloco, e em relação a seção transversal, foram dispostos deste modo para que houvesse coincidência dos eixos, mantendo a mesma relação das paredes transversais, conforme podemos ver na Figura 45, Figura 46 e Figura 47. A coincidência das seções vazadas dos blocos, é uma característica de blocos estruturais, pois assim permitem a passagens de instalações elétricas e hidráulicas, além de permitir pontos de grauteamento para travamento do conjunto, quando da edificação de paredes de alvenaria.

Para ilustrar a concepção dos moldes, a Figura 48, representa o molde M - 10, com dimensões de 100x190x390, expressas em milímetros, sendo respectivamente a largura, altura e comprimento. Já a Figura 49 representa o molde M - 15, com dimensões de 150x190x390.

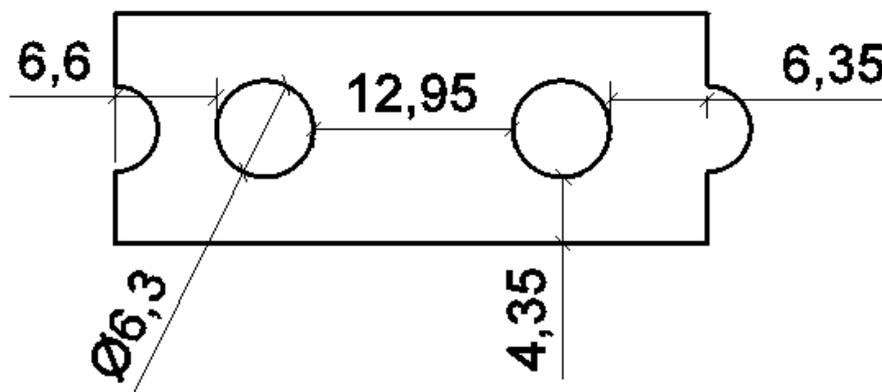
A Figura 50, Figura 51 e Figura 52, ilustram as etapas de fabricação dos moldes.

Figura 45 – Demonstração da coincidência dos eixos das seções vazadas para elevação de alvenarias



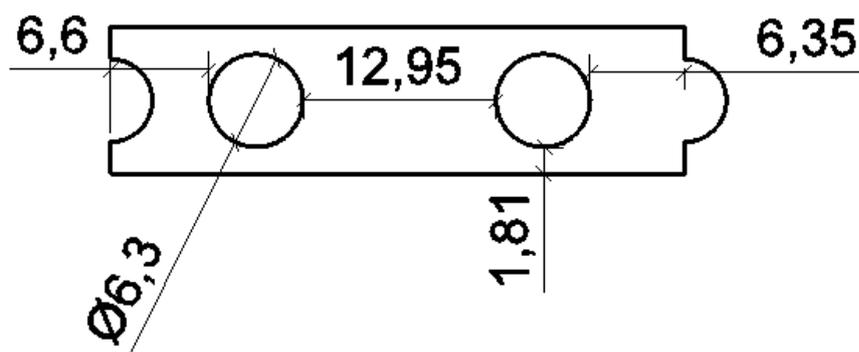
Fonte: AUTOR, 2019.

Figura 46 – Dimensões das paredes longitudinais e transversais (medidas em centímetros) para o bloco com modulação de 15, M – 15.



Fonte: AUTOR, 2019.

Figura 47 – Dimensões das paredes longitudinais e transversais (medidas em centímetros) para o bloco com modulação de 10, M – 10.



Fonte: AUTOR, 2019.

Figura 48 – Molde metálico para fabricação bloco de concreto na modulação M - 10



Fonte: AUTOR, 2019.

Figura 49 – Molde metálico para fabricação bloco de concreto na modulação M - 15



Fonte: AUTOR, 2019.

Figura 50 – Etapa de corte das chapas metálicas para fabricação dos moldes metálicos



Fonte: AUTOR, 2019.

Figura 51 – Etapa de corte dos tubos para produção dos moldes metálicos



Fonte: AUTOR, 2019.

Figura 52 – Etapa de dobra das chapas metálicas para fabricação dos moldes metálicos



Fonte: AUTOR, 2019.

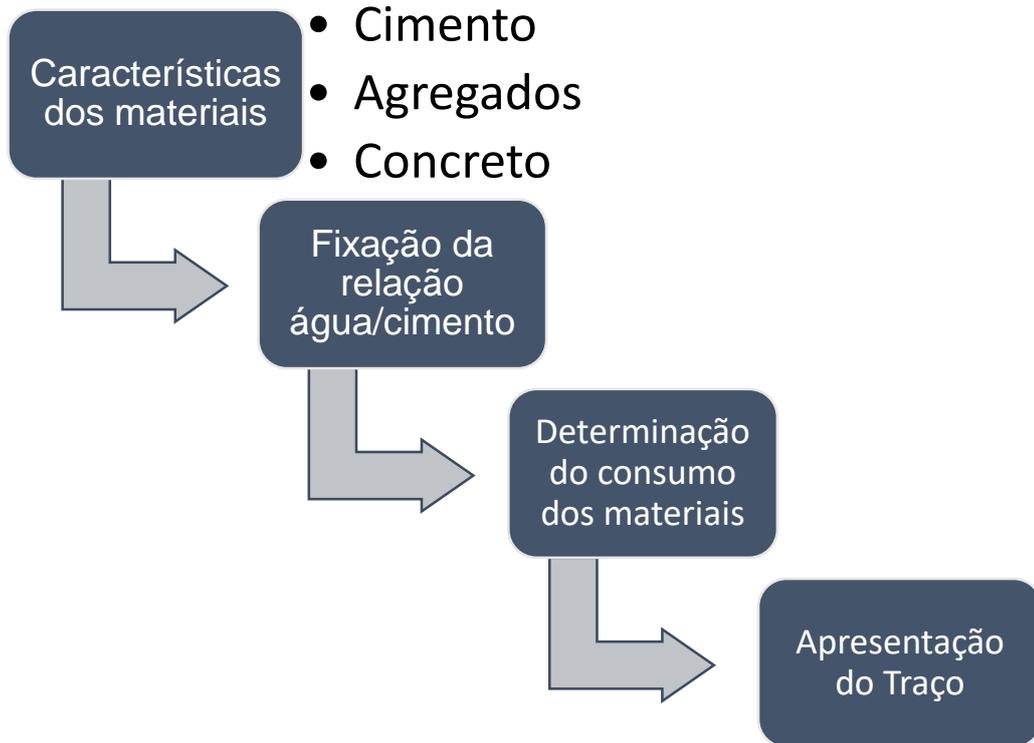
#### 4.4. DEFINIR O TRAÇO DO CONCRETO PARA A OBTENÇÃO DE RESISTÊNCIA PARA FINS ESTRUTURAIS SEGUNDO ABNT - NBR 6136/2016

O desenvolvimento do presente trabalho, se deu pela escolha e aplicação do método de dosagem experimental proposto pela ABCP, sendo que para a utilização do método, deve-se observar a Figura 53, os desenvolvimentos das etapas elucidados nela permitiram a obtenção dos dados necessários para a definição do traço.

As características dos agregados foram definidas no item 4.2, já às características do cimento foram obtidas junto ao fabricante do cimento escolhido para a execução do concreto. O concreto escolhido foi o CPV – ARI, produzido pela Lafarge Holcim, com características conforme demonstrado na Tabela 11, os dados dos ensaios para determinação das características do cimento constam no Anexo II.

A determinação da resistência característica a compressão ( $F_{bk}$ ) a ser alcançadas pelos blocos, depende entre outros fatores do modo de execução empregado, uma vez que, este podem ser em massa ou em volume, como há um número de incertezas para tais determinações, a resistência de projeto ( $f_{cj}$ ) será obtida pela aplicação da equação 24.

Figura 53 – Fluxograma de aplicação do método da ABCP



Autor, 2019.

Tabela 11 - Características físicas do Cimento Ultra Rápido (CPV ARI) da Holcim, ensaio no período de junho a julho de 2017.

Tipo de Ensaio	Caractrísticas	
Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	4799	
Início de pega (min)	131	
Fim de pega (min)	181	
Resistencia a Compressão (Mpa)	1 dia	29,0
	3 dias	41,5
	7 dias	46,8
	28 dias	54,4

Fonte: Holcim Brasil S/A, 2017

$$F_{cj28} = f_{ck} + 1,65 * sd \quad \text{Equação 24.}$$

Onde:

**f<sub>cj28</sub>** é a resistência média desejada aos 28 dias, em MPa;

**f<sub>ck</sub>** é a resistência característica de projeto, em MPa;

**sd** é o desvio padrão definido pelo método, em MPa.

O desvio padrão é estabelecido conforme o controle de execução do concreto, produzido na obra, ou em central, o valor do desvio padrão segundo a ABNT - NBR 12.655/2015 está descrito na Tabela 12.

Para a aplicação do método proposto, alguns requisitos são necessários conforme segue:

- **Resistencia do cimento aos 28 dias:** A resistência do cimento é informada pelo fabricante do cimento, sendo expressa em Mega Pascal.
- **Diâmetro máximo do agregado Graúdo:** O diâmetro máximo do agregado graúdo (brita), será estabelecido conforme ABNT - NBR 7211/2005, já descritos no item 4.2.1.

Tabela 12 - Quantidade mínima de amostra para ensaio

Classe	Tipo de controle	Resistencia (Mpa)	Desvio padrão (Mpa)
A	O cimento e os agregados são medidos em massa, a água de amassamento é medida em massa ou volume com dispositivo dosador e corrigida em função da umidade dos agregados;	Todas as classes de concreto	4,0
B	O cimento é medido em massa, a água de amassamento é medida em volume mediante dispositivo dosador e os agregados medidos em massa combinada com volume	C10 a C20	5,5
C	O cimento é medido em massa, os agregados são medidos em volume, a água de amassamento é medida em volume e a sua quantidade é corrigida em função da estimativa da umidade dos agregados da determinação da consistência do concreto	C10 e C15	7,0

Fonte: ABNT, ABNT - NBR 6136/2016, p. 17.

- **Modulo de finura do agregado (Mf):** O modulo de finura dos agregados será obtido pela soma das porcentagens retidas acumuladas em massa de um agregado, nas peneiras da série normal, dividida por 100, podendo ser obtido de equação 25.

$$\sum \left( \% \frac{retac}{100} \right)$$

Equação 25

Onde:

**retac** é a porcentagem retida, acumulada nas peneiras da série normal.

- **Massa unitária compactada do agregado graúdo:** Os valores da massa compactada do agregado graúdo foram obtidos conforme descrito no item 4.2.3.
- **Massa específica do agregado miúdo:** O valor da massa específica real do agregado miúdo será obtido conforme descrito no item 4.2.2.1.
- **Massa específica do agregado graúdo:** O valor da massa específica real do agregado graúdo será obtido conforme descrito no item 4.2.2.2
- **Abatimento do tronco de cone "Slump Test":** Será adotado para o desenvolvimento do traço um abatimento de  $90 \pm 10$  mm, conforme descrito no item 4.4.1.
- **Massa específica do cimento:** O valor da massa específica do cimento é informado pelo fabricante, sendo este,  $3.100 \text{ kg/m}^3$ .

Com os dados acima, é possível definir outros parâmetros que para a proporção dos materiais, ou seja, o traço do concreto.

- **Relação Água cimento:** Para o método descrito pela ABCP, o valor da relação água cimento pode ser obtido pelo ábaco da curva de Abrams, Figura 54, apresentado por RODRIGUES (1998), quando se conhece a resistência de projeto ( $f_{cj}$ ), e o tipo de cimento, entretanto as resistências dos blocos de concreto, Tabela 20, quando comparadas a concretos estruturais são relativamente mais baixas, assim considerando que a ABNT - NBR 6118/2014, traz valores para a relação água cimento, pré-definidos em decorrência da classe de agressividade ao qual o concreto estará submetido, estes valores estão contido na Tabela 13, neste caso, para os blocos de concreto em estudo adotou-se a classe de agressividade II, conforme Tabela 15, da referida norma. HELENE & TERZIAN (1993) em seus estudos determinaram valores de relação água cimento também em virtude das condições de exposição do concreto, Tabela 14. Pode se verificar que os valores da norma e os propostos por Helene & Terzian são muito similares, assim a determinação da relação água cimento para o desenvolvimento do traço do projeto, foi determinada pela curva de Abrams, adotando-se  $a/c = 0,73$ , com base neste parâmetro, usando o ábaco proposto, foi possível determinar as resistências teóricas.

Tabela 13 - Correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV <sup>c</sup>
		Cobrimento nominal mm			
Concreto armado	Laje <sup>b</sup>	20	25	35	45
	Viga/pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo <sup>d</sup>	30		40	50
Concreto protendido <sup>a</sup>	Laje	25	30	40	50
	Viga/pilar	30	35	45	55

<sup>a</sup> Cobrimento nominal da bainha ou dos fios, cabos e cordoalhas. O cobrimento da armadura passiva deve respeitar os cobrimentos para concreto armado.

<sup>b</sup> Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento, como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros, as exigências desta Tabela podem ser substituídas pelas de 7.4.7.5, respeitado um cobrimento nominal  $\geq 15$  mm.

<sup>c</sup> Nas superfícies expostas a ambientes agressivos, como reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, devem ser atendidos os cobrimentos da classe de agressividade IV.

<sup>d</sup> No trecho dos pilares em contato com o solo junto aos elementos de fundação, a armadura deve ter cobrimento nominal  $\geq 45$  mm.

Fonte: ABNT, ABNT - NBR 6118/2014, p. 18.

Tabela 14 - Valores da relação água/cimento (a/c) em função das condições de durabilidade do concreto

Condições de Exposição do Concreto	Valores mínimos para a relação água/cimento (Kg/Kg)
- Peças protegidas e sem risco de condensação de umidade	$a/c \leq 0,65$
- Peças expostas à intempéries, em atmosfera urbana ou rural	$a/c \leq 0,55$
- Peças expostas à intempéries, em atmosfera industrial ou marinha	$a/c \leq 0,48$

Fonte: HELENE & TERZIAN (1993)

Figura 54 - Gráfico para a determinação da relação água/cimento (a/c) em função das resistências do concreto e do cimento aos 28 dias de idade

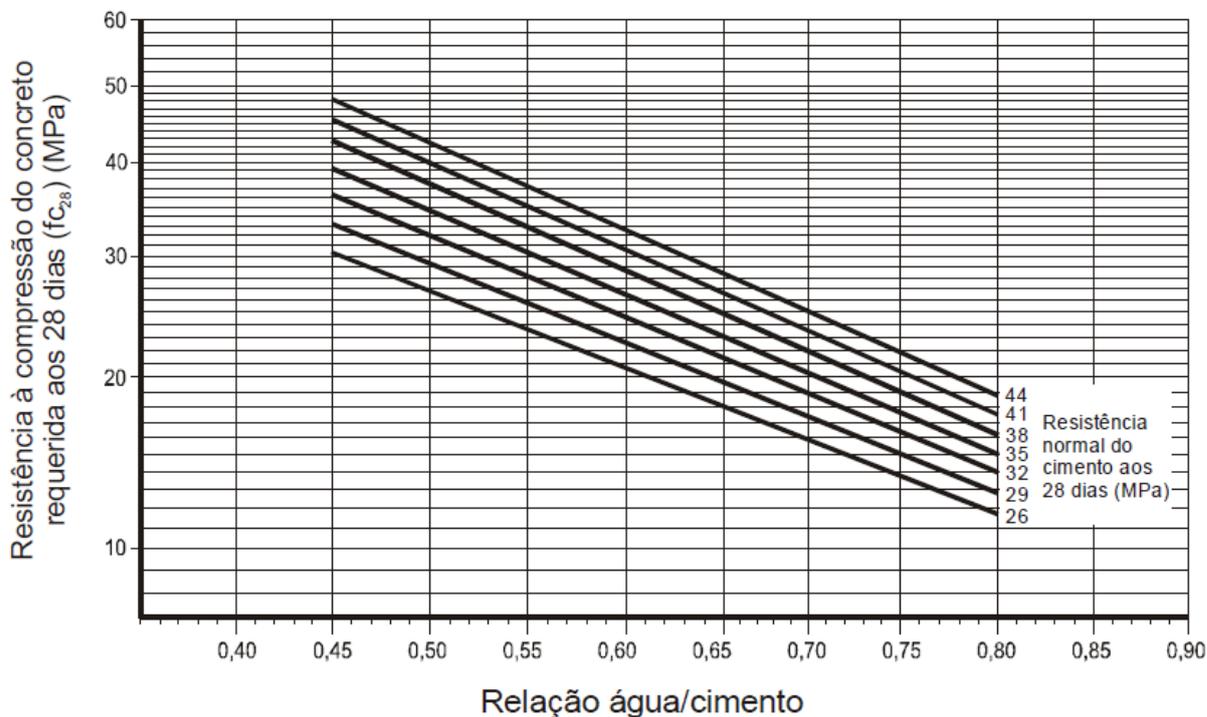


Tabela 15 - Classe de agressividade atmosférica para concretos

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana <sup>a, b</sup>	Pequeno
III	Forte	Marinha <sup>a</sup>	Grande
		Industrial <sup>a, b</sup>	
IV	Muito forte	Industrial <sup>a, c</sup>	Elevado
		Respingos de maré	

<sup>a</sup> Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

<sup>b</sup> Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade média relativa do ar menor ou igual a 65 %, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove.

<sup>c</sup> Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Fonte: ABNT, ABNT - NBR 6118/2014, p. 17.

• **Consumo de água:** O consumo aproximado de água é obtido conforme a Tabela 16, onde se faz necessário conhecer o diâmetro máximo do agregado graúdo, descrito em 4.2.1 e o abatimento do concreto, descrito em 4.4.1.

Caso seja necessária a correção de água para garantir o abatimento proposto, a relação água cimento deve ser mantida.

Tabela 16 - Estimativa do consumo de água por metro cúbico de concreto em função do Diâmetro Máximo Característico do Agregado e do abatimento da mistura.

Consumo de água aproximada (l/m³)					
Abatimento (mm)	D <sub>máx</sub> agregado graúdo (mm)				
	9,5	19,0	25,0	32,0	38,0
40 a 60	220	195	190	185	180
60 a 80	225	200	195	190	185
80 a 100	230	205	200	195	190

Fonte: RODRIGUES (1998)

• **Consumo de cimento:**

Conhecendo os valores do consumo de água e a relação água cimento, através da equação 26, determinou-se o consumo de cimento.

$$C_c = \frac{C_a}{a/c} \quad \text{Equação 26}$$

Onde:

**C<sub>c</sub>** é o consumo de cimento, em Quilograma por metro cúbico;

**C<sub>a</sub>** e o consumo de água, em litros por metro cúbico;

**a/c** é a relação água cimento.

• **Consumo do agregado graúdo (C<sub>b</sub>):** Considerando que o método da ABCP, considera que a proporção dos materiais, em decorrência do menor volume de vazios entre os grãos, o proporcionamento está pautado na relação agregado graúdo /agregado miúdo, buscando um teor ótimo na mistura e para tal o princípio para a definição dos agregados, considera o máximo volume de agregado compactado seco, por metro cúbico de concreto. O consumo de agregado graúdo (C<sub>b</sub>) será determinado conforme equação 27.

$$Cb = Vb * \mu_{comp}$$

Equação 27

Onde:

**Cb** é o consumo de agregado graúdo (brita), em Quilograma por metro cúbico;

**Vb** é o volume de brita, por metro cúbico;

**$\mu_{comp}$**  é a massa unitária compactada do agregado graúdo, em Quilograma.

Para determinação do volume de brita (Vb), deverá ser consultada a Tabela 17, apresentada abaixo. Os valores de volume constantes na Tabela foram obtidos experimentalmente pela ABCP, para agregados graúdos compactados a seco, por metro cúbico de concreto, correlacionando o diâmetro máximo característico do agregado graúdo e o Modulo de Finura do agregado miúdo.

Tabela 17 - Volume compactado seco de agregado graúdo por metro cúbico de Concreto

MF da areia	Dimensão máxima (mm)				
	9,5	19,0	25,0	32,0	38,0
1,8	0,645	0,770	0,795	0,820	0,845
2,0	0,625	0,750	0,775	0,800	0,825
2,2	0,605	0,730	0,755	0,780	0,805
2,4	0,585	0,710	0,735	0,760	0,785
2,6	0,565	0,690	0,715	0,740	0,765
2,8	0,545	0,670	0,695	0,720	0,745
3,0	0,525	0,650	0,675	0,700	0,725
3,2	0,505	0,630	0,655	0,680	0,705
3,4	0,485	0,610	0,635	0,660	0,685
3,6	0,465	0,590	0,615	0,640	0,665

Fonte: RODRIGUES (1998)

• **Consumo do agregado miúdo (Cm):** Considerando os requisitos do método para obtenção de mistura com menor vazios entre os grãos, a determinação do agregado miúdo dar-se-á pelos demais materiais, assim o consumo de agregado miúdo será determinado conforme equações 28 e 29.

$$C_m = 1 - \left( \frac{C_c}{\gamma_{\text{cimento}}} + \frac{C_b}{\gamma_{\text{brita}}} + \frac{C_a}{\gamma_{\text{água}}} \right) \quad \text{Equação 28}$$

Onde:

**V<sub>m</sub>** é o volume de agregado miúdo (areia), em metro cúbico;

**C<sub>c</sub>** é o consumo de cimento, em Quilograma por metro cúbico;

**C<sub>b</sub>** é o consumo de agregado graúdo (brita), em Quilograma por metro cúbico;

**C<sub>a</sub>** é o consumo de água, em litros por metro cúbico;

**γ<sub>cimento</sub>** é o peso específico do cimento, em Quilograma;

**γ<sub>brita</sub>** é o peso específico do agregado graúdo (brita), em Quilograma;

**γ<sub>água</sub>** é o peso específico da água, em Quilograma.

$$C_m = V_m * \gamma_{\text{areia}} \quad \text{Equação 29}$$

Onde:

**C<sub>m</sub>** é o consumo de agregado miúdo (areia), em Quilograma por metro cúbico;

**V<sub>m</sub>** é o volume de agregado miúdo (areia), em metro cúbico;

**γ<sub>areia</sub>** é o peso específico da areia, em Quilograma;

• **Apresentação do Traço:** Com base nos parâmetros determinados nos itens anteriores, é possível estabelecer e apresentar a proporção dos materiais para a composição do concreto, e para melhor representar tal proporção, a mesma será apresentada de forma unitária para o cimento, ou seja, uma parte de cimento, para as demais partes dos outros componentes. Para obtenção do traço unitário será utilizada a equação 30, apresentada a seguir.

$$\frac{C_c}{C_c} : \frac{C_m}{C_c} : \frac{C_b}{C_c} : \frac{C_a}{C_c} \quad \text{Equação 30}$$

Onde:

**C<sub>c</sub>** é o consumo de cimento, em Quilograma por metro cúbico;

**C<sub>m</sub>** é o consumo de agregado miúdo (areia), em Quilograma por metro cúbico;

**C<sub>b</sub>** é o consumo de agregado graúdo (brita), em Quilograma por metro cúbico;

**C<sub>a</sub>** e o consumo de água, em litros por metro cúbico.

#### 4.5 AVALIAR A RESISTENCIA DOS BLOCOS DE CONCRETO AOS 21 DIAS DE IDADE

Para a avaliação das características dos blocos, pode-se dividir o trabalho em duas fases, onde a primeira descreve as características dos agregados e suas propriedades, e a segunda, onde se apresenta as características do concreto desenvolvido para a produção dos blocos.

Entretanto para compreender os aspectos que influenciam no resultado final do bloco, faz-se necessário a avaliação do concreto em dois estados, o primeiro, denominado de estado fresco e o segundo estado endurecido, onde foi analisado as propriedades constantes nos Quadros 07 e 08.

Quadro 7 - Propriedades do concreto no estado fresco

<b>Estado Fresco</b>
Abatimento do tronco de cone
Consumo de cimento real

Fonte: Autor, 2019.

Quadro 8 - Propriedades do concreto no estado endurecido

<b>Estado Endurecido</b>
Absorção de água
Resistencia característica a compressão

Fonte: Autor, 2019.

##### 4.5.1. Abatimento do tronco de cone

Para desenvolvimento deste trabalho considerando os valores apresentados por outros autores, no qual remete a uma variação de 60mm a 120mm, em que todos os

autores evidenciaram que o abatimento encontrado para concretos com 100% de agregados reciclados é menor, e isso ocorre pelo fato de que estes agregados continuam absorvendo água, foi escolhido o abatimento de  $80\pm 10\text{mm}$ , adotando-se o proposto por Buttler (2003), de variar a relação a/c, para manter similares os valores do abatimento.

Para determinação do abatimento do tronco de cone, foram observados os parâmetros constantes na ABNT - NBR NM 67/ 1998, sendo que o cone foi preenchido em 3 camadas, com quantidade corresponde a 1/3 do volume total, procedendo 25 golpes com a haste de compactação em cada camada para garantir um adensamento satisfatório. Ao final, realizou-se o nivelamento da mistura, pelas bordas do cone, conforme demonstrado na Figura 55. Após essa etapa, realizou-se a remoção do cone, posicionando-o lateralmente a mistura e com o auxílio de uma trena, realizou-se a medição do abatimento, Figura 56.

#### 4.5.2. Consumo de cimento real

O consumo de cimento real foi medido em decorrência da correção da relação a/c, uma vez que essa correção apresentaria novos valores daqueles apresentados no item 3.3.

Figura 55 – Cone de abatimento com a superfície nivelada



Fonte: AUTOR, 2019.

Figura 56 – Verificação do abatimento de cone



Fonte: AUTOR, 2019.

#### 4.5.3. Resistência característica a compressão dos blocos

Para Determinação da resistência característica a compressão 6136/2016 e 12118/2013. A ABNT - NBR 6136, fixa a quantidade mínima de amostras para ensaio, demonstrada na Tabela 18, sendo que para o desenvolvimento deste trabalho, adotou-se conforme a norma, seis amostras para realização do ensaio de compressão axial dos blocos, considerando as informações e características do cimento utilizado no trabalho, experimentalmente os blocos de concreto foram ensaiados quanto a compressão simples aos 21 dias de idade. Entretanto para garantir a confiabilidade dos resultados, foram concretados corpos de prova cilíndricos atendendo os parâmetros da ABNT – NBR 5738/2016 Procedimento par moldagem e cura de corpos de prova, que foram rompidos com 03, 06, 09, 12, 15, 18, 21, 24 e 28 dias de idade, estabelecendo o ganho de resistência a compressão simples ao longo do período previsto para cura do concreto, a Figura 59 demonstra alguns corpos de prova, aguardando para serem rompidos. A Figura 60 evidencia a câmara de cura úmida construída como alternativa barata para garantir o teor de umidade de 95%,

considerando que o cimento é um aglomerante hidráulico, ou seja, que reage em contato com a água. Para garantir que os corpos de prova fossem molhados regularmente, foi montado um sistema de aspersão com bicos de irrigação, conforme Figura 61, que a cada 6 horas dispndia água por 10 minutos por ação de uma válvula solenoide instalada na saída de uma torneira, ligada a rede de água potável do laboratório de Engenharia civil.

A câmara de cura úmida foi posicionada ao abrigo do sol, e recebeu uma lona azul e por cima desta uma lona de plástico preta, com o objetivo de impedir a perda subida de água por evaporação.

Considerando que as avaliações de resistência exigem equipamentos de alto custo, não disponíveis no laboratório de engenharia civil, e que devem atender aos preceitos da ABNT - NBR 7500-1/2016, estes ensaios foram realizados no laboratório de controle de concreto da empresa Betontix, na cidade de Ribeirão Preto, contudo houve o acompanhamento dos testes e validação dos resultados. A seguir descreve-se os procedimentos realizados.

Os testes foram realizados considerando que os corpos de prova terão sua superfície regularizadas por retifica, segundo a ABNT - NBR 12118 a superfície retificada dever apresentar-se plana e uniforme, não sendo permitida quebra das bordas. O processo de retifica deve ocorrer por via úmida. As Figuras 57 e 58, ilustram os corpos de prova retificados. Após o processo de retifica, os corpos de prova foram mantidos em ambiente de laboratório por 72h, transcorrido este tempo, foram submetidos ao ensaio de compressão.

Os valores da resistência característica à compressão ( $f_{bk,est}$ ) foi estimado a partir da aplicação da equação 31. Esta equação é empregada quando não se conhece o desvio-padrão de fábrica.

$$f_{bk, est} = 2 * \frac{fb(1)+fb(2)+\dots+fb(i-1)}{i-1} - f_{bi} \quad \text{Equação 31}$$

Onde:

- fbk,est** é a resistência estimada da amostra, em Mega Pascal;
- fb(1), fb(2) .., fbi são os valores de resistência a compressão individuais dos corpos de amostra, ordenados crescentemente;
- n** é a quantidade de amostras.

Não se deve tomar para  $F_{bk,est}$  valor menor que  $\psi_6 * f_{bk(1)}$ , os valores  $\psi_6$ , constam na Tabela 19.

Tabela 18 - Quantidade mínima de amostra para ensaio

Quantidade de blocos do lote	Quantidade de blocos da amostra		Quantidade mínima de blocos para ensaio dimensional e resistência à compressão axial		Quantidade de blocos para ensaios de absorção e área líquida
	Prova	Contraprova	Critério estabelecido em 6.5.1	Critério estabelecido em 6.5.2	
Até 5 000	7 ou 9	7 ou 9	6	4	3
5 001 a 10 000	8 ou 11	8 ou 11	8	5	3
Acima da 10 000	9 ou 13	9 ou 13	10	6	3

Fonte: ABNT, ABNT - NBR 6136/2016, p. 8.

Tabela 19 – Valores de  $\psi$  em função da quantidade de blocos

Quantidade de blocos	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	18
$\psi$	0,89	0,91	0,93	0,94	0,96	0,97	0,98	0,99	1,00	1,01	1,02	1,04

Fonte: ABNT, ABNT - NBR 6136/2016, p. 8.

A ABNT - NBR 6136/2016 estabelece que os Blocos são divididos em três classes, de acordo com sua utilização, podendo ser classes A o B, com função estrutural, sendo que os blocos de classe A podem ser empregados abaixo do nível do solo, e os de classe B não possuem tal indicação. Já os blocos de classe C são considerados com ou sem função estrutural, a Tabela 22 demonstra os valores de resistência para a referida classificação, entretanto a utilização de blocos com resistência menor do que 4 Mpa, fica condicionada à alguns critérios conforme segue:

- São considerados estruturais com largura de 90mm, para edificações de no máximo um pavimento;
- São considerados estruturais com largura de 115mm, para edificações de no máximo dois pavimentos;
- São considerados estruturais com larguras de 140mm e 190mm, para edificações de no máximo até cinco pavimentos;

Figura 57 – Corpo de prova retificado, bloco de concreto com modulação M-15



Fonte: AUTOR, 2019.

Figura 58 – Conjunto de amostras retificadas



Fonte: AUTOR, 2019.

Tabela 20 – Requisitos para resistência característica à compressão

Classificação	Classe	Resistencia característica à compressão axial (Mpa)
Com função estrutural	A	$f_{bk} \geq 8,0$
	B	$4,0 \leq f_{bk} \geq 8,0$
Com ou sem função estrutural	C	$f_{bk} \geq 3,0$

Fonte: ABNT, ABNT - NBR 6136/2016, p. 8.

Figura 59 – Câmara de cura úmida construída a partir de pallets de madeira para colocação dos corpos de prova



Fonte: AUTOR, 2019.

A Figura 62 e Figura 63 demonstram os procedimentos de rompimento dos corpos de prova cilíndricos para a determinação da curva de ganho de resistência e as Figuras 64 e 64, evidencia os procedimentos de rompimentos dos blocos M – 10 e M – 15, respectivamente.

Figura 60 – Câmara de cura úmida com cobertura em lona azul para garantir retenção da água de evaporação



Fonte: AUTOR, 2019.

Figura 61 – Sistema de aspersão da câmara de cura úmida em funcionamento



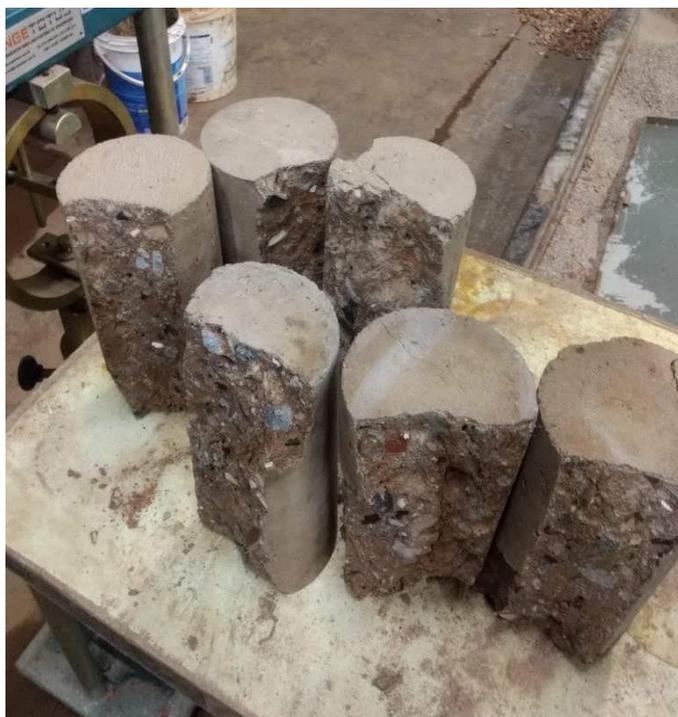
Fonte: AUTOR, 2019.

Figura 62 – Corpo de prova cilíndrico sendo rompido e prensa pneumática manual.



Fonte: AUTOR, 2019.

Figura 63 – Corpo de prova cilíndrico rompidos.



Fonte: AUTOR, 2019.

Figura 64 – Bloco de concreto amostra AGR2 na modulação M - 10 sendo rompido em prensa pneumática semiautomática.



Fonte: AUTOR, 2019.

Figura 65 – Bloco de concreto amostra AGR2 na modulação M - 10 sendo rompido em prensa pneumática semiautomática.



Fonte: AUTOR, 2019.

#### 4.5.2 Absorção de água e área líquida dos blocos

Para Determinação da absorção de água dos blocos foram observados os parâmetros constantes na ABNT - NBR 12118/2013, estes ensaios foram realizados no laboratório de controle de concreto da empresa Betontix, na cidade de Ribeirão Preto, contudo houve o acompanhamento dos testes e validação dos resultados. Para a realização dos ensaios foram necessárias três amostras dos blocos, previamente seca em estufa com temperatura constante de  $(105 \pm 5)$  °C, conforme Figura 66. Imediatamente após esse período as amostras foram retiradas da estufa e pesadas, sendo registrado o valor de sua massa, em seguida levou-se a amostra novamente para a estufa onde permaneceu por mais duas horas, esse procedimento foi repetido a cada duas horas até que a variação em duas determinações não excedesse 0,5 em relação a medida anterior, ao atender essa condição, registrou-se o valor correspondente a massa seca, Figura 67. O tempo de permanência da amostra para medição não pode exceder dez minutos.

Para a verificação da saturação, após o resfriamento natural das amostras, as mesmas foram submergidas em água pelo período de 24h. Transcorrido esse tempo as amostras foram colocadas em uma peneira para drenagem da água, sendo que a água superficial visível foi removida com o auxílio de um pano, logo após pesou-se as amostras, registrando sua massa saturada demonstrado pelas Figuras 68 e 69.

Figura 66 – Amostra do bloco de concreto na modulação M-15 em estufa para secagem.



Figura 67 – Pesagem das amostras do bloco de concreto na modulação M -10 após secagem em estufa



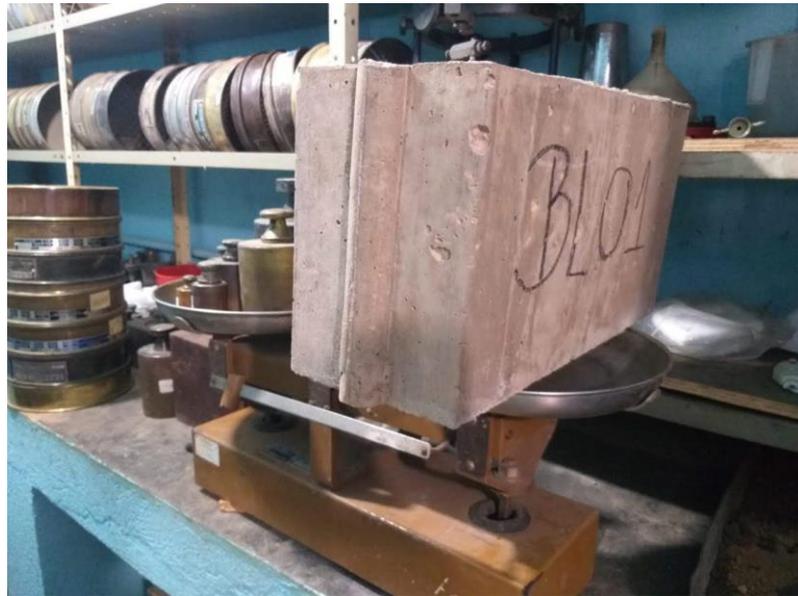
Fonte: AUTOR, 2019.

Figura 68 – Pesagem das amostras do bloco de concreto na modulação M-10 após submergi-la em água



Fonte: AUTOR, 2019.

Figura 69 – Pesagem das amostras do bloco de concreto na modulação M-15 após submergi-la em água



Fonte: AUTOR, 2019.

Com base no procedimento descrito anteriormente foi possível obter a absorção de água pela equação 32 e a área líquida pela equação 33.

$$a = \frac{m2 - m1}{m1} * 100 \quad \text{Equação 32}$$

Onde:

**a** é a absorção total, em porcentagem;

**m1** é a massa do corpo de prova seco em estufa, em gramas;

**m2** é a massa do corpo de prova saturado, em gramas;

$$Aliq = \frac{m2 - m3}{h * \gamma} * 1000 \quad \text{Equação 33}$$

Onde:

**Aliq** é a área líquida, em milímetros quadrados;

**m2** é a massa do corpo de prova saturado, em gramas;

**m3** é a massa do corpo de prova, em gramas;

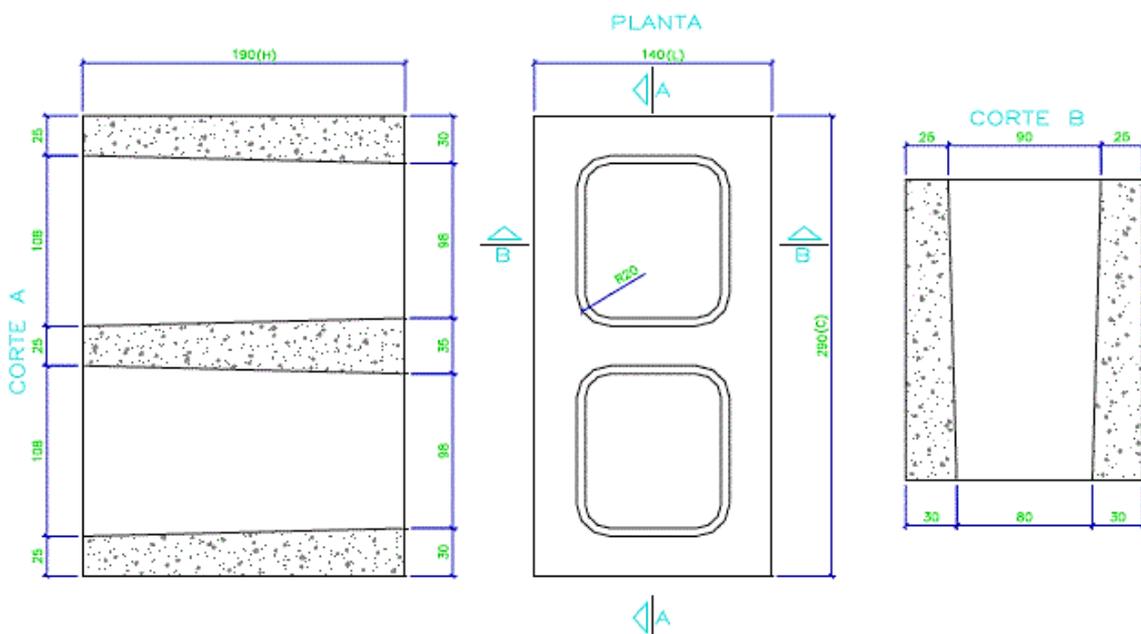
**h** é a altura média do corpo de prova, em milímetros;

$\gamma$  é a massa específica da água utilizada no ensaio, em gramas por centímetro cúbico.

#### 4.6 COMPARAR O CONSUMO EM VOLUME DE RCC EM RELAÇÃO AOS CONVENCIONAIS

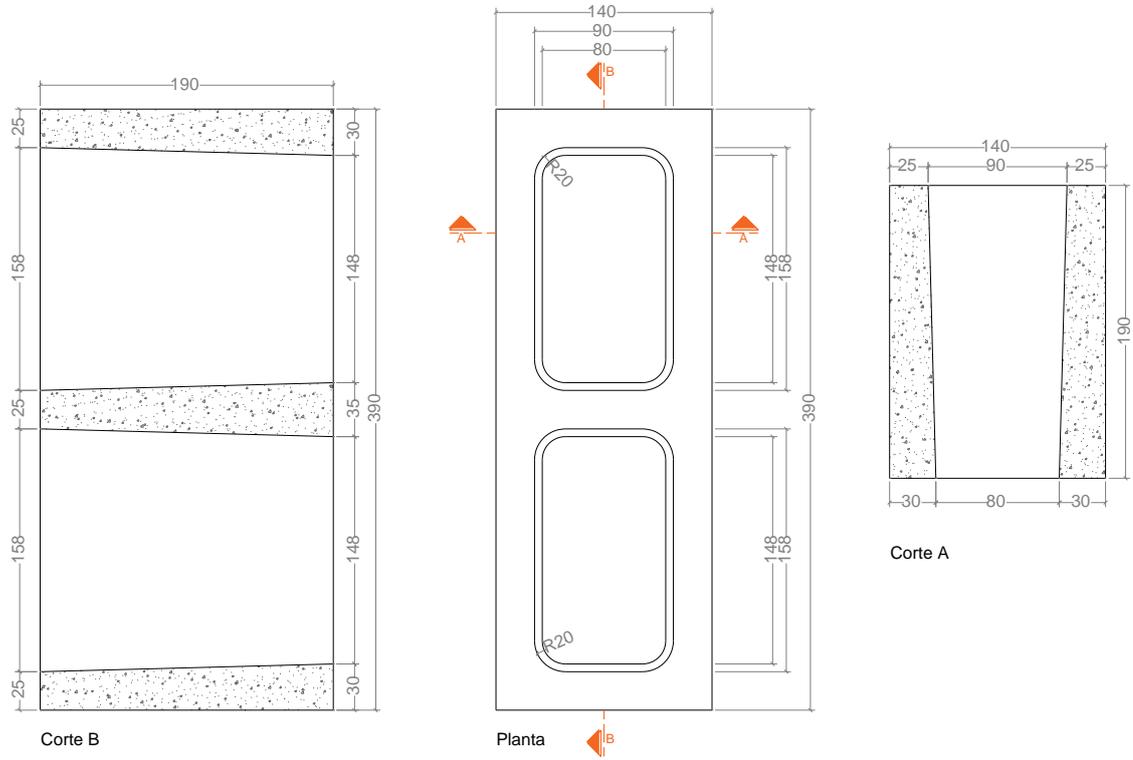
Para a comparação dos volumes foi verificada as dimensões da nova geometria proposta apresentadas anteriormente nas Figuras 46 e 47, para os blocos de concreto produzidos com RCC, determinando o volume total, considerando que o traço escolhido para desenvolvimento dos blocos é de 1:7 e que o cimento não ocupa espaço significativo em termos de volume, pois o mesmo se une aos agregados, sendo este então responsável pela união dos agregados, considerou-se que o volume total do bloco é igual ao volume de agregados reciclados, e mesma lógica foi atribuída para a determinação do volume de materiais para confecção dos blocos de concreto convencionais, sendo que as dimensões utilizadas para definição do volume estão apresentadas na Figura 70, os valores foram extraídos do trabalho de Buttler (2007), contudo considerando que o autor utilizou-se do comprimento de 290 mm, adotou-se suas referências quanto as paredes longitudinais e transversais, mas com um novo comprimento, conforme demonstrado na Figura 71.

Figura 70 – Croqui do bloco estrutural (14cm x 29cm)



Fonte: BUTTLER (2007), p 234.

Figura 71 – Croqui do bloco estrutural (14cm x 39cm)



Fonte: Adaptado de BUTTLER (2007), p 234.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme apresentado na metodologia, a pesquisa desenvolveu-se em seis partes, contudo os resultados estão apresentados em quatro partes, pois a etapa de obtenção dos agregados de RCC e natural, foram descritas no item 4.1, e a etapa de criação dos moldes foram descritas no item 4.3, não apresentam resultados para discussão, assim a análise e discussão dos resultados discorre a seguir.

### 5.1. CARACTERIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES DOS AGREGADOS MIÚDOS E GRAÚDOS PARA A DOSAGEM DO CONCRETO.

É importante ressaltar que os agregados foram analisados conforme foram obtidos nas usinas de processamento de RCC, sem que houvesse qualquer manipulação ou processamento no sentido de melhorar suas características, mesmo que os resultados demonstrem que há necessidade para tal, para um melhor desempenho do bloco executado. Esta escolha se fez exatamente pela busca de aproveitar os resíduos assim como assim gerados e processados, sem dispêndio de energia para que o aproveitamento acontecesse.

#### 5.1.1. Distribuição granulométrica do agregado miúdo.

A Tabela 21 apresenta os resultados da distribuição granulométrica dos agregados miúdos, constando as porcentagens retidas individuais e acumuladas, bem como o módulo de finura e o diâmetro máximo característico do agregado miúdo reciclado e natural, denominados AMR1, AMR2 e AMN, respectivamente.

Da mesma forma que Neville (1997), Leite (2001) e Tenório (2007), o material retido no fundo para os agregados reciclados, são duas vezes maiores do que no agregado naturais, para Leite (1999), isso pode causar a diminuição da resistência ao desgaste por abrasão, pois uma maior quantidade de materiais finos implica em uma maior superfície específica, aumentando o consumo de água para lubrificar a mistura. Já Neville (1997) afirma que esse material permite misturas mais coesivas e trabalháveis o que para a aplicação do concreto, são características importantes.

A Figura 72, Figura 73 e Figura 74 demonstram distribuição granulométricas dos agregados das amostras AMR1, AMR2 e AMN respectivamente, evidenciando que os

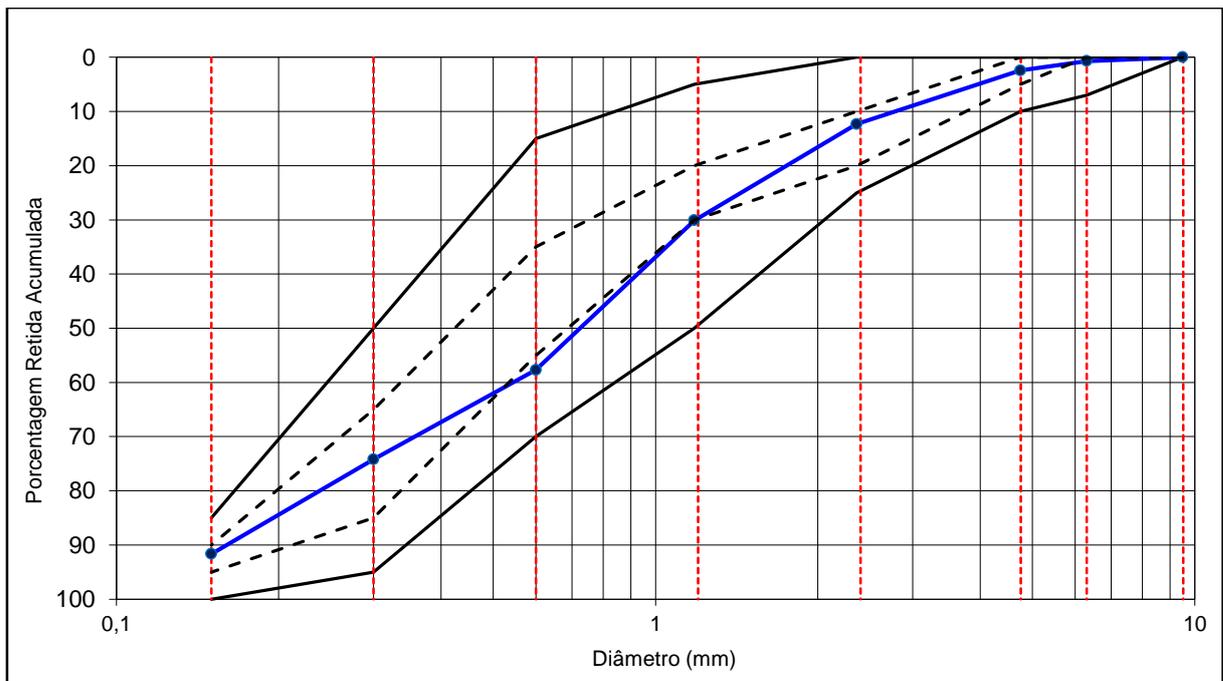
mesmos estão dentro das faixas limites, propostas pela ABNT - NBR 7211/2005, podendo ser usados para a fabricação de concretos. A faixa limite é representada pelas linhas pretas contínuas, já as linhas seccionadas representam as faixas ótimas, segundo referência da norma supracitada.

Tabela 21 - Distribuição granulométrica dos agregados miúdos

Peneira (mm)	AMR1		AMR2		AMN	
	% Retida	% Ret. Acum	% Retida	% Ret. Acum	% Retida	% Ret. Acum
9,5	0,0	0,0	1,2	1,2	0,5	0,5
6,3	0,7	0,7	3,5	4,7	2,1	2,5
4,75	1,7	2,4	3,3	8,0	2,5	5,1
2,36	9,9	12,3	10,3	18,3	8,8	13,8
1,18	17,8	30,1	14,6	32,9	18,2	32,0
0,6	27,6	57,7	19,5	52,4	27,3	59,3
0,3	16,5	74,2	16,3	68,6	16,2	75,5
0,015	17,5	91,7	20,7	89,3	19,8	95,2
Fundo	8,3	100,0	10,7	100,0	4,8	100,0
	Mód. Finura = 2,7		Mód. Finura = 2,7		Mód. Finura = 2,8	
	Diam. Agreg. 2,36mm		Diam. Agreg. 4,75mm		Diam. Agreg. 4,75mm	

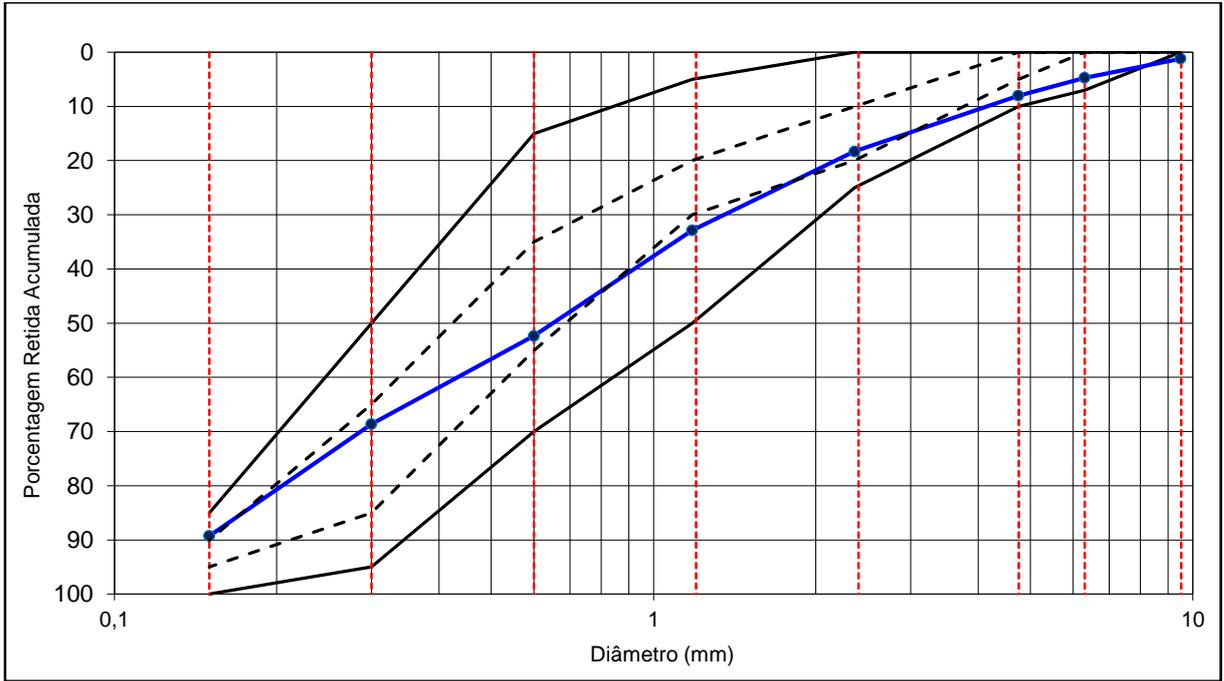
Fonte: Autor, 2019.

Figura 72 - Distribuição granulométrica AMR1



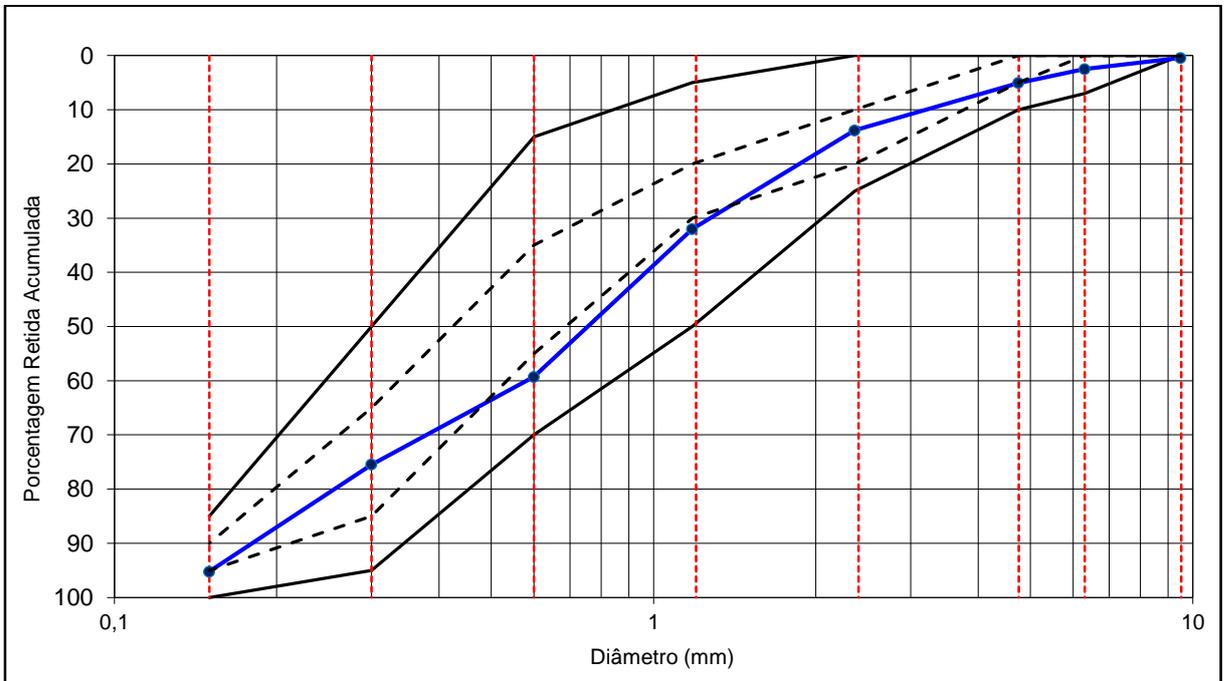
Fonte: Autor, 2019.

Figura 73 - Distribuição granulométrica AMR2



Fonte: Autor, 2019.

Figura 74 - Distribuição granulométrica AMN



Fonte: Autor, 2019.

Conforme prevê a ABNT - NBR 7211/2005, o módulo de finura, pode apresentar-se em três faixas, sendo elas:

- Módulo de finura da zona ótima, variando de 2,20 a 2,90;

- Módulo de finura da zona utilizável inferior, variando de 1,55 a 2,20;
- Módulo de finura da zona utilizável superior, variando de 2,90 a 3,50.

Assim os valores encontrados, apresentados na Tabela 22, demonstram que mesmo os agregados reciclados, encontram-se com MF, na zona ótima. Autores como Assunção (2002), Buttler (2003), Santos (2006) e Santos (2016), que desenvolveram pesquisas com agregados reciclados, todos optaram por usar como agregado miúdo, materiais naturais. Já Tenório (2007), utilizou agregados miúdos naturais e reciclados, obtendo valores similares aos encontrados neste estudo, conforme pode ser visto na Tabela 22.

Tabela 22 - Distribuição granulométrica dos agregados miúdos natural e reciclados

Abertura da peneira	% da massa (média)					
	Areia natural			Agregado miúdo reciclado		
	retida	acumulada		retida	acumulada	
9,5 mm	0	0	-	0	0	-
6,3 mm	1,0	-	1,0	0	-	0
4,75 mm	2,0	3,0	-	0	0	-
2,36 mm	6,0	9,0	-	20,2	20,2	-
1,18 mm	17,0	26,0	-	17,4	37,6	-
0,6 mm	31,0	57,0	-	19,1	56,7	-
0,3 mm	32,0	89,0	-	18,3	75,0	-
0,15 mm	9,0	98,0	-	13,3	88,3	-
0,075 mm	1,0	-	-	8,61	-	-
Fundo	2,0	-	100	11,7	-	100,0
total	100,0	282,0	-	100,0	277,8	-
$D_{m\acute{a}x}$ característico (mm)			Areia natural	4,75	Ag.	4,75
Módulo de finura				2,82	Miúdo	2,78
Zona granulométrica				utilizável	reciclado	Utilizável

Fonte: TENÓRIO (2007)

#### 5.1.2. Distribuição granulométrica do agregado graúdo.

A Tabela 23 apresenta os resultados da distribuição granulométrica dos agregados graúdos, constando as porcentagens retidas individuais e acumuladas, bem como o módulo de finura e o diâmetro máximo característico do agregado graúdo reciclado e natural, denominados AGR1, AGR2 e AGN, respectivamente.

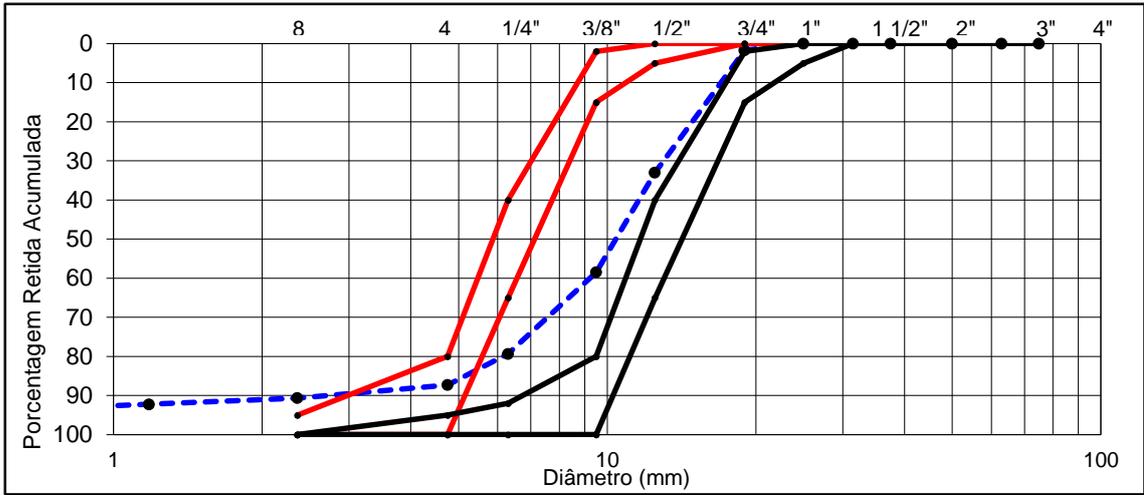
Tabela 23 - Distribuição granulométrica dos agregados graúdos

Peneira (mm)	AGR1		AMR2		AMN	
	% Retida	% Ret. Acum	% Retida	% Ret. Acum	% Retida	% Ret. Acum
19,0	34,3	1,7	130,8	3,7	0,00	0,0
12,5	625,0	33,0	811,6	30,0	590,90	29,6
9,5	510,0	58,50	794,4	53,75	758,81	67,6
6,3	416,9	79,35	441,0	66,16	597,99	97,5
4,75	159,1	87,32	173,2	70,74	39,65	99,5
2,36	66,9	90,66	212,9	76,40	3,56	99,7
1,18	31,4	92,24	136,3	79,82	0,58	99,7
0,6	31,4	93,81	202,4	84,56	0,53	99,7
0,3	25,5	95,08	145,8	88,12	0,54	99,7
0,015	47,0	97,43	254,5	94,45	1,49	99,8
Fundo	51,3	100,00	208,9	100,00	3,55	100,0
	Mód. Finura = 6,2		Mód. Finura = 5,5		Mód. Finura = 6,6	
	Diam. Agreg. 12,5mm		Diam. Agreg. 12,5mm		Diam. Agreg. 12,5mm	

Fonte: Autor, 2019.

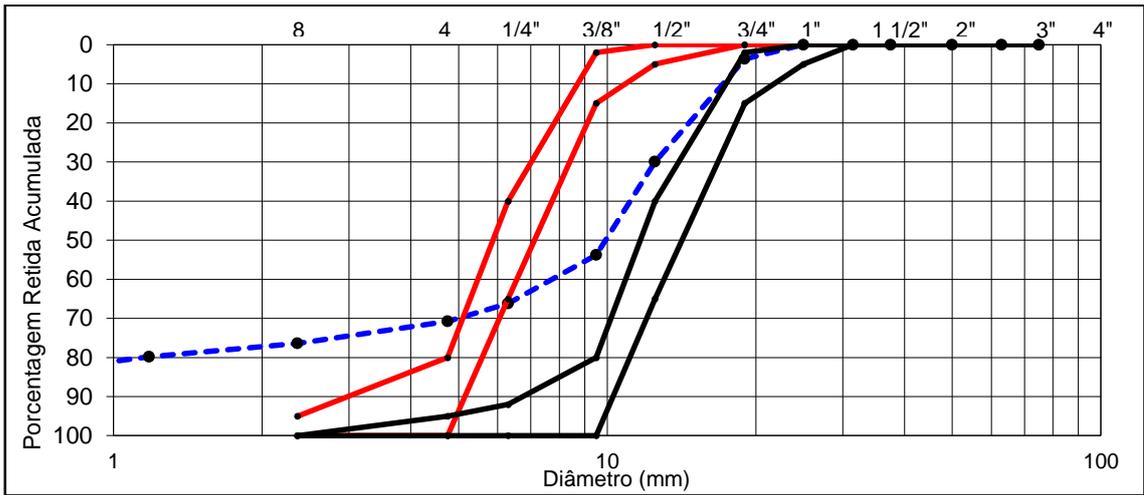
A Figura 75, Figura 76 e a Figura 77 demonstram distribuições granulométricas dos agregados reciclado e natural, denominados AGR1, AGR2 e AGN, respectivamente, evidenciando que os mesmos estão dentro das faixas limites, propostas pela ABNT - NBR 7211/2005, podendo ser usados para a fabricação de concretos. No caso dos agregados graúdos as faixas fazem a definição do tipo de brita, variando de brita 0 a brita 4, onde a brita 0, corresponde ao intervalo de 4,8 a 9,5mm de diâmetro, a brita 1, ao intervalo de 9,5 a 19,0 mm, a brita 2, ao intervalo de 19,0 a 38,0 mm, a brita 3, ao intervalo de 38,0 a 50 mm e a brita 4, dimensões maiores que 50,0 mm, podendo nesta condição a distribuição ocorrer em mais de uma faixa. Em todas as Figuras abaixo a distribuição granulométrica ficou entre a brita 0 e a brita 1, nota-se que para os agregados reciclados abaixo da peneira 4,75 mm ficou fora da faixa, isso ocorre porque a presença de materiais com pequeno tamanho e evidentemente maior do que no agregado reciclado, este fato está ligado a resistência do grão em relação a sua fonte geradora. A Figura 78 demonstra quantidade de material fino que passou pela peneira de 150 µm para a amostra AGR2, explicando o comportamento da figura 76, quanto a quantidade retida acumulada fora da faixa limite de uso, especificada na NBR 7211/2005.

Figura 75 - Distribuição granulométrica AGR1



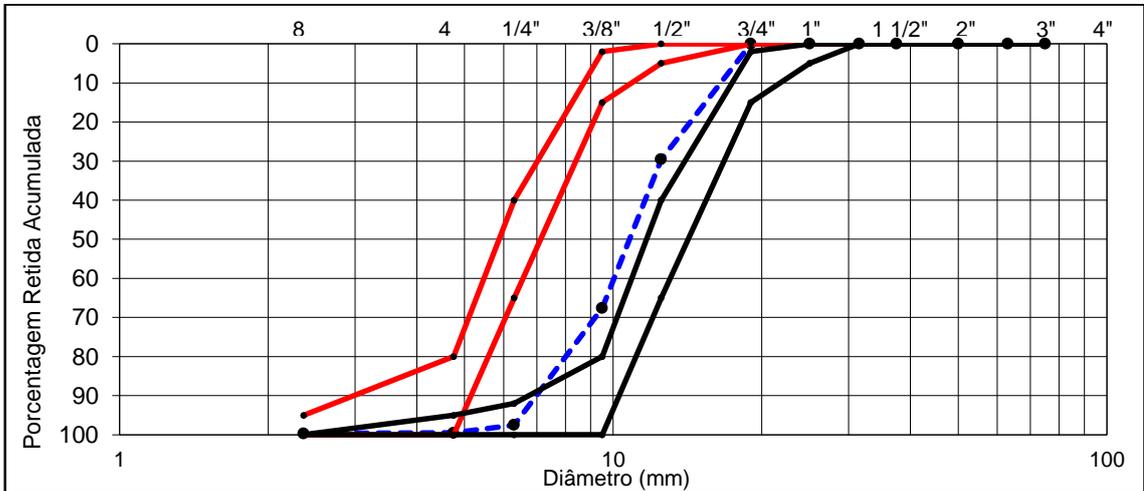
Fonte: Autor, 2019.

Figura 76 - Distribuição granulométrica AGR2



Fonte: Autor, 2019.

Figura 77 - Distribuição granulométrica AGRN



Fonte: Autor, 2019.

Figura 78 – Quantidade de material fino que passou pela peneira de 150 µm da amostra AGR2



Fonte: Autor, 2019.

A Tabela 24, demonstra os resultados de alguns autores em relação ao diâmetro máximo e o módulo de finura do agregado graúdo. Nota-se uma diferença em relação ao diâmetro característico, ao passo que os autores obtiveram resultados de 19 mm, este trabalho apresentou na Tabela 23 resultados de 12,5mm, isso ocorre pelo comportamento do triturador e do processo de separação na usina produtora, mas adiante será verificado se existe alguma correlação com a resistência dos blocos.

Tabela 24 – Comparação do diâmetro máximo característico e do Módulo de Finura entre estudos realizados e os resultados de presente estudo

<b>Autor</b>	<b>Amostra</b>	<b>MF</b>	<b>Diam. Máx.</b>
<b>BUTTLER (2003)</b>	GR1	6,45	19
	GR7	6,40	19
	GR28	6,43	19
<b>SANTOS (2006)</b>	AGR	6,11	19
<b>TENÓRIO (2007)</b>	AGR1	6,86	19
	AGR2	5,76	19
<b>SANTOS (2016)</b>	AGR	6,71	19

Fonte: Autor, 2019.

Entretanto observa-se que os valores do Módulo de Finura, são similares aos estudos referenciados na Tabela 24, corroborando com o apresentado na curva de

distribuição granulométrica, o que indica a possibilidade do uso dos agregados para obtenção de concretos a serem empregados em elementos estruturais na construção civil.

### 5.1.3. Demais propriedades dos agregados miúdos.

As demais propriedades dos agregados miúdos estão apresentadas na Tabela 25, de acordo com parâmetros definidos no Quadro 5.

Os valores foram obtidos em decorrência dos ensaios experimentais descritos anteriormente no item 4, metodologia.

Tabela 25 – Dados das demais propriedades físicas dos agregados miúdos.

Propriedade	Resultado		
	AMR1	AMR2	AMN
Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	2,58	2,66	2,59
Massa específica aparente (g/cm <sup>3</sup> )	2,15	2,19	2,54
Massa específica saturado sup. seca (g/cm <sup>3</sup> )	2,32	2,37	2,56
Massa unitária compactada (g/cm <sup>3</sup> )	1,29	1,36	1,51
Massa unitária solta (g/cm <sup>3</sup> )	1,15	1,29	1,33
Absorção de água (%)	2,1	4,3	0,8
Volume de vazios (%)	0,06	0,06	0,06
Determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm, por lavagem (%)	5,9	13	4,5
Teor de argila em torrões e materiais friáveis (%)	5,66	5,03	1,10
Teor de partículas leves (%)	0,77	7,53	0,70
Coefficiente de Inchamento	1,31	1,29	1,42
Umidade superficial	0,0	5,7	0,0
Impurezas orgânicas	Mais clara	Mais clara	Mais clara

Fonte: Autor, 2019.

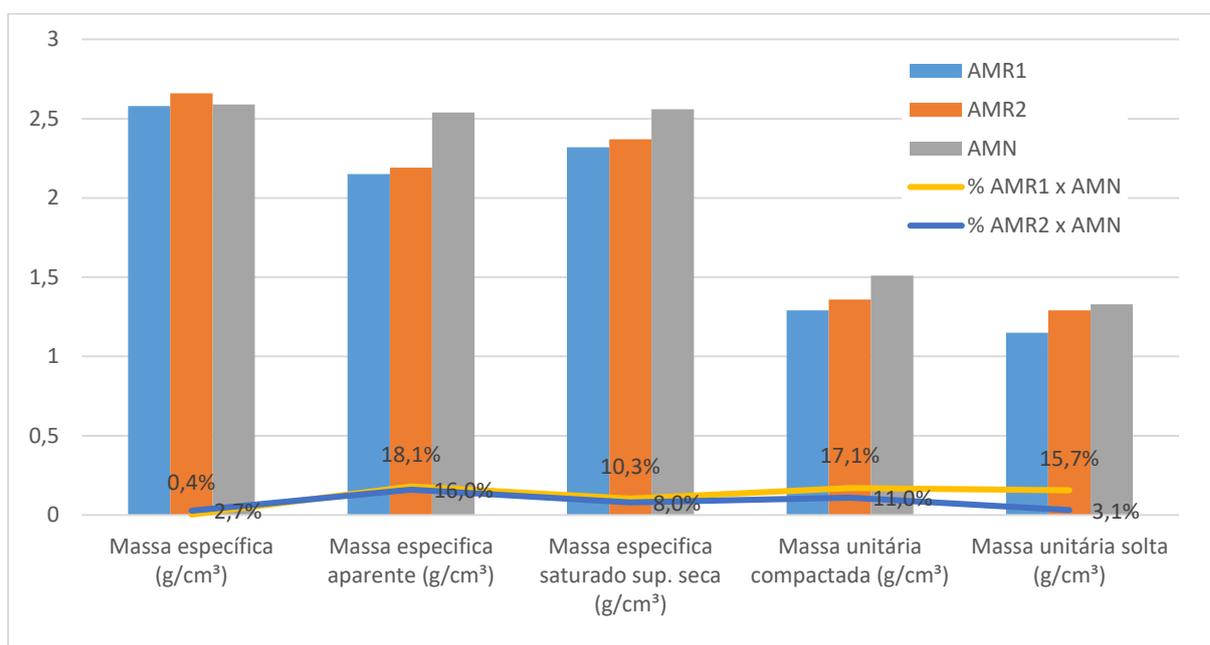
Alguns estudos como Hansen (1985); Van Acker (1996); Park (1998) não recomendam a utilização de agregados miúdos para obtenção de concretos, pois estes apresentam enorme variabilidade e contribuem para um aumento na absorção de água, o que pode levar à perda de trabalhabilidade da mistura, no estado fresco, sendo que no estado endurecido isso reflete na retração do concreto, o que ocasionar a má aderência da pasta de cimento junto aos agregados graúdos. Com base nestes

estudos, a maioria dos autores que desenvolveram pesquisas com agregados reciclados para obtenção de concretos, optaram por incorporar somente agregados graúdos como matérias reciclados.

#### 5.1.3.1. Massa específica, Massa específica aparente e Massa unitária

A tabela citada anteriormente evidência que a amostra de AMR2 apresenta valor de massa específica ligeiramente superior ao AMN em torno de 2,7%, já a amostra de AMR1, não apresenta alteração significativa, sendo de 0,39%. Nota-se que as demais avaliações de massa, em seus diferentes estados apresentam valores para a amostra de AMR2 inferiores ao AMN, isso ocorre também para as amostras de AMR1 em relação a AMN, contudo apresentam valores com amplitudes maiores quando comparados a AMR2. A Figura 79 compara os valores dos agregados reciclados com o agregado natural, apresentando também em valores percentuais.

Figura 79 – Gráfico comparativo entre os resultados de massas nos seus diferentes estados entre os agregados miúdos reciclados e o agregado miúdo natural.



Fonte: Autor, 2019.

Pela Figura 79 pode-se perceber que com exceção da massa específica, o AMR2 se assemelha mais ao AMN do que o AMR1. Buttler (2007) notou que os valores de massa, para agregados miúdos reciclados ficaram em média 18% abaixo dos valores dos agregados naturais.

Em suma, os estudos realizados com agregados graúdos reciclados, convergiram todos para a afirmação de que as massas unitárias e específicas dos agregados reciclados apresentam valores menores que os apresentados pelos agregados naturais para concreto, podendo influenciar diretamente no comportamento do material em relação a sua resistência.

Para Mehta e Monteiro (1994), a massa unitária dos agregados graúdos reciclados comumente usados para obtenção de concretos, variou entre 1,30 e 1,75 kg/dm<sup>3</sup>, para Carneiro et al. (2000), apresentaram valores de massa unitária de 1,07 kg/dm<sup>3</sup> e Zordan (1997), encontrou valores de massa unitária variando entre 1,00 kg/dm<sup>3</sup> a 1,16 kg/dm<sup>3</sup>.

Para valores de massa específica, os estudos realizados por Silva, Souza e Silva (1996), apontaram valores médios dos agregados graúdos reciclados analisados iguais a 2,52 kg/dm<sup>3</sup> e Zordan et al. (1999), apresentaram, para os mesmos agregados, valores variando entre 1,94 kg/dm<sup>3</sup> a 2,01 kg/dm<sup>3</sup> para as frações graúdas.

Comparativamente aos estudos apontados, os valores encontrados no presente trabalho, apresentam-se muito similares, dada a heterogeneidade da composição dos RCC, pode-se afirmar que a variação é inexpressiva.

#### 5.1.3.2. Absorção de água

De acordo com os valores apresentados na Tabela 25, a absorção de água dos agregados miúdos reciclados foi muito superior ao agregado miúdo natural, sendo na ordem de 163% da amostra AMR1 em relação a AMN e de 437% da amostra de AMR2 em relação a AMN.

Buttler (2007) utilizando os parâmetros previstos na norma vigente à época, encontrou valores de absorção de água para agregados reciclados variando entre 5,99% a 10,62%, sendo que para agregados naturais o autor encontrou valores variando de 2,32% e 3,02%, condutos os procedimentos normativos se diferem, não sendo possível uma comparação direta entre os trabalhos. O autor concluiu que os agregados miúdos reciclados obtiveram valores de absorção menores quando comparados aos agregados reciclados, devido a menor quantidade de argamassa aderida as partículas do agregado.

Zhu *et al.* (2015) avaliaram a absorção de água de agregados reciclados de concreto, e encontraram valores de 10,9% para agregados miúdos. Ledesma et al.

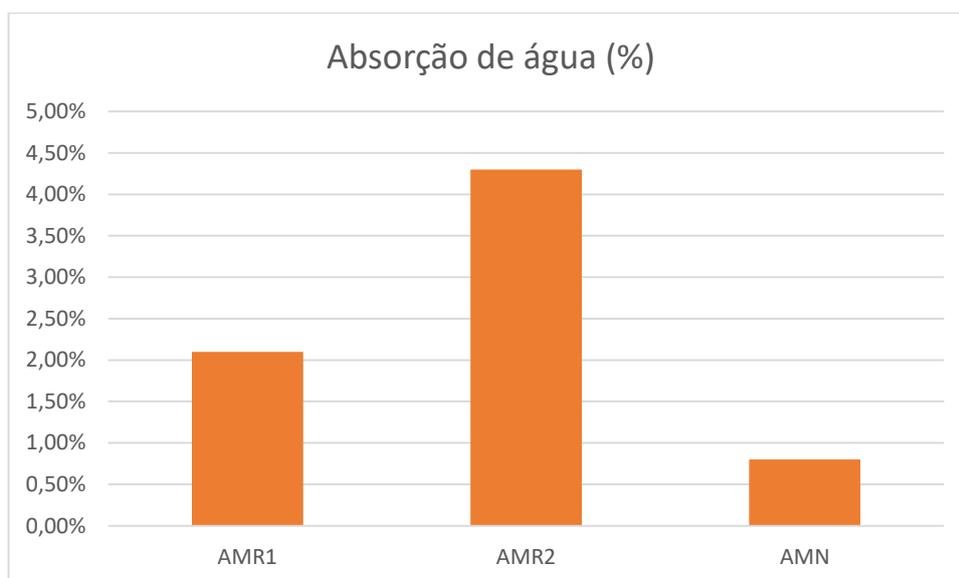
(2014) encontraram taxas de absorção de água de 8,3% para a agregados miúdos de concreto.

Tenório (2007) também utilizou agregados miúdos reciclados, obtendo valores de 9,34 % para absorção de água.

Carasek *et al.* (2018) obteve em seus estudos valores de 1,21% a 1,46% para absorção de água em agregados miúdos reciclados.

Com base nos estudos citados anteriormente nota-se que os valores obtidos no presente estudo são inferiores aos encontrados por outros autores, onde os parâmetros normativos eram diferentes do contido neste trabalho, mas para os estudos de Carasek (2018), os valores são mais próximos.

Figura 80 – Gráfico com dos valores percentuais de absorção de água dos agregados miúdos reciclados e o agregado miúdo natural.



Fonte: Autor, 2019.

Os valores apresentados na Figura 80, se assemelham aos estudos dos autores citados anteriormente.

#### 5.1.3.3. Volume de vazios

De acordo com os valores apresentados na Tabela 25, o volume de vazios se manteve igual entre as amostras AMR1, AMR2 e AMN.

#### 5.1.3.4. Determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm, por lavagem

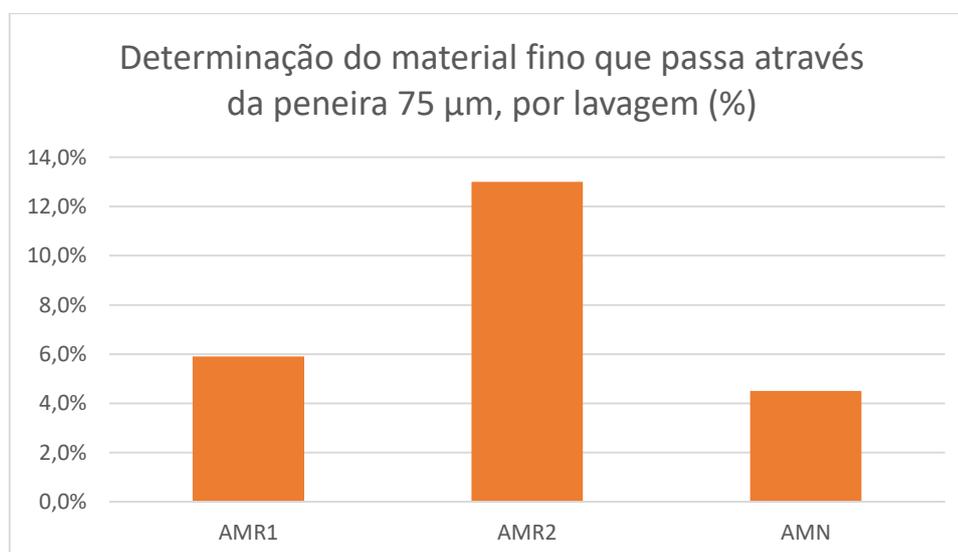
De acordo com os valores apresentados na Tabela 25, quantidade de material pulverulento, ou seja, as partículas que passam pela peneira de 0,075mm dos agregados miúdos reciclados foram superiores ao agregado miúdo natural, sendo na ordem de 31% da amostra AMR1 em relação a AMN e de 188% da amostra de AMR2 em relação a AMN.

Ângulo (2000), avaliou 36 amostras par determinar a quantidade de materiais finos que passam pela peneira de 0,075mm, sendo que obteve resultados que variam de 0,1% a 7,4% sendo que das 36 amostras analisadas apenas 01 não atenderia os parâmetros da norma ABNT – NBR 7211/2005, que prevê valores máximos em percentual para material fino que passa pela peneira de 0,075mm de 5% para concretos protegidos do desgaste superficial.

Buttler (2007) em seu estudo avaliou 5 amostras para determinação do material fino que passa pela peneira de 0,075mm, obtendo valores entre 1,62% a 7,28%. Hansen (1985) encontrou na avaliação dos mesmos parâmetros valores entre 4,1% e 6,6%, recorda-se que estes estudos utilizaram agregados reciclados exclusivamente de artefatos de concreto.

A Figura 81 demonstra a variação percentual dos materiais finos que passam pela peneira de 0,075 mm, dos agregados reciclados e natural.

Figura 81 – Gráfico comparativo entre os resultados do material fino que passa pela peneira de 0,075mm dos agregados miúdos reciclados e o agregado miúdo natural.



Fonte: Autor, 2019.

Considerando os resultados demonstrados na Figura 81, somente o agregado natural atende aos parâmetros estabelecidos na norma ABNT – NBR 7211/2005.

#### 5.1.3.5. Teor de argila em torrões e materiais friáveis

De acordo com os valores apresentados na Tabela 25, quantidade do teor de argila em torrões e materiais friáveis dos agregados miúdos reciclados foram superiores ao agregado miúdo natural, sendo na ordem de 414% da amostra AMR1 em relação a AMN e de 357% da amostra de AMR2 em relação a AMN.

Para Neville (2016), considera-se materiais friáveis torrões de argila, madeira e carvão, essas substâncias podem comprometer a resistência do concreto quando presentes em proporções de 2 a 5% da massa do agregado. A ABNT NBR 7211/2005 prevê a quantidade máxima de torrões de argila e materiais friáveis na ordem de 3% em relação à massa do agregado miúdo.

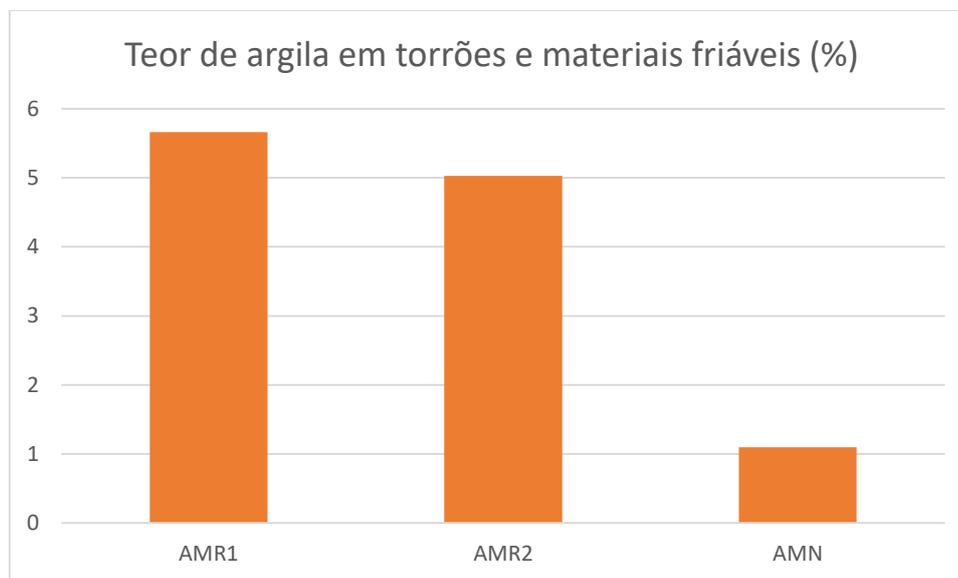
Segundo Cavalcanti e Parahyba (2011) a existência de materiais friáveis e torrões de argila em excesso compromete a resistência do concreto, principalmente os de grandes dimensões, pois sua não dissolução durante o processo de mistura do concreto, apresenta pontos fracos em seu interior e, quando dissolvidos, envolvem os grãos resistentes dos agregados.

Um fator avaliado durante a execução dos ensaios, que justifica os resultados obtidos foi a presença notável de partículas de gesso, material atualmente utilizado em larga escala na construção civil, pela facilidade de obtenção e aplicação. Pode-se notar a presença do gesso em forma de pequenas esferas com a coloração branca, característica do material, que em contato com a água sofre processo de hidratação, resultado em uma perda de resistência, de modo que ao ser pressionado pelos dedos, apresentação de degradação, resultando em pequenas partículas que posteriormente se perdiam na água de lavagem.

A Figura 82 demonstra a variação percentual do Teor de argila em torrões e materiais friáveis, obtidas nos agregados reciclados e natural.

Considerando os resultados demonstrados na Figura 82, somente o agregado natural atende aos parâmetros estabelecidos na norma ABNT – NBR 7211/2005.

Figura 82 – Gráfico comparativo entre os resultados Teor de argila em torrões e materiais friáveis dos agregados miúdos reciclados e o agregado miúdo natural.



Fonte: Autor, 2019.

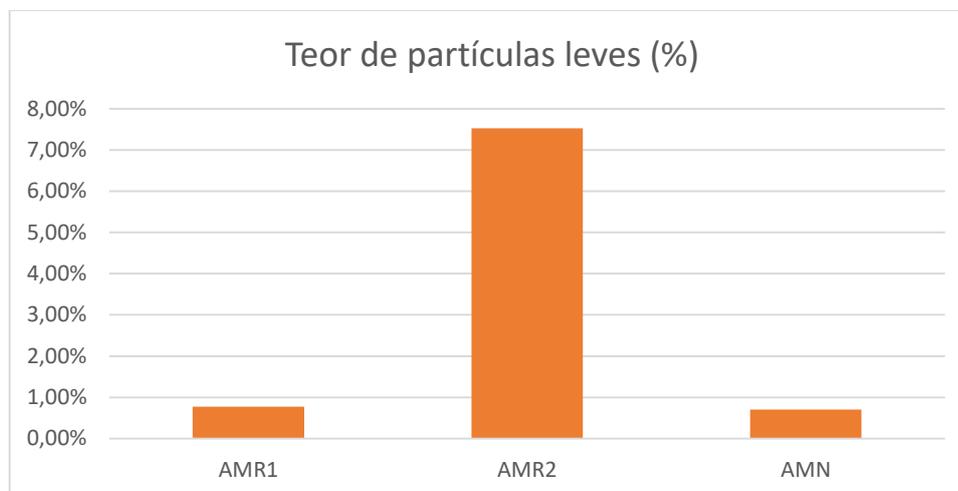
#### 5.1.3.6. Teor de partículas leves

De acordo com os valores apresentados na Tabela 25, quantidade do teor de partículas leves dos agregados miúdos reciclados foram superiores ao agregado miúdo natural, sendo na ordem de 10% da amostra AMR1 em relação a AMN e de 976% da amostra de AMR2 em relação a AMN.

Um fator avaliado durante a execução dos ensaios, que justifica os resultados obtidos foi a presença notável de partículas de madeira, e material plástico, como juntas de dilatação de pisos e embalagens diversas, esses materiais são recorrentemente utilizados em canteiros de obras, no caso da madeira para alocação de obras ou como formas para composição de pilares e vigas, já as embalagens são provenientes dos diversos insumos utilizados nos canteiro, A presença desses materiais ocorreram principalmente em decorrência do presente trabalho optar por utilizar os agregados reciclados sem nenhum processo de beneficiamento, ou seja, sem que houvesse processos de triagem, separação, limpeza ou similares além dos realizados nas usinas de reciclagem.

A Figura 83 demonstra a variação percentual do Teor de materiais leves, obtidas nos agregados reciclados e natural.

Figura 83 – Gráfico comparativo entre os resultados Teor de materiais leves dos agregados miúdos reciclados e o agregado miúdo natural.



Fonte: Autor, 2019.

#### 5.1.3.7. Coeficiente de Inchamento

De acordo com os valores apresentados na Tabela 25, o coeficiente de inchamento do agregado reciclado é inferior ao do agregado natural, percentualmente ficam na ordem de 8% da amostra AMR1 em relação a AMN e de 10% da amostra de AMR2 em relação a AMN.

A determinação do coeficiente de inchamento faz-se necessário principalmente quando a dosagem do concreto é realizada volumetricamente. Para Medeiros (1993) a produção de blocos de concreto estrutural para alcançar qualidade satisfatória a proporção de materiais deve ser feita em massa, em caso de dosagem por volume, devem ser corrigidas as variações de volume advindas do fenômeno de inchamento dos agregados miúdos.

A Figuras 84 e Figura a 86, demonstram os gráficos obtidos a partir de diferentes teores de umidade, criando-se a curva de inchamento dos agregados reciclados e agregado natural, de onde foi possível estabelecer os valores de coeficiente de inchamento e umidade crítica.

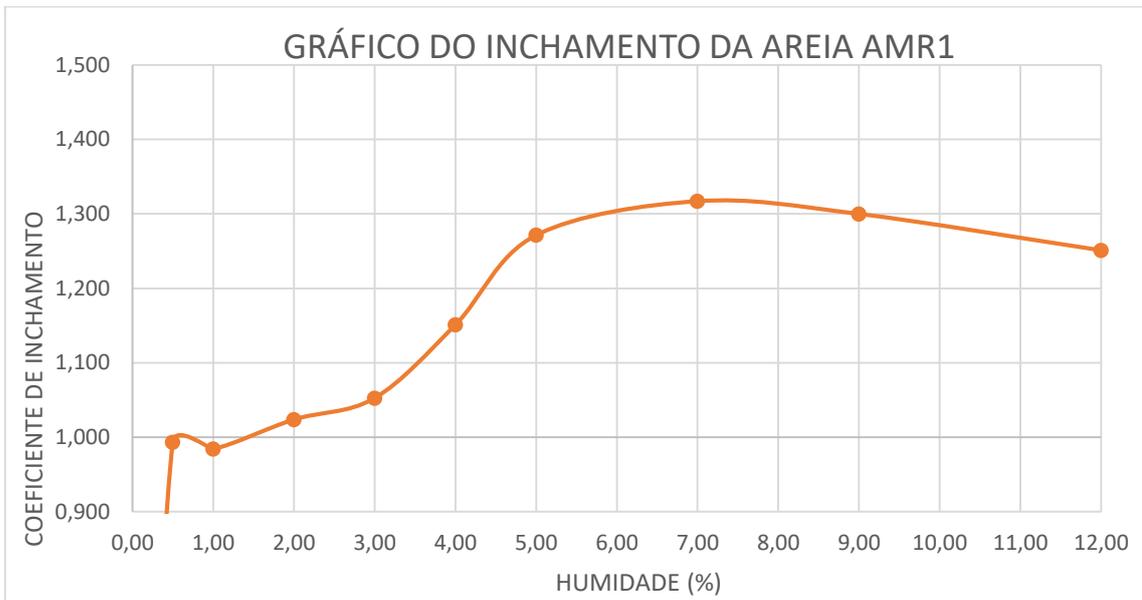
CARASEK *et al.* (2018) obteve em seus estudos valores de 1,53 e 1,66 de coeficiente de inchamento em agregados miúdos reciclados.

Considerando o estudo de CARASEK *et al.* (2018), os valores obtidos neste trabalho se assemelham aos encontrados pelos autores.

O desenvolvimento do presente trabalho a produção do concreto foi realizado em massa, contudo a amostra AMR2, estava exposta as intempéries, apresentando umidade excessiva, em decorrência disto, os valores de umidade e inchamento foram corrigidos para composição do concreto com o agregado da amostra referida.

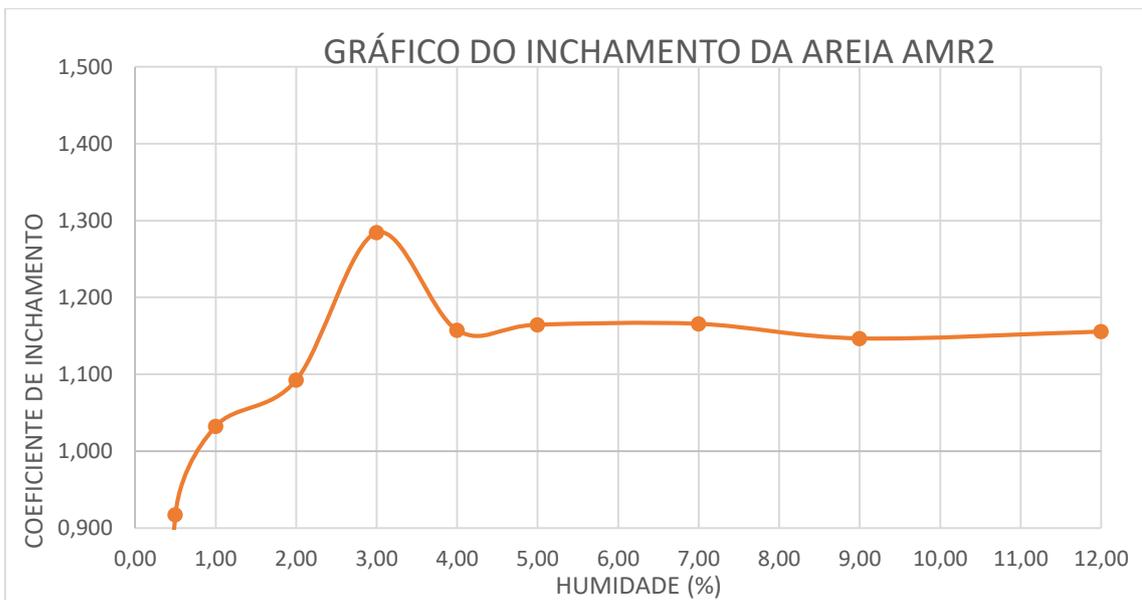
A Figura 87 demonstra os valores do coeficiente de inchamento obtidos dos agregados miúdos reciclados e natural.

Figura 84 – Gráfico coeficiente de inchamento da amostra AMR1.



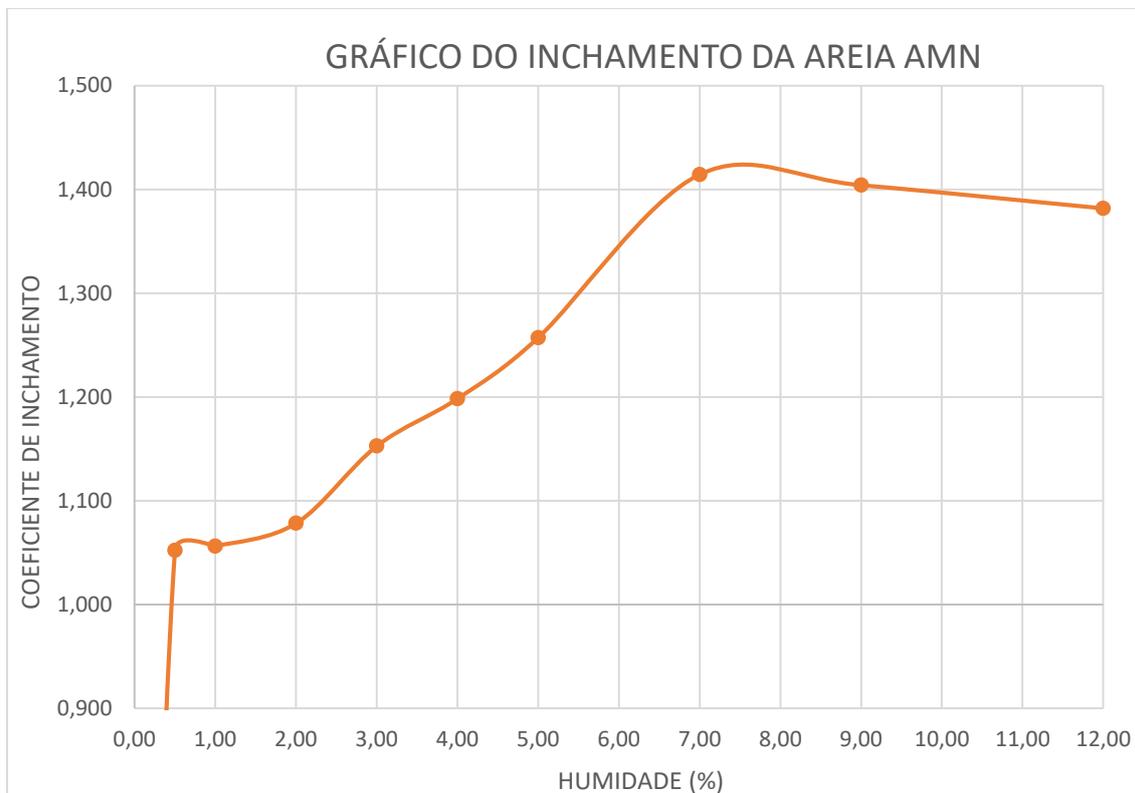
Fonte: Autor, 2019.

Figura 85 – Gráfico coeficiente de inchamento da amostra AMR1.



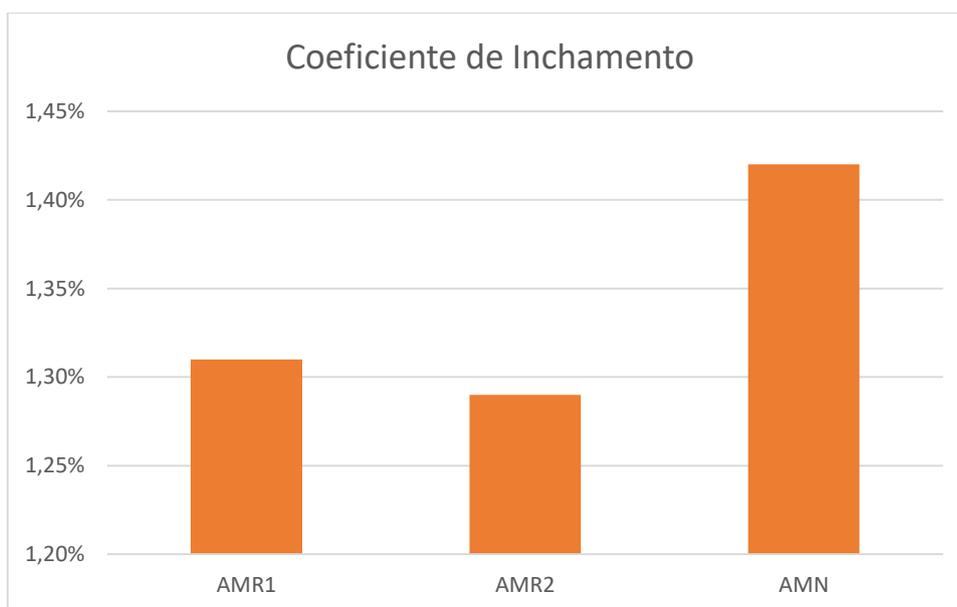
Fonte: Autor, 2019.

Figura 86 – Gráfico comparativo entre os resultados Teor de materiais leves dos agregados miúdos reciclados e o agregado miúdo natural.



Fonte: Autor, 2019.

Figura 87 – Gráfico coeficiente de inchamento dos agregados miúdos reciclados e natural.



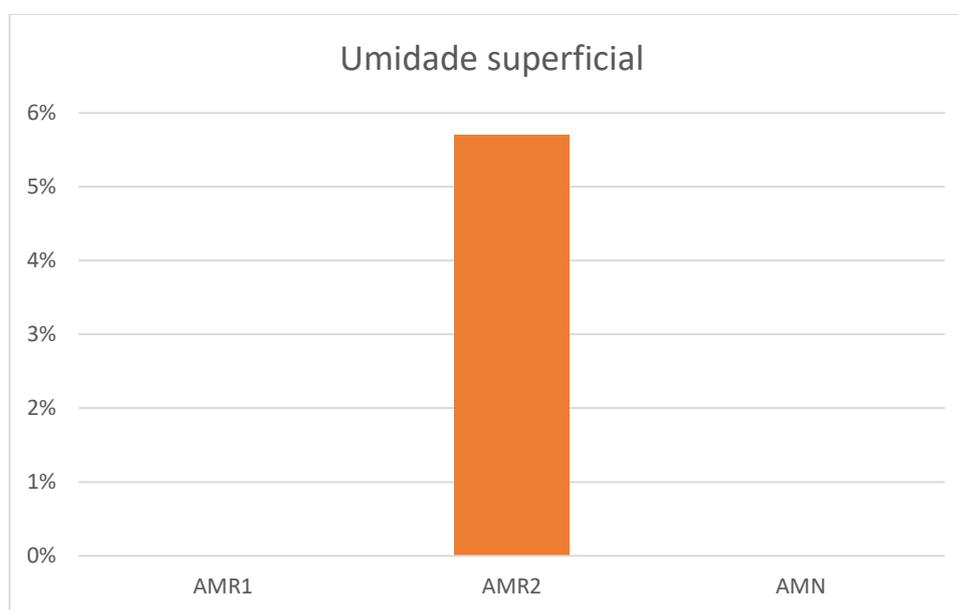
Fonte: Autor, 2019.

#### 5.1.3.8. Umidade superficial

De acordo com os valores apresentados na Tabela 25, a umidade superficial na amostra AMR1 e AMN foram de 0,0% já a amostra AMR2, apresentou valor de 5,7%. Conforme informado anteriormente, isso ocorreu em virtude do modo de armazenamento da referida amostra, sendo que a mesma ficou exposta a intempéries.

A Figura 88 demonstra os valores de umidade superficial obtidos dos agregados miúdos reciclados e natural.

Figura 88 – Gráfico coeficiente de umidade superficial da amostra AMR2.



Fonte: Autor, 2019.

#### 5.1.3.9. Impurezas orgânicas

De acordo com os valores apresentados na Tabela 25, em todas as amostras avaliadas não foram consideradas com presença de impurezas orgânicas, pois as amostras de agregados reciclados e natural apresentaram quando expostas a solução de hidróxido de sódio coloração mais clara do que a solução de ácido tânico.

#### 5.1.4. Demais propriedades dos agregados graúdos.

As demais propriedades dos agregados graúdos estão apresentadas na Tabela 26, de acordo com os parâmetros definidos no Quadros 6.

Tabela 26 – Dados da granulometria dos agregados graúdos

Propriedade	Resultado		
	AGR1	AGR2	AGN
Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	2,47	2,70	2,48
Massa específica aparente (g/cm <sup>3</sup> )	3,79	3,48	2,88
Massa unitária compactada (g/cm <sup>3</sup> )	1,27	1,26	1,44
Massa unitária solta (g/cm <sup>3</sup> )	1,11	1,18	1,34
Absorção de água (%)	14,06	8,28	5,60
Volume de vazios (%)	0,06	0,06	0,06
Determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm, por lavagem	5,2	9,8	0,4
Teor de argila em torrões e materiais friáveis (%)	2,26	2,12	0,51
Teor de partículas leves (%)	0,11	1,72	0,00
Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro	2,0	2,2	2,0
Umidade total (%)	18,8	9,7	0,5
Abrasão “Los Angeles” (%)	41,7	46,7	11,2

Fonte: Autor, 2019.

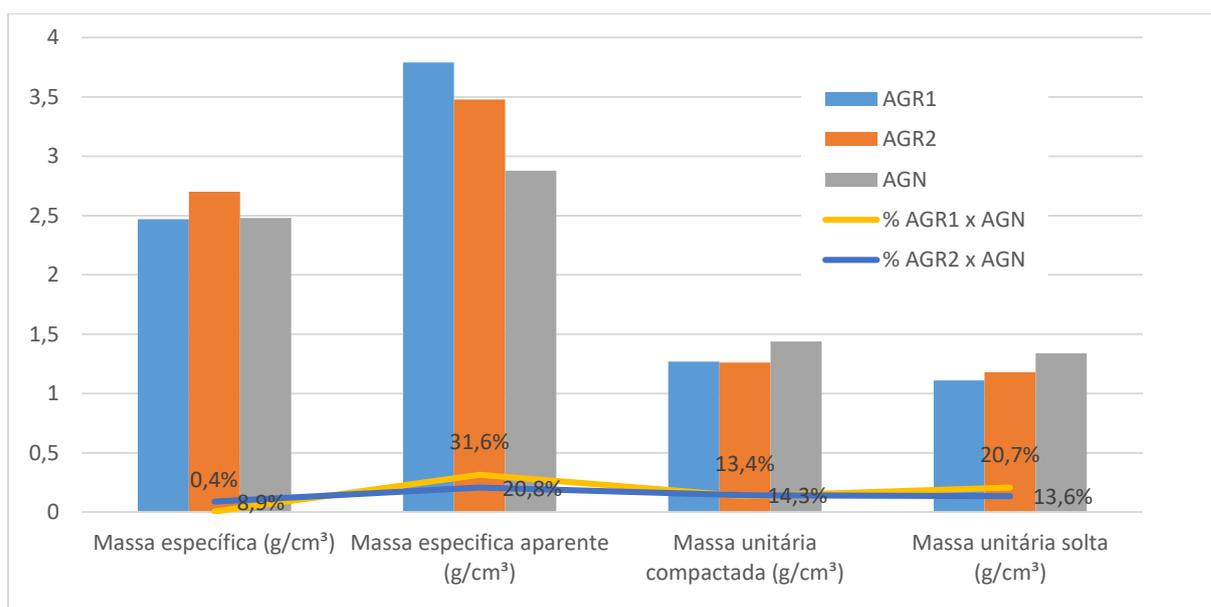
#### 5.1.4.1 Massa específica, Massa específica aparente e Massa unitária

Santos (2006) utilizou agregados graúdos reciclados para o desenvolvimento de seus estudos, sendo que a fonte deste material foram corpos de prova de uma fábrica de elementos de concreto pré-moldados, o que remete a um resíduo considerado limpo. Buttler (2007) em seu trabalho também utilizou materiais como resíduos, basicamente de artefatos de concreto pré-moldado, provenientes de resíduos de processo de produção de blocos de concreto, pisos de pavimentação, telhas de concreto, vigotas de concreto, blocos de concreto e resíduos de vibro prensa. Em ambos os trabalhos os autores verificaram que a massa específica e a massa unitária apresentaram valores menores para os agregados reciclados e relação ao natural, porém nestes estudos as massas específicas e específicas aparentes apresentaram valores superiores para os agregados reciclados quando comparados ao agregado natural na ordem de 0,4% e 8,9% para a massa específica e 31,6% e 20,8% para massa específica aparente, já para as massas unitárias nos estados compactados e soltos os valores correspondentes aos agregados naturais são superiores quando

comparados aos agregados reciclados, resultado análogo aos encontrados por Butler (2007) e Santos (2006).

A Figura 89 demonstra os valores das massas em seus diferentes estados, apresentando a variação em percentual dos agregados graúdos reciclados em relação ao agregado graúdo natural.

Figura 89 – Gráfico comparativo entre os resultados de massas nos seus diferentes estados entre os agregados graúdos reciclados e o agregado graúdo natural.



Fonte: Autor, 2019.

#### 5.1.4.2. Absorção de água

De acordo com os valores apresentados na Tabela 26, a Absorção de água do agregado reciclado é superior ao do agregado natural, percentualmente ficam na ordem de 151% da amostra AMR1 em relação a AMN e de 48% da amostra de AMR2 em relação a AMN.

Ângulo (2000), avaliou a absorção de água em 36 amostras de RCC e identificou que a absorção de água pode variar em função do tipo de RCC quanto a sua fonte geradora, da distribuição granulométrica e da densidade, encontrando valores variando de 5,11 % a 11,70 % para as fases (constituintes) concreto e argamassa, de 0,61 % a 3,01 % para rochas e de 7,74 % a 27,91 % para a fase cerâmicos.

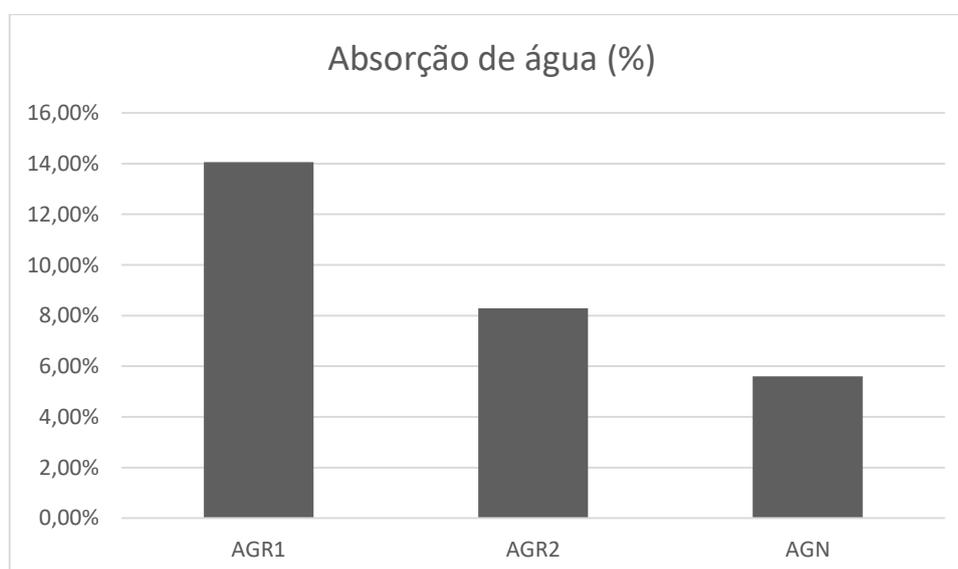
Segundo Cordeiro (2013), a dimensão das partículas dos agregados graúdos reciclados também influencia significativamente em sua capacidade de absorção. A

partir de um levantamento bibliográfico para avaliação da absorção de água, o autor observou que frações maiores de agregados apresentam menor taxa de absorção, com intervalos que variaram de 3,5 à 6,9% e 4,6 à 11,5% para frações granulométricas de 10 à 20 mm e 0 à 10 mm, respectivamente.

Buttler (2007) observou que as absorções de água nos agregados graúdos ocorrem acentuadamente nos 30 minutos iniciais, quando estes são expostos a água, em seu estudo o autor encontrou valores que variaram de 3,48% a 4,45%. Para Buttler, a absorção nos primeiros minutos de exposição influencia na trabalhabilidade da mistura do concreto no estado fresco e cita referências de autores como Brito *et al* (2004), que recomendam a pré-saturação dos agregados para resultados de trabalhabilidade mais satisfatórios, contudo para o desenvolvimento da dosagem, deve haver a consideração da água incorporada para a pré-saturação.

Tenório (2007) verificou que as absorções de água dos agregados graúdos reciclados utilizados em seu estudo apresentaram valores bem maiores do que o agregado natural, para o autor isto já esperado conforme sua revisão bibliográfica. Contudo ao comprar suas amostras observou que a amostra apresentou maior absorção do que a amostra 2, assim como neste estudo onde AMR1 apresentou uma absorção de água 70% maior que AMR2. Porém ao observar os resultados de absorção de água de Tenório (2007) que são 8,41% e 5,37%, nota-se que os valores encontrados no presente trabalho demonstrado na Figura 90, demonstra similaridade.

Figura 90 – Gráfico com dos valores percentuais de absorção de água dos agregados graúdos reciclados e o agregado graúdo natural.



Fonte: Autor, 2019.

#### 5.1.4.3. Volume de vazios

De acordo com os valores apresentados na Tabela 26, o volume de vazios se manteve constante para todas as amostras de agregados graúdos reciclados, correspondentes a menos de 1%.

Gonçalves (2001) no desenvolvimento de seu trabalho, encontrou resultado para o volume de vazios em agregados graúdos reciclados de 12,3%.

Considerando a grande quantidade materiais finos, que preenchem os vazios, estima-se que o resultado obtido tenha sido em decorrência a este fato.

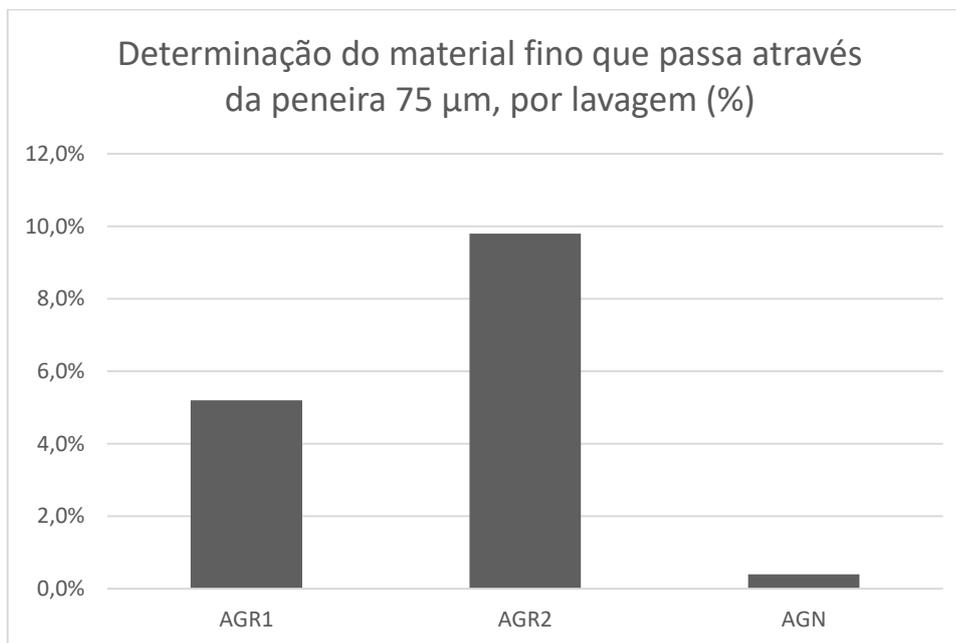
#### 5.1.4.4. Determinação do material fino que passa através da peneira 75 $\mu\text{m}$ , por lavagem

De acordo com os valores apresentados na Tabela 26, quantidade de material pulverulento, ou seja, as partículas que passam pela peneira de 0,075mm dos agregados graúdos reciclados foram muito superiores ao agregado graúdo natural, sendo na ordem de 1200% da amostra AGR1 em relação a AGN e de 2350% da amostra de AGR2 em relação a AGN. Sendo que o percentual de material fino para a amostra AGR2 é superior a AGR1, correspondendo a 88%, quando comparadas uma a outra.

Tenório (2007) obteve resultados de 0,75 % e 0,45% para suas amostras de agregados graúdos reciclados. Buttler (2007) encontrou valores que variam de 0,28% a 0,59%. Santos (2016) obteve resultado para seu agregado graúdo reciclado com 0,0% de material pulverulento. Todos os estudos citados apresentam valores similares, mas que diferem significativamente dos encontrados neste estudo, conforme Figura 91, isso ocorre porque os autores citados anteriormente utilizaram agregados graúdos reciclados a partir de artefatos de concreto, o que remete a uma composição muito próxima em relação as características físicas dos materiais, já o presente trabalho adotou material heterogêneo, sem qualquer classificação ou processamento resultando em um agregado com grande presença de materiais finos, provenientes de materiais cerâmicos ou solos argilosos.

Percentualmente os valores obtidos foram de 5,2% para a amostra AGR1 e 9,8% para a amostra AGR2, frente a 0,4% para a amostra de agregado natural. Contudo assim como Tenório (2007) obteve valor inferior para o agregado graúdo reciclado, este estudo também obteve valor menor para a amostra de AGN.

Figura 91 – Gráfico comparativo entre os resultados do material fino que passa pela peneira de 0,075mm dos agregados graúdos reciclados e o agregado graúdo natural.



Fonte: Autor, 2019.

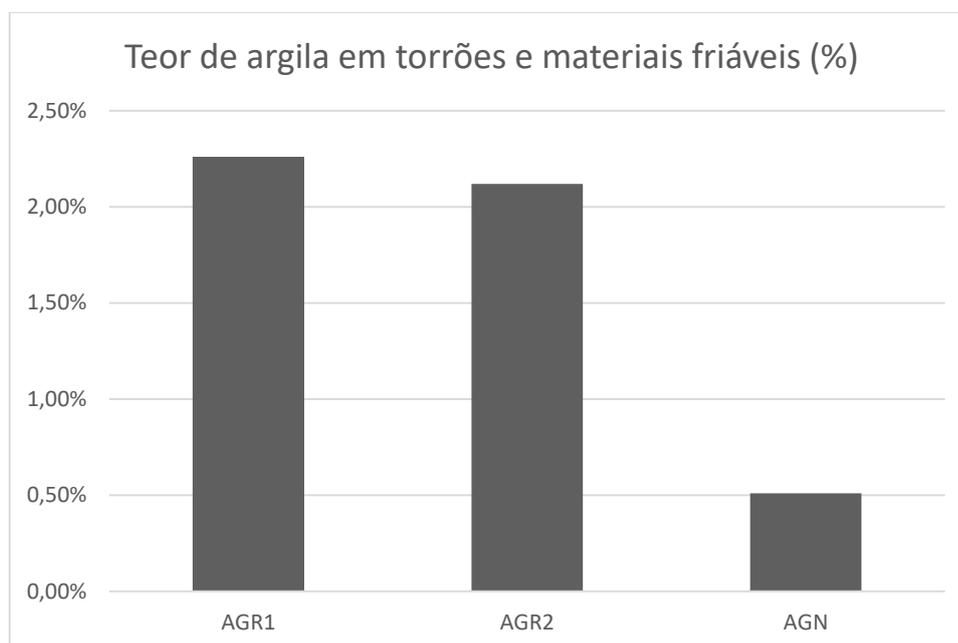
#### 5.1.4.5. Teor de argila em torrões e materiais friáveis

De acordo com os valores apresentados na Tabela 26, quantidade do Teor de argila em torrões e materiais friáveis dos agregados graúdos reciclados foram muito superiores ao agregado graúdo natural, sendo na ordem de 402% da amostra AGR1 em relação a AGN e de 315% da amostra de AGR2 em relação a AGN. Sendo que o percentual de material fino para a amostra AGR2 é superior a AGR1, correspondendo a 6,6%, quando comparadas uma a outra.

A ABNT NBR 7211/2005 prevê a quantidade máxima de torrões de argila e materiais friáveis na ordem de 3% em relação à massa do agregado graúdo, para outros concretos, que não estejam sujeitos a abrasão superficial ou aparentes.

Considerando os resultados demonstrados na Figura 92, os agregados graúdos e o reciclados o agregado natural atende aos parâmetros estabelecidos na norma ABNT – NBR 7211/2005.

Figura 92 – Gráfico comparativo entre os resultados do Teor de argila em torrões e materiais friáveis dos agregados graúdos reciclados e o agregado graúdo natural.



Fonte: Autor, 2019.

#### 5.1.4.6. Teor de partículas leves

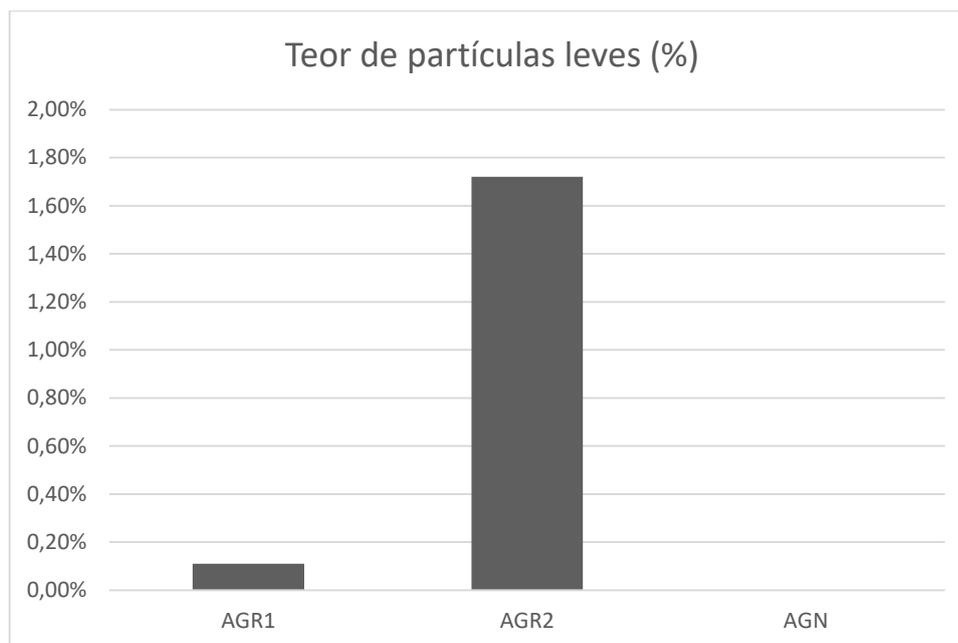
De acordo com os valores apresentados na Tabela 26, o Teor de partículas leves dos agregados graúdos reciclados foram muito superiores ao agregado graúdo natural, sendo na ordem de 11% da amostra AGR1 em relação a AGN e de 172% da amostra de AGR2 em relação a AGN. Sendo que o percentual de material fino para a amostra AGR2 é superior a AGR1, correspondendo a 1463%, quando comparadas uma a outra.

De acordo com os resultados apresentados na Figura 93, nota-se que o agregado graúdo reciclado não apresentou partículas em suspensão, e a amostra AGR1 demonstrou valor muito inferior a amostra de AGR2 para partículas leves.

Conforme citado anteriormente nos resultados do Teor de partículas leves para os agregados miúdos reciclado, o mesmo se aplica aos agregados graúdos reciclados sendo que durante a execução dos ensaios, foi observado presença notável de partículas de madeira, e material plástico, como juntas de dilatação de pisos e embalagens diversas, esses materiais são recorrentemente utilizados em canteiros de obras, no caso da madeira para alocação de obras ou como formas para composição de pilares e vigas, já as embalagens são provenientes dos diversos insumos utilizados nos canteiro. Sabe-se que os RCC, são transportados em um único recipiente

denominado “caçamba de entulho”, e não havendo separação por densidade através da aplicação de fluxo de ar, os materiais leves encontrados nos agregados miúdos reciclados são da mesma natureza dos encontrados nos agregados graúdos reciclados.

Figura 93 – Gráfico comparativo entre os resultados Teor de materiais leves dos agregados graúdos reciclados e o agregado miúdo natural.



Fonte: Autor, 2019.

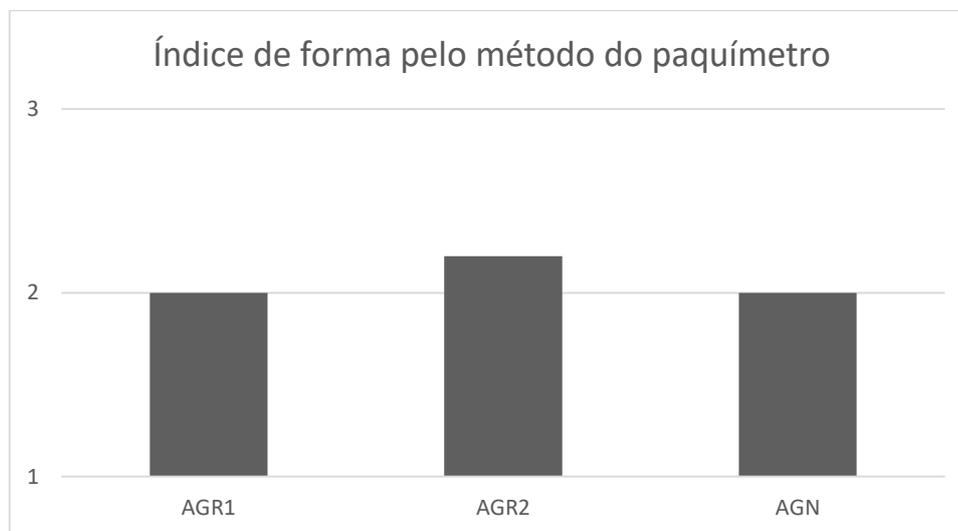
#### 5.1.4.7. Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro

De acordo com os valores apresentados na Tabela 26, os índices de forma dos agregados graúdos reciclados não apresentaram valores significativamente em relação ao agregado natural.

A ABNT NBR 7211/2005 prevê que o índice de forma dos grãos nade deve ser superior a 3.

Considerando os resultados demonstrados na Figura 94, os agregados graúdos e o reciclados o agregado graúdo natural atende aos parâmetros estabelecidos na norma ABNT – NBR 7211/2005.

Figura 94 – Gráfico comparativo entre os resultados do Índice de forma pelo método do Paquímetro dos agregados graúdos



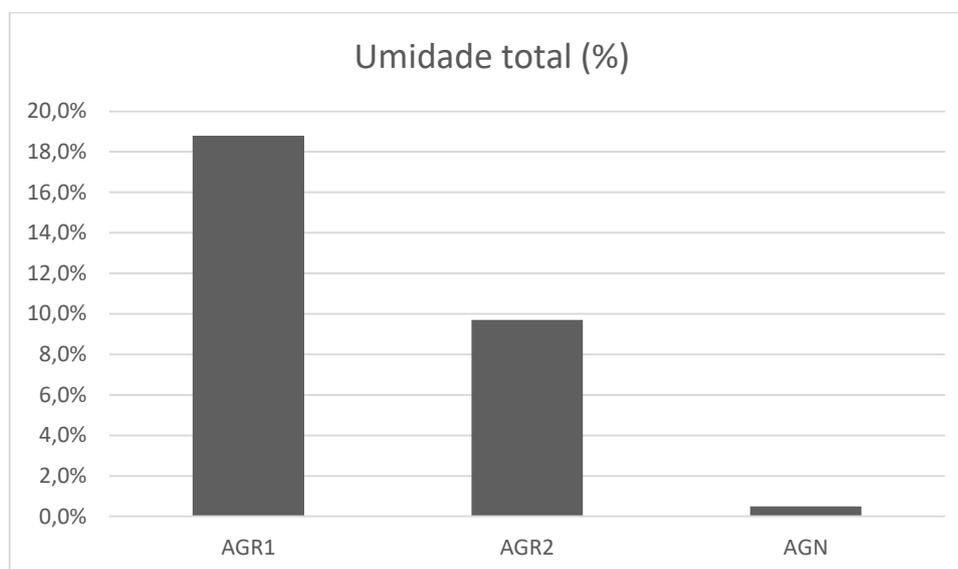
Fonte: Autor, 2019.

#### 5.1.4.8. Umidade total

De acordo com os valores apresentados na Tabela 26, o Teor de partículas leves dos agregados graúdos reciclados foram muito superiores ao agregado graúdo natural, sendo na ordem de 3360% da amostra AGR1 em relação a AGN e de 1800% da amostra de AGR2 em relação a AGN. Sendo que o percentual de material fino para a amostra AGR2 é superior a AGR1, correspondendo a 94%, quando comparadas uma a outra.

Durante a realização dos ensaios, um fator que pode ter contribuído para os resultados apresentados na Figura 95, que demonstram que mesmo a amostra AGR1 tendo um número de material fino menor que AGR2, ainda sim obteve valores de umidade total superior, notou-se que na composição dos agregados graúdos reciclados da usina 1, havia uma quantidade visível de resíduos cerâmicos, provenientes de tijolos e placas cerâmicas. Agopyan (2005) em seus estudos avaliou resíduos de cerâmica vermelha, mas especificadamente de telhas, observando que a porcentagem de absorção de água é na ordem de 17%. Ângulo (2000) encontrou valor de até 27% para agregados de peças cerâmicas. Santos (2006) avaliou resíduos reciclados das atividades de elevação de alvenaria e obteve resultados de até 12,93%. Nota-se que os valores apresentados são similares ao do presente estudo, e em decorrência da composição das amostras, justifica a diferença nos resultados de AGR1 para AGR2.

Figura 95 – Gráfico coeficiente de umidade total dos agregados grãos reciclados e o agregado grão natural



Fonte: Autor, 2019.

#### 5.1.4.9. Abrasão “Los Angeles”

De acordo com os valores apresentados na Tabela 26, os desgastes por abrasão dos agregados grãos reciclados foram muito superiores ao agregado grão natural, evidencia que a formação do material apresenta capacidade de aplicação de carga inferiores para os agregados grãos reciclados quando comparados o agregado grão natural, sendo que tal parâmetro é determinante para a resistência obtida do concreto executado com tais materiais. Neste caso a avaliação entre as amostras de agregados grãos não fator comparativo e sim o resultado da resistência.

A ABNT NBR 7211/2005 prevê que o índice de desgaste por abrasão, deve ser inferior a 50% em massa, do material de ensaio.

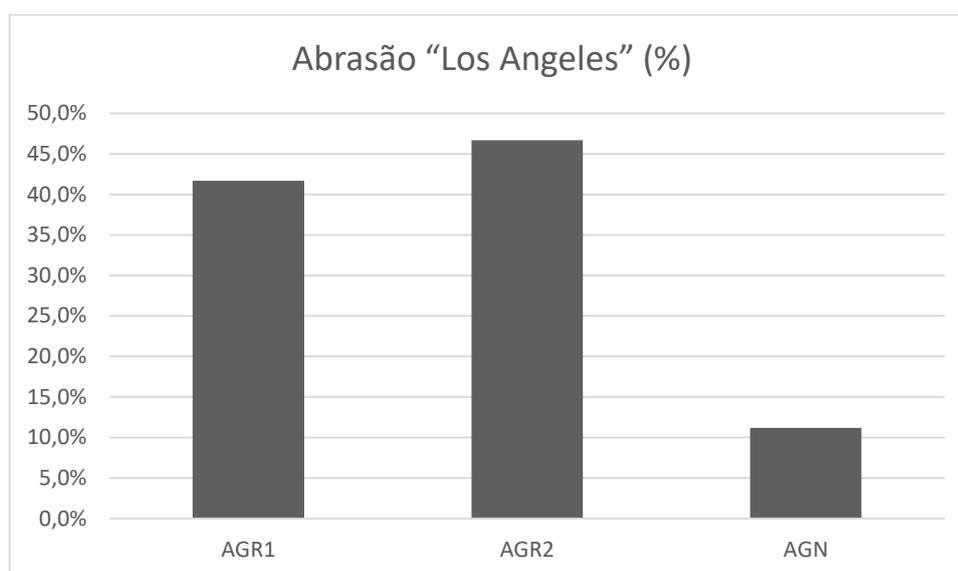
Santos (2006) encontrou valores de desgaste por abrasão de 62,3% e 31,2% para agregados reciclado e natural respectivamente, sendo estes agregados provenientes de atividade de produção de alvenarias. Bazuco (1999) encontrou valores na ordem de 44,5% para agregados grãos reciclados, evidenciando que o agregado reciclado foi 60% superior do que o agregado natural.

Santos (2016) obteve resultado de 27,1% para a perda por abrasão e Buttler (2007) obteve resultado que variam entre 17,8% e 43,6%, ambos os autores realizaram estudos com agregados grãos reciclados a partir de artefatos de concreto.

A partir dos estudos analisados verificou-se que os valores encontrados no presente trabalho são similares a autores que utilizaram agregados graúdos reciclados com presença de materiais diversos, inclusive materiais cerâmicos.

Considerando os resultados demonstrados na Figura 94, os agregados graúdos e o reciclados o agregado graúdo natural atende aos parâmetros estabelecidos na norma ABNT – NBR 7211/2005.

Figura 96 – Gráfico de perda por abrasão dos agregados graúdos reciclados e o agregado graúdo natural



Fonte: Autor, 2019.

## 5.2. DEFINIÇÃO DO TRAÇO PARA COMPOSIÇÃO DO CONCRETO.

Os traços empregados para os concretos produzidos a partir dos agregados reciclados e naturais foram iguais, assim como Buttler (2003) foi utilizado como parâmetro de controle o Abatimento de tronco de cone, mantendo-se o abatimento determinado de  $80 \pm 10$ , corrigindo a proporção de agregados ou água, porem mantendo constante a relação água/cimento de 0,73, buscando o alcance da resistência de projeto de 6 Mpa.

O traço encontrado a partir da dosagem pelo método da ABCP apresenta-se da seguinte forma:

**1 : 3,4 : 3,2 : 0,73**

Os valores correspondem unitariamente a quantidade de cimento, agregado miúdo, agregado graúdo e relação água/cimento.

Para a produção dos concretos adotou-se uma sequência para colocação dos materiais na betoneira mantendo-os por um período de tempo determinado, conforme apresentado na Tabela 27.

Tabela 27 – Ordem da colocação dos materiais constituintes do concreto na betoneira e tempo de mistura

<b>Lançamento</b>	<b>Materiais</b>	<b>Tempo de mistura</b>
1º Lançamento	Agregado Graúdo + 50% da água	3 minutos
2º Lançamento	Cimento + Agregado miúdo	3 minutos
3º Lançamento	50 % da água	5 minutos

Fonte: Autor, 2019.

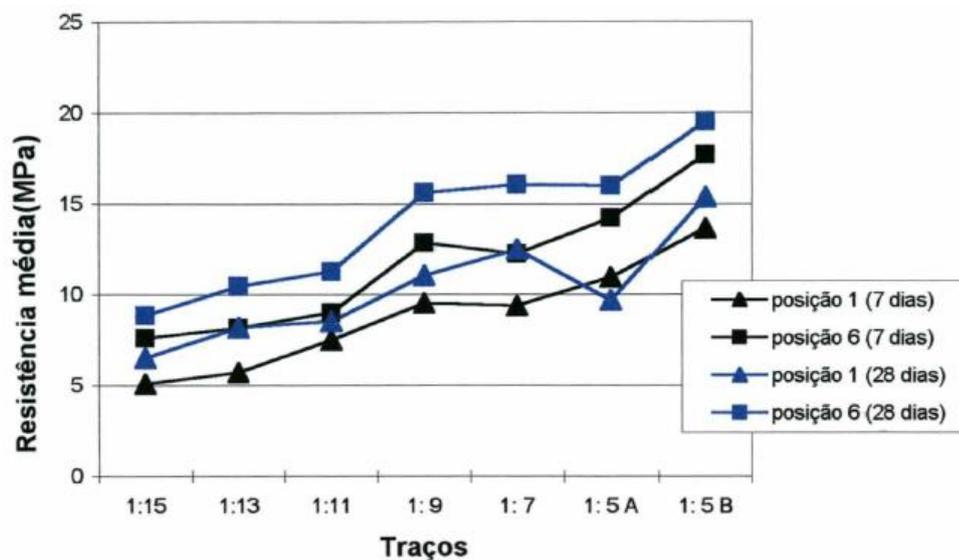
De Pauw (1982) desenvolveu concretos para produção de blocos com agregados reciclados, porém o mesmo manteve parte dos agregados miúdos com área natural, definindo um traço padrão de 1:8, ou seja, uma parte de cimento para 8 partes de agregados, este trabalho estabelece uma relação de 1:6,5, uma parte de cimento para 6,5 partes de agregado, situando-se próximo aos valores de De Pauw.

Tartuce & Giovannetti (1990) afirmam que um traço 1:7 poderá dar a mesma resistência que uma riquíssima dosagem de 1:4, dependendo unicamente dos teores de água/cimento, utilizando-se os mesmos materiais.

Frasson (2000) realizou estudos com diferentes composições de traço sendo de 1:5, 1:7, 1:9, 1:13 e 1:15 para produção de blocos de concreto estrutural, obtendo resultados que demonstram um melhor desempenho em termos de ganhos significativamente para dosagem de 1:7, conforme demonstrado na Figura 97.

Miranda (2000) avaliou o emprego de agregados reciclados em argamassas de revestimento, e para avaliação de fatores que influenciam na fissuração dos revestimentos, dosou várias misturas com diferentes traços, que podem ser verificados na Tabela 28. Neste Estudo o autor também variou a porcentagem de material fino, que passa pela peneira de 0,075 mm.

Figura 97 – Gráfico comparativo de Traço x Resistência para dosagem de concreto para blocos estruturais.



Fonte: Frasson, 2000.

Tabela 28 – Ordem da colocação dos materiais constituintes do concreto na betoneira e tempo de mistura

Teor total de finos < material que passa pela peneira de 0,075mm	Tipo de composição	Traço (massa seca) Cim. : entulho : areia
18	T2	1 : 1,1 : 7,9
	T4	1 : 1,3 : 7,7
	T6	1 : 1,4 : 7,6
25	T2	1 : 3,1 : 5,9
	T4	1 : 3,7 : 5,3
	T6	1 : 3,8 : 5,2
32	T2	1 : 5,0 : 4,0
	T4	1 : 6,2 : 2,8
	T6	1 : 6,3 : 2,7
24	Mista	1 : 1,0 : 7,7
46	E2	1 : 9,0 : 0,0
40	E4	1 : 9,0 : 0,0
40	E6	1 : 9,0 : 0,0

Fonte: Miranda, 2000.

Observa-se no Tabela 28, que as composições E2, E4 e E6, utilizou somente agregados reciclados na proporção de 1 parte de cimento para 9 partes de agregados.

A Tabela 29 apresenta os valores de consumo de material para o traço definido pelo método da ABCP, para a produção de 1 metro cúbico.

Tabela 29 – Consumo de material para produção de 1m<sup>3</sup> de concreto

<b>Cimento (kg)</b>	<b>Agregado Miúdo (kg)</b>	<b>Agregado Graúdo (kg)</b>	<b>Água (L)</b>
274	933	871	200

Fonte: Autor, 2019.

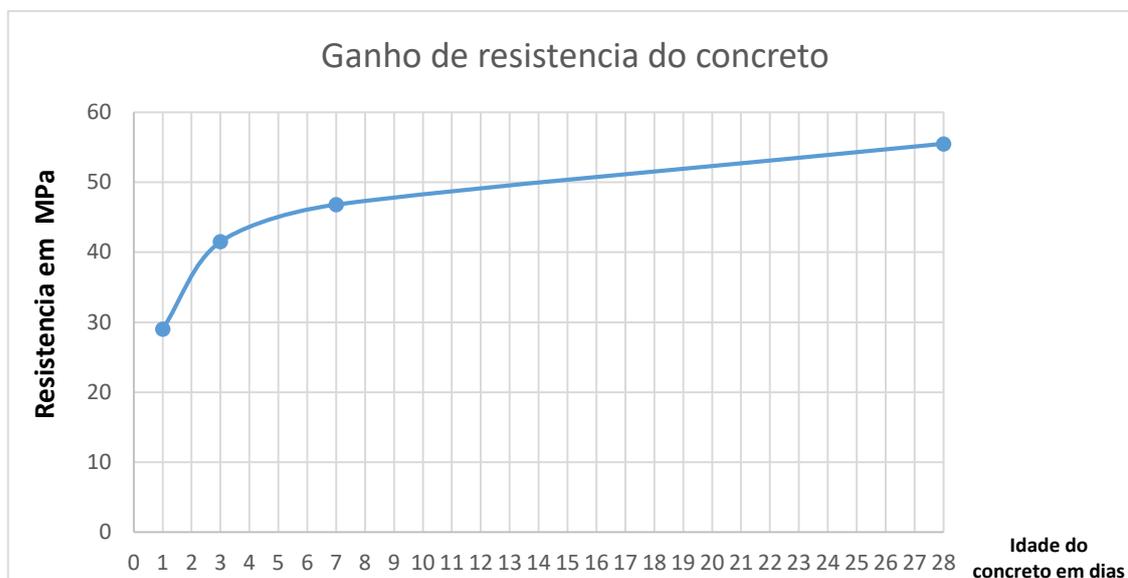
### 5.3. COMPRESSÃO SIMPLES AOS 21 DIAS.

Considerando as informações do fabricante do cimento utilizado neste estudo, experimentalmente optou-se por romper os blocos de prova com 21 dias de idade, uma vez que o cimento escolhido, CPV – ARI, tem como principal característica o ganho de resistência nos primeiros dias após a concretagem, segundo o fabricante no 7º dia o concreto já alcançou uma ordem de 81% de sua resistência em comparação ao valor desta, no 28º dia, idade prevista pela ABNT – NBR 7215/2019 para ensaios de compressão simples em corpos de prova cilíndricos. A Figura 98 demonstra o ganho de resistência do concreto pelo ensaio realizado pelo fabricante em 17 de junho 2016, conforme anexo I, justamente demonstrando que os ganhos de resistência ocorrem nos primeiros dias após a concretagem.

A resistência dos blocos foi determinada seguindo as prescrições da ABNT – NBR 6136/2016, com um número de amostras igual a 6, onde estas foram retificadas por processo automático em equipamento demonstrado anteriormente na metodologia.

Afim de dar confiabilidade ao estudo, paralelamente a ruptura dos blocos com 21 dias, realizou-se o rompimento de corpos de provas cilíndricos a cada 3 dias, sendo que o concreto utilizado foi o mesmo aplicado para a fabricação dos blocos, assim determinou-se de resistência traçando uma curva que demonstrou o ganho de resistência permitindo-se comparar com o valor apresentado na Figura 98.

Figura 98 – Gráfico do ganho de resistência do concreto CPV – ARI (Holcim).



Fonte: Autor, 2019.

### 5.3.1. Abatimento do Tronco de cone

Para o desenvolvimento deste trabalho o abatimento proposto era de  $80 \pm 10$  mm, os concretos foram executados seguindo o proporcionamento proposto para o traço inicial, de acordo com a dosagem estabelecida pelo método da ABCP, contudo os valores iniciais de abatimento demonstrados na Tabela 30, se mostraram fora da especificação para a amostra 1, havendo a necessidade da correção do traço, manteve-se a mesma relação a/c.

No caso da amostra 1, o abatimento se apresentou menor, pois o método foi estabelecido para agregados naturais, quando utilizados para agregados reciclados, que tem por característica uma maior quantidade de materiais pulverulentos, que demandam maior quantidade de água para produção de misturas plásticas.

Tabela 30 – Abatimento de tronco de cone, 1ª avaliação

Abatimento (mm)	Abatimento (mm)	Abatimento (mm)
Concreto amostra 1	Concreto amostra 2	Concreto controle
65	170	90

Fonte: Autor, 2019.

Para a correção do Traço de obtenção do abatimento desejado, incorporou-se a mistura uma quantidade de água de 10 litros, sendo acrescido então 13,8 kg de cimento, garantindo a mesma relação a/c para a mistura. Obtendo um novo abatimento de 80 mm, atendendo os parâmetros iniciais determinados para a amostra 1. Já para a amostra 2, que se encontrava armazenado ao tempo, verificou-se um teor de umidade incorporado correspondente 24%, e para a correção, não se incorporou água na mistura, utilizando somente a água pré-existente no agregado miúdo reciclado. As Figuras 99 a 102, demonstram os abatimentos obtidos.

Figura 99 – Abatimento de tronco de cone amostra 1, primeira verificação



Fonte: Autor, 2019.

Figura 100 – Abatimento de tronco de cone amostra 1, segunda verificação



Fonte: Autor, 2019.

Observa-se que para a amostra de concreto produzida com agregados naturais o valor do abatimento foi assertivo na primeira verificação, este fato dar-se pela menor absorção de água, conforme já definido na literatura, e dos resultados de absorção do presente trabalho.

Outro fator relevante a se destacar é que a saturação previa do agregado miúdo reciclado da amostra AMR2 demonstrou valores satisfatórios de abatimento, corroborando com estudos realizados que atestam melhor trabalhabilidade do concreto na condição de agregados pré saturados. O valor de abatimento da primeira verificação da amostra 2, ocorreu em decorrência da mistura ter sido feita sem a exclusão da água incorporada, ou seja, para o mesmo proporcionamento das demais amostras. Como este valor ficou 112% maior que o previsto, optou-se por descartar a mistura, ao invés de corrigi-la, sendo que a segunda verificação, atendeu os requisitos iniciais para o abatimento pretendido.

Figura 101 – Abatimento de tronco de cone amostra 2, primeira verificação



Fonte: Autor, 2019.

Figura 102 – Abatimento de tronco de cone amostra 3, primeira verificação



Fonte: Autor, 2019.

Os valores finais de abatimento encontram-se na Tabela 31.

Tabela 31 – Abatimento de troco de cone, 2ª avaliação

<b>Abatimento (mm)</b>	<b>Abatimento (mm)</b>	<b>Abatimento (mm)</b>
<b>Concreto amostra 1</b>	<b>Concreto amostra 2</b>	<b>Concreto controle</b>
80	90	90

Fonte: Autor, 2019.

Santos (2006) em sua pesquisa com agregados reciclados da etapa de alvenarias obteve para o traço de 1:6,5 abatimentos que variaram de 55 mm para incorporação de 100% dos agregados reciclados até 110 mm para misturas com incorporação de 25% de agregados reciclados.

Tenório (2007) também realizou dosagem com diferentes proporções de incorporação de agregados reciclados, obtendo valores de abatimento entre 45 mm e

185 mm, destaca-se que o autor fez a incorporação de aditivos plastificantes em suas misturas.

### 5.3.2. Consumo real de cimento

O consumo real de cimento foi avaliado em virtude da correção da dosagem, para atender os valores de abatimento determinados inicialmente, desde modo a tabela 32, apresenta o consumo inicial e real de cimento para composição dos concretos das amostras 1, 2 e controle.

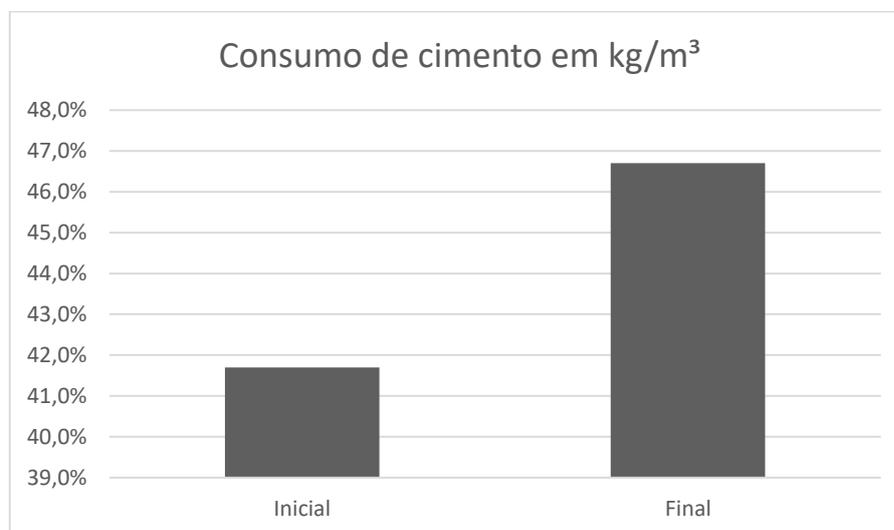
Tabela 32 – Consumo real de cimento

	Consumo de cimento (kg/m <sup>3</sup> ) Concreto amostra 1	Consumo de cimento (kg/m <sup>3</sup> ) Concreto amostra 2	Consumo de cimento (kg/m <sup>3</sup> ) Concreto controle
<b>Inicial</b>	274	274	274
<b>Final</b>	411	274	274

Fonte: Autor, 2019.

De acordo com a tabela 31, as amostras 2 e o controle, não alteram o consumo de cimento para correção da dosagem, contudo a amostra 1 apresentou um aumento de 50% do previsto inicialmente, conforme pode ser verificado na Figura 103.

Figura 103 – Consumo de cimento para amostra 1



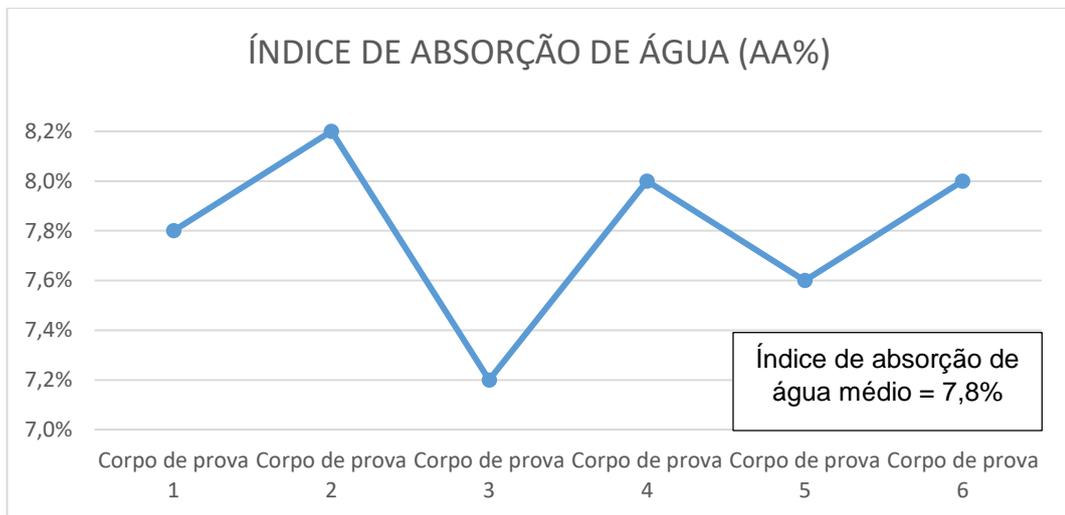
Fonte: Autor, 2019.

Os valores apresentados para o consumo referem-se a produção de 1m<sup>3</sup> de concreto, esse aumento para amostra 1 se deu em virtude de que para se corrigir o abatimento foi necessário a incorporação de água, contudo para manter constante a relação água/cimento, fez-se necessário a incorporação de cimento, refletindo nos dados apresentados na Figura 103.

5.3.3. Absorção de água

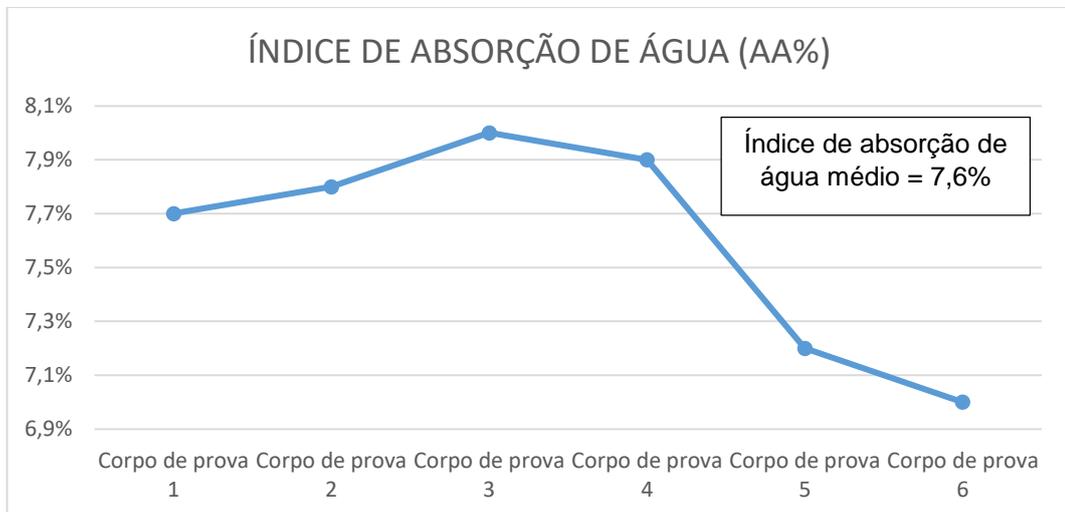
Os resultados para a absorção de água constam no anexo III de forma analítica, sendo expressos graficamente nas Figuras 104 a 109.

Figura 104 – Absorção de água amostra 1, Modulação M - 10



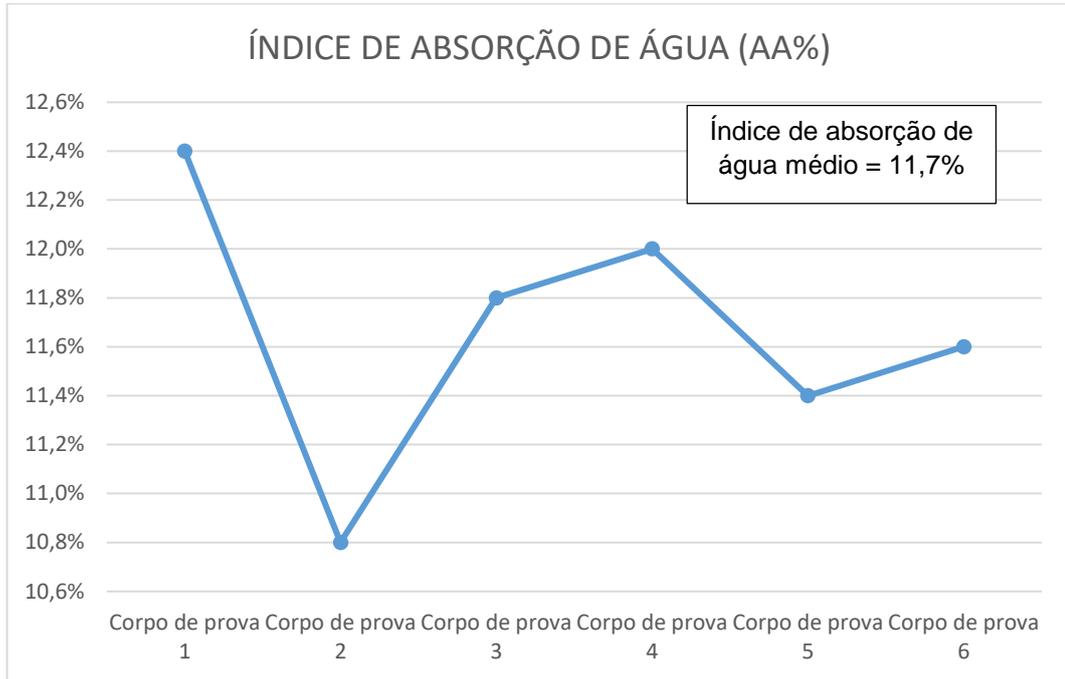
Fonte: Autor, 2019.

Figura 105 – Absorção de água amostra 1, Modulação M – 15



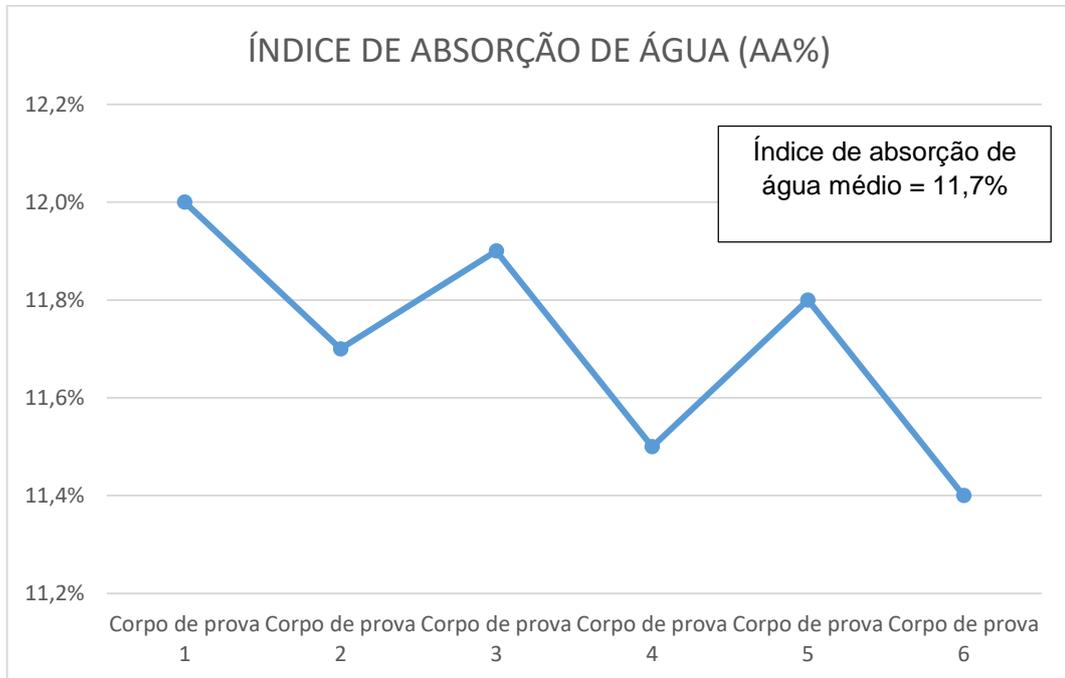
Fonte: Autor, 2019.

Figura 106 – Absorção de água amostra 2, Modulação M - 10



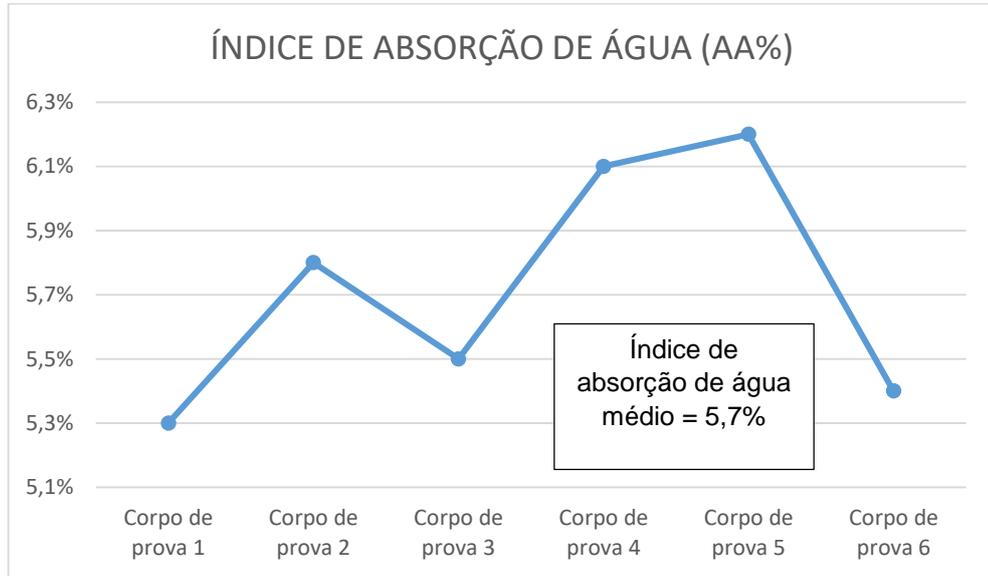
Fonte: Autor, 2019.

Figura 107 – Absorção de água amostra 2, Modulação M - 15



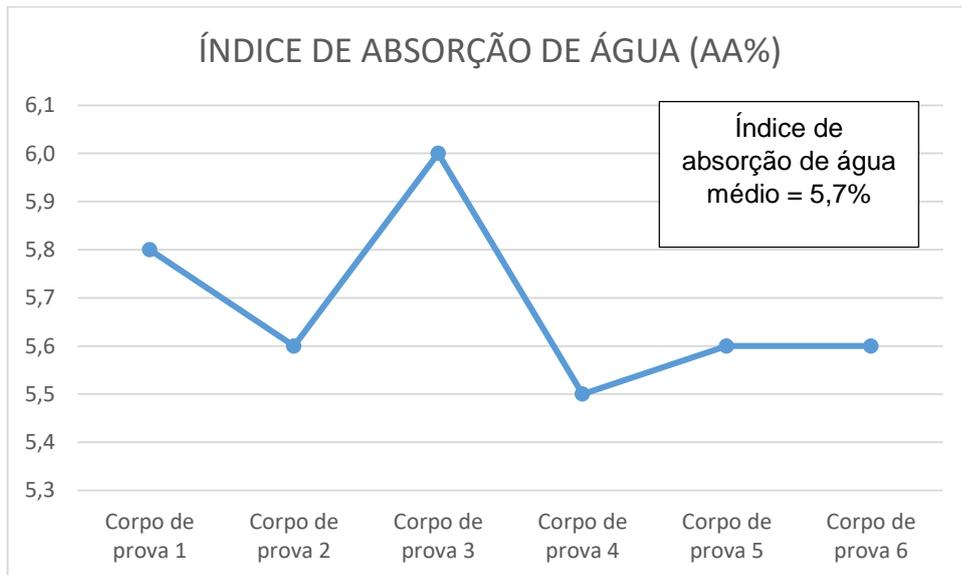
Fonte: Autor, 2019.

Figura 108 – Absorção de água controle, Modulação M - 10



Fonte: Autor, 2019.

Figura 109 – Absorção de água controle, Modulação M – 15



Fonte: Autor, 2019.

Considerando os dados descritos anteriormente, observa-se que os valores de absorção de água para os blocos de concreto com agregados reciclados apresentam valores superiores ao de agregado natural, tal resultados era esperado, pois ao analisar a absorção água para os agregados isoladamente, já se havia verificada tal tendência.

Proporcionalmente, quando comparados as amostras 1 e 2 em relação ao controle, obtem-se que a Amostra 1 apresenta absorção 33% maior do que a amostra controle, sendo que a Amostra 2 apresenta absorção 105% maior do que a amostra controle. Já quando comparadas entre si a relação é de que a amostra 2 tem absorção 54% maior do que a amostra 1.

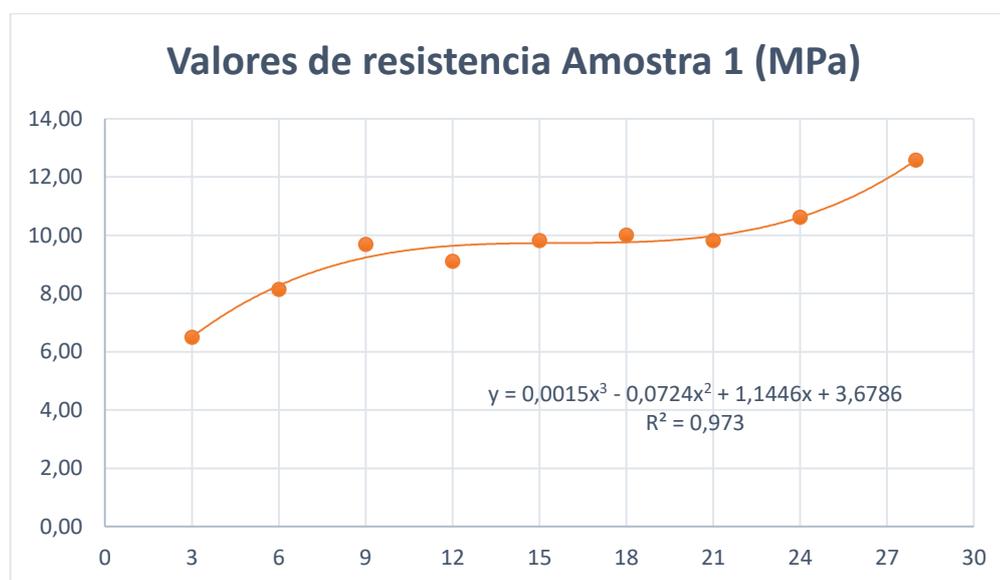
#### 5.3.4. Resistencia a compressão simples

Os resultados obtidos para a compressão simples se dividem em duas etapas, na primeira verificou-se a resistência dos corpos de prova cilíndricos moldados com o mesmo concreto das amostras 1, 2 e controle, de modo que o rompimento ocorreu nas idades de 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24 e 28 dias, assim atende-se o previsto na ABNT – NBR 7215/2019, sendo possível estabelecer o ganho de resistência do concreto afim de demonstrar que a resistência encontrada aos 21 dias é suficiente para permitir a utilização dos blocos.

##### 5.3.4.1. Resistencia a compressão simples para os corpos de provas cilíndricos

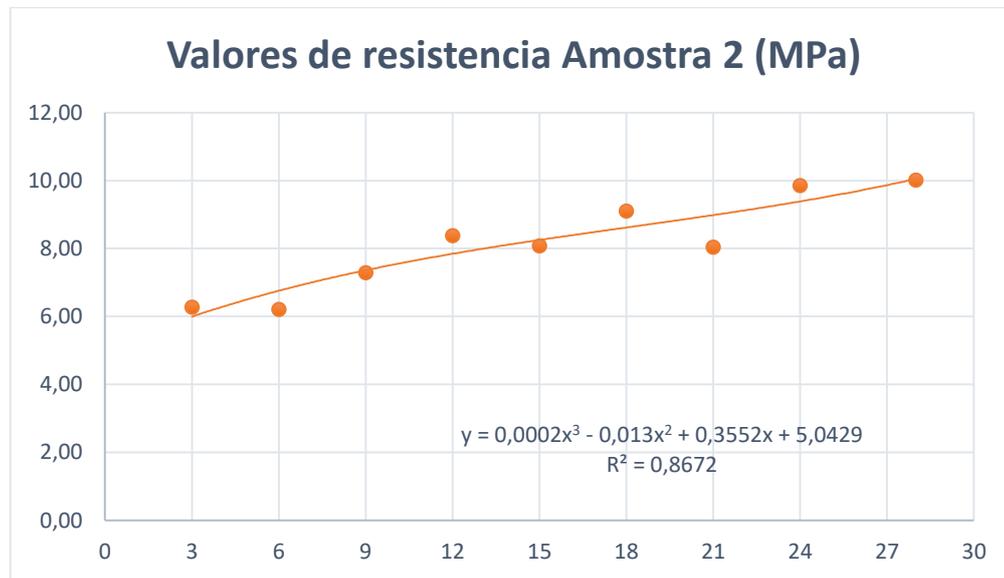
Os resultados obtidos de resistência a compressão simples dos corpos de prova apresentam-se na Figura 110, Figura 111 e Figura 112.

Figura 110 – Ganho de resistência em Mpa para corpos de prova cilíndricos da amostra 1



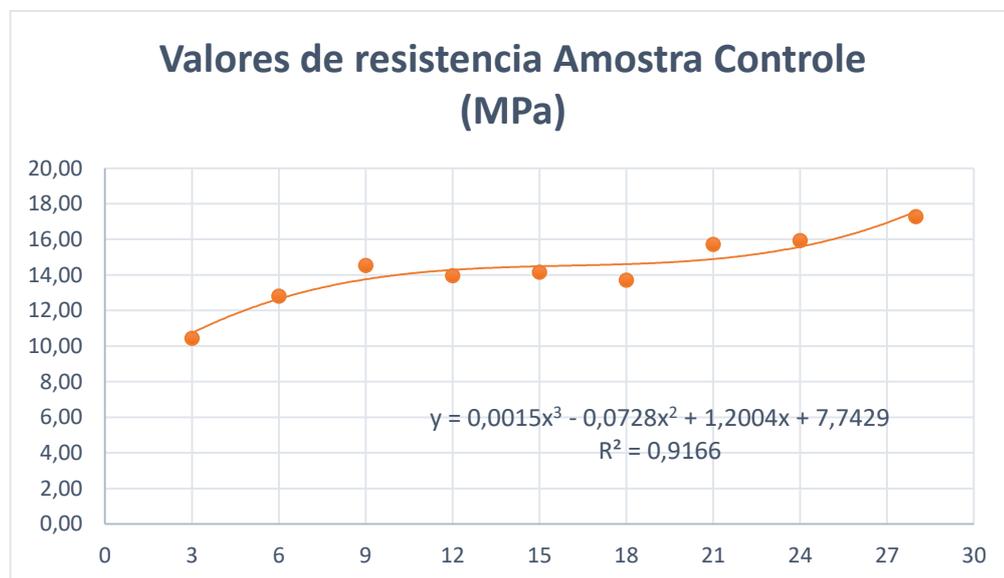
Fonte: Autor, 2019.

Figura 111 – Ganho de resistência em Mpa para corpos de prova cilíndricos da amostra 2



Fonte: Autor, 2019.

Figura 112 – Ganho de resistência em Mpa para corpos de prova cilíndricos do controle



Fonte: Autor, 2019.

Os resultados de ganho de resistência foram expressos utilizando equação polinomial de ordem 3, obtendo coeficientes para a regressão acima de 0,86. Pelas figuras observa-se que os resultados de ganho de resistência na amostra 1, foi de ganho constante, já nas amostras 2 e controle o ganho de resistência do 21<sup>o</sup> ao 28<sup>o</sup>

dia foram menores, em termos percentuais os valores de ganho de resistência no período anteriormente citado está expresso na Tabela 33.

Tabela 33 – Ganho médio de resistência entre 21 e 28 dias

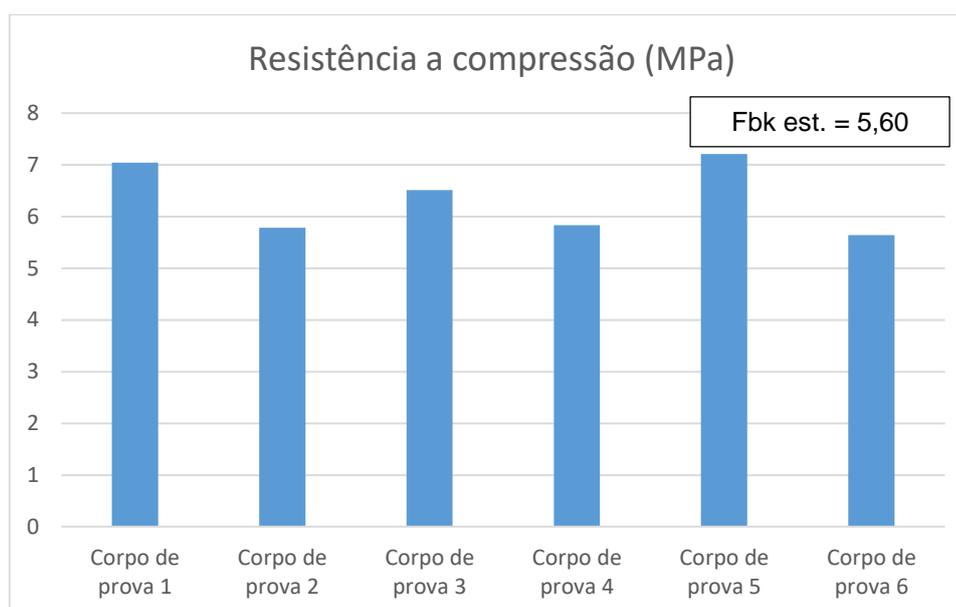
Idade (dias)	Resistencia (MPa)	Resistencia (MPa)	Resistencia (MPa)
	Concreto amostra 1	Concreto amostra 2	Concreto controle
21	7,87	8,04	15,72
28	12,59	10,01	17,29
<b>Ganho de resistência</b>	60%	24,5%	10%

Fonte: Autor, 2019.

#### 5.3.4.2. Resistencia a compressão simples para os Blocos M – 15 e M - 10

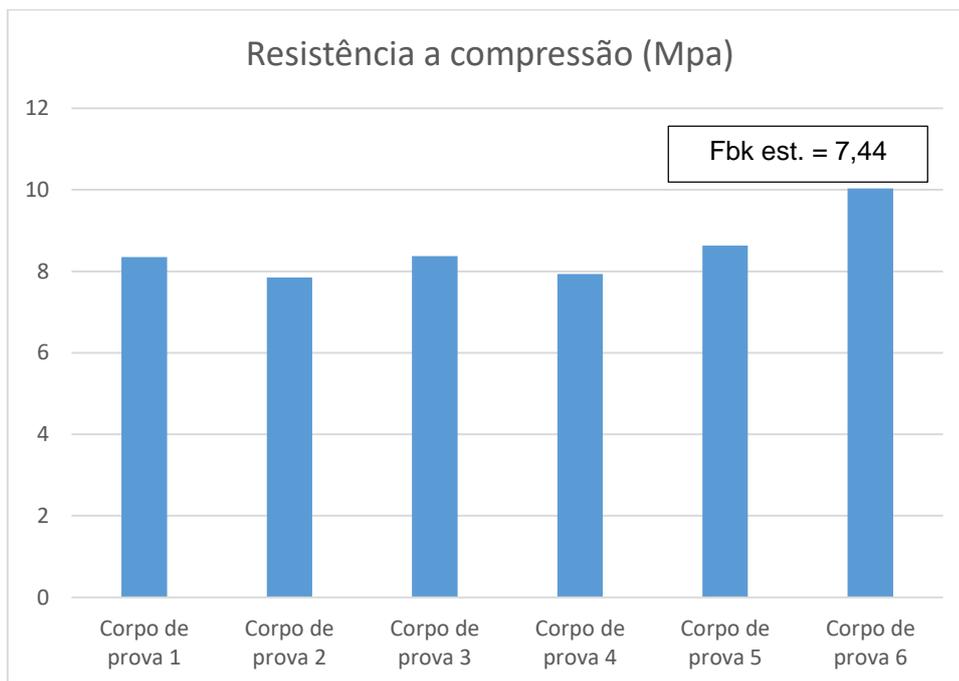
Os resultados para a resistência a compressão simples dos blocos de concreto com idade de 21 dias constam no anexo III de forma analítica, sendo expressos graficamente na Figuras 113, Figura 114, Figura 115, Figura 116, Figura 117 e Figura 118.

Figura 113 – Resistencia a compressão simples do bloco de concreto Amostra 1, Modulação M - 10



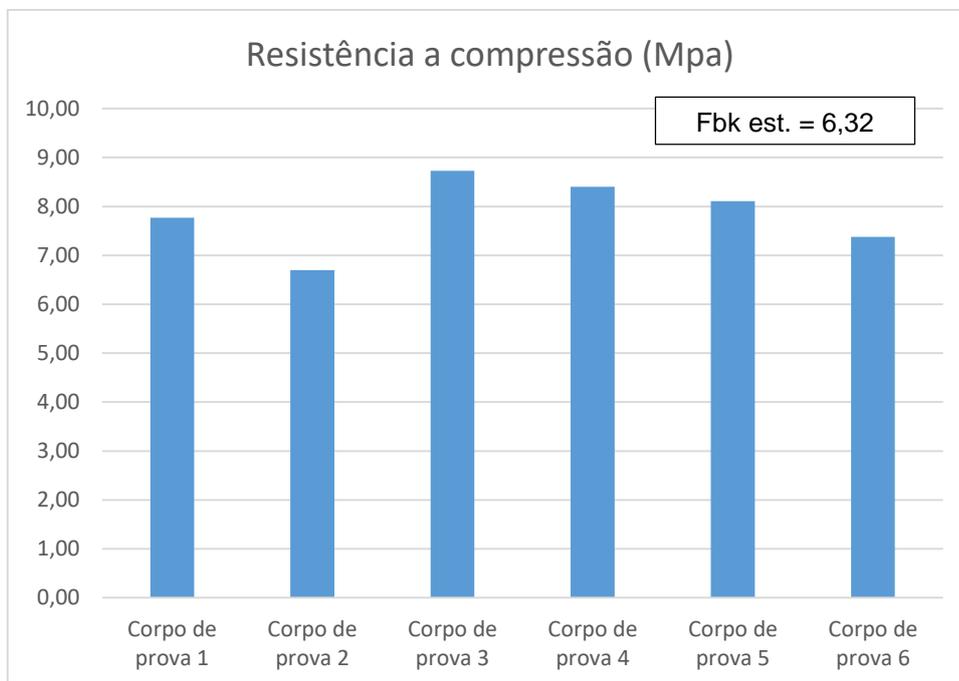
Fonte: Autor, 2019.

Figura 114 – Resistencia a compressão simples do bloco de concreto Amostra 1, Modulação M – 15



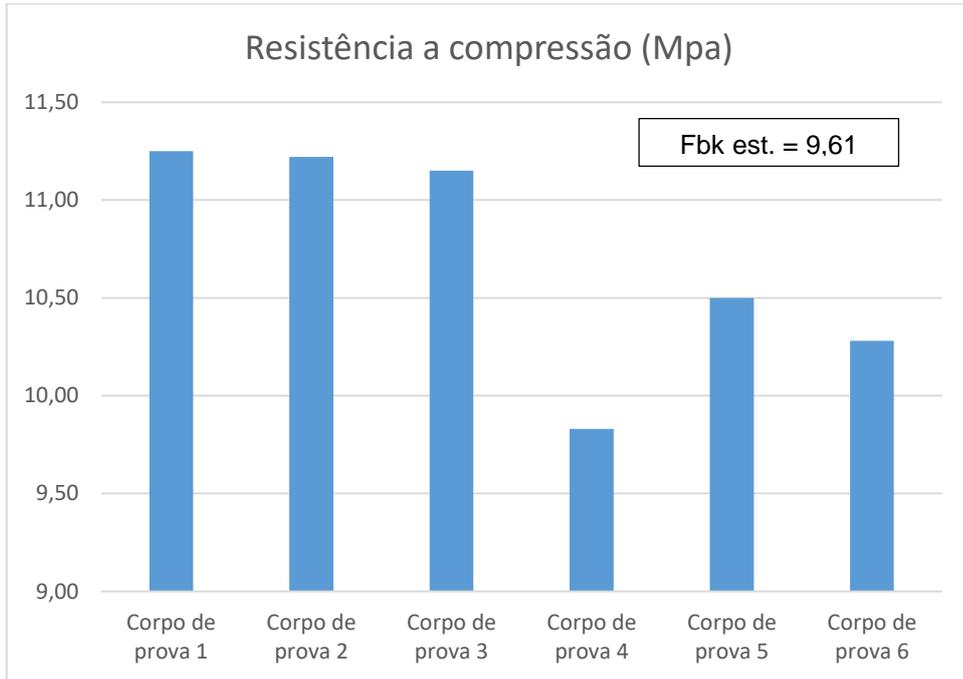
Fonte: Autor, 2019.

Figura 115 – Resistencia a compressão simples do bloco de concreto Amostra 2, Modulação M – 10



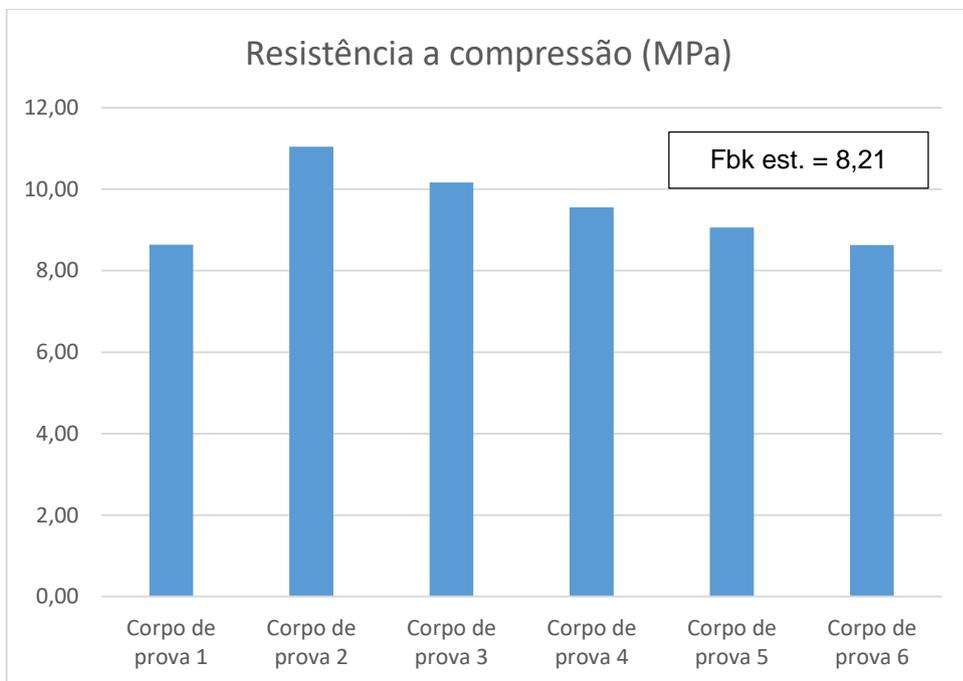
Fonte: Autor, 2019.

Figura 116 – Resistencia a compressão simples do bloco de concreto Amostra 2, Modulação M - 15



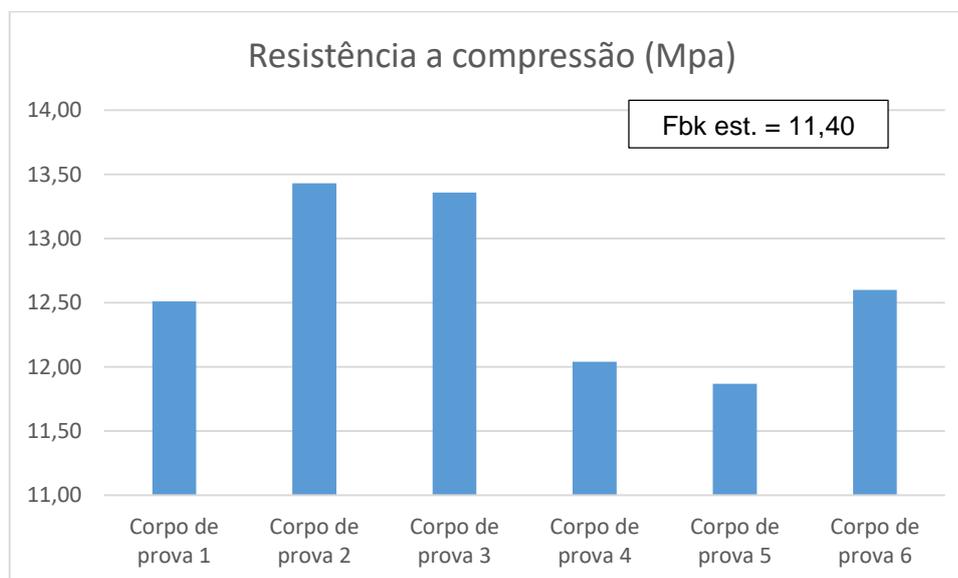
Fonte: Autor, 2019.

Figura 117 – Resistencia a compressão simples do bloco de concreto da Amostra controle, Modulação M – 10



Fonte: Autor, 2019.

Figura 118 – Resistência a compressão simples do bloco de concreto da Amostra controle, Modulação M – 15



Fonte: Autor, 2019.

Considerando que geometria proposta neste trabalho é diferente da praticada no mercado de blocos de concreto, os resultados de resistência a compressão simples foram comparados entre as amostras com agregados reciclados, e a amostra controle, com agregados naturais.

Com base nas figuras citadas anteriormente observa-se que resistência da amostra 1, em relação a amostra controle foi inferior em 47% para a modulação M - 10 e 53% para a modulação M -15. Para resistência da amostra 2, em relação a amostra controle, esta foi inferior em 30% para a modulação M -10 e 18,6% para a modulação M -15. Quando comparadas entre si os valores percentuais entre as amostras 1 e 2 são na ordem de 13% para a modulação M -10 e 29% para a modulação M -15.

Ressalta-se que as resistências obtidas permitem a utilização dos blocos como material estrutural, inclusive em edificações de multi – pavimentos, observando a classificação apresentada anteriormente na Tabela 20. Outro aspecto importante de se mencionar é em relação ao peso do bloco, sendo que os blocos nas modulações M – 10 pesaram em média 13,6 kg e em M – 15 pesaram em média 20,6 kg.

#### 5.4. COMPARATIVO DO CONSUMO DE AGREGADO DE RCC PARA A NOVA GEOMETRIA PROPOSTA FRENTE AOS AGREGADOS NATURAIS CONSUMIDOS PARA FABRICAÇÃO DOS BLOCOS CONVENCIONAIS.

Pelos resultados apresentados na tabela 30 verifica-se que os resultados para o consumo de agregados são satisfatórios quando comparados com bloco proposto por Buttler (2007), sendo que a menor modulação desenvolvida neste trabalho, superou o consumo de agregados para o modelo convencional, analisando percentualmente, define-se que o bloco de mesma modulação, ou seja, o bloco M-15 é 94% maior e que na modulação M – 10, esta diferença é de 28%. Outro aspecto interessante da Tabela 30, é que a mesma mostra qual o consumo de agregado para produção de 1000 unidades de bloco, pois comercialmente a compra destes materiais é realizada em unidade de milhares, sendo que para a edificação de 1 m<sup>2</sup> de alvenaria o consumo médio destes blocos é de 12,5 unidades. Lima (2018) realizou um estudo comparativo do consumo de blocos de concreto com blocos cerâmicos em um empreendimento do Programa Minha Casa Minha Vida na cidade de Manaus/AM, definido que o consumo aproximado de blocos de concreto para edificar 30 m<sup>2</sup> é de 306,6 unidades, considerando que a planta de apartamento tipo do estudo de Lima era de 41,16 m<sup>2</sup> pode-se estimar que para um apartamento serrão consumidos 420,6 blocos, gerando assim um consumo aproximado de 4,08 m<sup>3</sup> de agregados reciclados.

Destaca-se que segundo a ABRELPE (2012) a coleta per capita de RCC é de 0,656 kg/hab/dia e que a massa média dos agregados reciclados é de 2300kg/m<sup>3</sup>, a construção de um apartamento equivaleria a coleta de RCC de 01 habitante para 14.304 dias. Para elucidar o quanto a uso do RCC seria importante em termos de consumo e conseqüentemente em redução de aterros, a utilização de 4,08m<sup>3</sup>, equivale a coleta de RCC para um grupo de 39 pessoas durante 1 ano. Se considerarmos que a população brasileira é de aproximadamente 203 milhões de pessoas, se pode afirmar que a utilização dos resíduos em termos de coleta diária, se aplicados para a construção dos blocos objeto desse estudo equivaleria a uma cidade com 57855 habitantes.

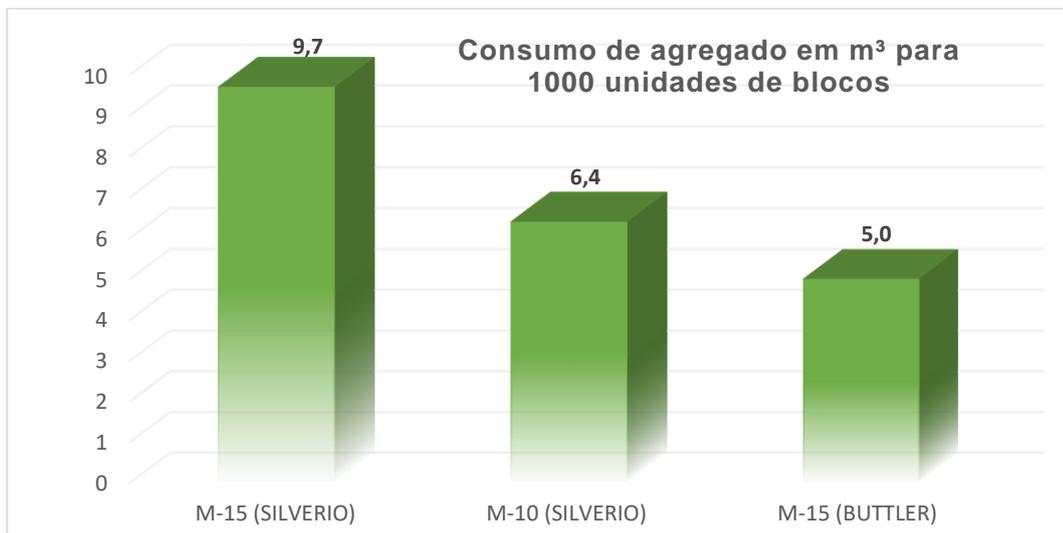
A Figura 119 demonstra que a nova geometria proposta para os blocos de concreto, apresenta valores superiores quando comparados a geometria convencional.

Tabela 34 – Consumo de material para produção de 1000 unidades de blocos de concreto

<b>Autor</b>	<b>Modulação</b>	<b>Dimensão - LxHxC (mm)</b>	<b>Volume unitário (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Volume Milheiro (m<sup>3</sup>)</b>
SILVERIO	M - 10	90 x 190x390	0,0097	9,7
	M - 15	140 x 190x390	0,0064	6,4
BUTTLE (2007)	M - 15	140 x 190x390	0,005	5,0

Fonte: Autor, 2019.

Figura 119 – Gráfico comparativo de consumo de agregado para nova geometria x geometria convencional



Fonte: Autor, 2019.

## 6. CONCLUSÕES

Diante do exposto no presente trabalho, conclui-se que os blocos de concreto produzidos com agregados miúdos e graúdos reciclados permite sua utilização como bloco estrutural, pois atente a especificação da ABNT NBR 6136/2006, apresentando resistência superior a 3,0 Mpa.

Conclui-se também que o uso dos agregados reciclados diminui o impacto ambiental decorrente da geração de RCC, principalmente no tocando a disposição incorreta, sendo isto uma realidade no Brasil, constatou-se que a o uso dos RCC como agregados representa significativamente os dados de coleta per capito dos mesmos, contribuindo assim para o aumento da vida útil dos aterros de RCC, considerando que estes passariam a receber materiais que não apresentem características de agregados para composição de concretos.

O estudo em epígrafe demonstrou que as características dos agregados reciclados se assemelham ao agregado natural, principalmente demonstrando que os agregados em estudo apresentaram valores similares a outros já estudados anteriormente por vários autores e sobre tudo grande parte propriedades dos agregados reciclados atendem aos parâmetros normativos publicados pela ABNT.

Destaca-se que os resultados de avaliação da resistência dos blocos aos 21 dias de idade apresentaram-se menores do que chegariam aos 28 dias, isto foi demonstrado pelas curvas de ganho de resistência para os corpos de prova cilíndricos, apresentadas no trabalho.

Diante o exposto sugere-se continuidade em estudos com a geometria proposta dentre outras analise conforme elucidadas a seguir.

## 6.1 SUGESTÕES DE TRABALHALHOS FUTUROS

Com base nos resultados apresentados e discutidos, sugere-se para trabalhos futuros, a utilização da forma desenvolvida ou similar, cuja quantidade de consumo seja maior que as formas tracionais, mas com a incorporação de agregados reciclados leves, como Isopor, EVA, borracha de pneu, fibra de PET, papel aluminizado ou outros materiais que possam contribuir com a resistência, mas conferindo menor peso ao bloco.

Sugere-se também o desenvolvimento de blocos com aditivos impermeabilizantes para reduzir os percentuais de absorção de água dos blocos com agregados reciclados.

Por fim sugere-se que seja avaliada a resistência dos blocos com 28 dias e também com proporcionamento diferentes em relação a quantidade de RCC incorporado.

## 7. REFERÊNCIAS

- ALLEN, Edward; IANO, Joseph. **Fundamentos da Engenharia de Edificações. Materiais e Métodos.** São Paulo: Bookman, 2013.
- ALMEIDA, Luís Carlos de. **Notas de aula da disciplina de Concreto Armado.** Faculdade Estadual de Campinas. Departamento de estruturas, Campinas, 2002.
- ANGULO, Sérgio Cirelli. **VARIABILIDADE DE AGREGADOS GRAÚDOS DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO DE DEMOLIÇÃO RECICLADOS.** 2000. 155 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORLAND - **ABCP.** Programa Setorial da Qualidade. PSQ de Cimento Portland. Revista ABCP, São Paulo, n. 6, 2018. Disponível em: <[https://www.abcp.org.br/cms/wp-content/uploads/2018/06/PBQP-H\\_Cimento-Fev2018.pdf](https://www.abcp.org.br/cms/wp-content/uploads/2018/06/PBQP-H_Cimento-Fev2018.pdf)>. Acesso em: 20 jan.2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E DEMOLIÇÃO - **ABRECON.** (2016). Panorama das usinas de reciclagem de RCD no Brasil: A Pesquisa Setorial ABRECON 2014/2015. São Paulo. SP
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS – **ABRELPE.** Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2010. Abrelpe, 2011. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/downloads/Panorama2010.pdf>>.
- \_\_\_\_\_. **ABRELPE.** Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2012. Abrelpe, 2012. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/downloads/Panorama2012.pdf>>.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **ABNT.** NBR 6136. Blocos vazados de concreto simples para alvenaria — Requisitos. Rio de Janeiro. 2016. 10p.
- \_\_\_\_\_. **ABNT.** NBR 14931. Execução de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro. 2004. 53p.
- \_\_\_\_\_. **ABNT.** NBR 12655. Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento. Rio de Janeiro. 2015. 23p.
- \_\_\_\_\_. **ABNT.** NBR 7211. Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro. 2009. 9p.
- \_\_\_\_\_. **ABNT.** NBR 15116. Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos. Rio de Janeiro. 2004. 12p.
- \_\_\_\_\_. **ABNT.** NBR NM 248. Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro. 2003. 6p.
- \_\_\_\_\_. **ABNT.** NBR NM 52. Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro. 2009. 6p.
- \_\_\_\_\_. **ABNT.** NBR NM 30. Agregado miúdo - Determinação da absorção de água. Rio de Janeiro. 2000. 3p.

- \_\_\_\_\_. **ABNT**. NBR NM 53. Agregado graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro. 2009. 8p.
- \_\_\_\_\_. **ABNT**. NBR NM 45. Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro. 2006. 8p.
- \_\_\_\_\_. **ABNT**. NBR NM 46. Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 um, por lavagem. Rio de Janeiro. 2003. 6p.
- \_\_\_\_\_. **ABNT**. NBR 7218. Agregados — Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis. Rio de Janeiro. 2010. 3p.
- \_\_\_\_\_. **ABNT**. NBR 9936. Agregados — Determinação do teor de partículas leves — Método de ensaio. Rio de Janeiro. 2013. 4p.
- \_\_\_\_\_. **ABNT**. NBR 6467. Agregados - Determinação do inchamento de agregado miúdo - Método de ensaio. Rio de Janeiro. 2006. 5p.
- \_\_\_\_\_. **ABNT**. NBR 9775. Agregado miúdo – Determinação do teor de umidade superficial por meio do frasco de Chapman – Método de ensaio. Rio de Janeiro. 2011. 3p.
- \_\_\_\_\_. **ABNT**. NBR NM 49. Agregado miúdo - Determinação de impurezas orgânicas. Rio de Janeiro. 2001. 3p.
- \_\_\_\_\_. **ABNT**. NBR 7809. Agregado graúdo - Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro - Método de ensaio. Rio de Janeiro. 2009. 3p.
- \_\_\_\_\_. **ABNT**. NBR NM 51. Agregado graúdo - Ensaio de abrasão "Los Angeles". Rio de Janeiro. 2001. 6p.
- \_\_\_\_\_. **ABNT**. NBR NM 67. Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro. 1998. 8p.
- \_\_\_\_\_. **ABNT**. NBR 9778. Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro. 2005. 4p.
- \_\_\_\_\_. **ABNT**. NBR 12118. Blocos vazados de concreto simples para alvenaria — Métodos de ensaio. Rio de Janeiro. 2013. 14p.
- BAZUCO, Régis Sandro. Utilização de agregados reciclados de Concreto para produção de novos Concretos. 1999. 128f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal Santa Catarina, Florianópolis. 1999.
- BODI, J. **Experiência Brasileira com Entulho Reciclado na Pavimentação**. In: **RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, ALTERNATIVA ECONÔMICA PARA A PROTEÇÃO AMBIENTAL**, 29., São Paulo, 1997. Anais... São Paulo: Núcleo de Desenvolvimento de Pesquisas POLI /UPE, 1997. p. 56-63.
- BOGGIO, Aldo José. **Estudo Comparativo de Métodos de Dosagem de Concreto de Cimento Portland**. 2000. 182f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre, 2000.
- BRASIL**. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998 e dá outras providências. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2007-2010/2010/Lei/L12305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12305.htm)>. Acesso em: 10 jan.2018.

- \_\_\_\_\_. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Resolução 275, de 25 de abril de 2001. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=273>>. Acesso em: 12 jan.2018.
- \_\_\_\_\_. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Resolução 307, de 05 de julho de 2002. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=307>>. Acesso em: 12 jan.2018.
- \_\_\_\_\_. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Resolução 005, de 05 de agosto de 1993. Dispõe sobre o gerenciamento de resíduos sólidos gerados nos portos, aeroportos, terminais ferroviários e rodoviários. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/MMA/RE0005-050893.PDF> Acesso em: 12 fev. 2019.
- \_\_\_\_\_. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Resolução 431, de 24 de maio de 2011. Altera o art. 3º da Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, estabelecendo nova classificação para o gesso. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=649>. Acesso em: 12 fev. 2019.
- \_\_\_\_\_. Ministério das Cidades. Ministério do Meio Ambiente. Área de manejo de resíduos da construção e resíduos volumosos: orientação para o seu licenciamento e aplicação da Resolução Conama 307/2002. 2005.
- \_\_\_\_\_. Ministério do Planejamento. Secretária do Desenvolvimento da Infraestrutura (SDI). PAC 6º Balaço 2005 - 2008. Disponível em: <http://www.pac.gov.br/pub/up/relatorio/11f9e9b2f7cbe3ec5c1f9f67b5f3be.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2019.
- BUTLER, Alexandre Marques. **Concreto com Agregados Graúdos Reciclados de Concreto: influência da idade de reciclagem nas propriedades dos agregados e concretos reciclados**. São Carlos, 2003. 199 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.
- CABRAL, Antonio Eduardo Bezerra; MOREIRA, Kelvya Maria de Vasconcelos. **Manual sobre os resíduos sólidos da construção civil**. Fortaleza: Sinduscon, 2011. Disponível em: <<http://www.ibere.org.br/anexos/325/2664/manual-de-gestao-de-residuos-solidos---ce-pdf>>. Acesso em: 07 jan.2018.
- CABRAL, Antonio Eduardo Bezerra. **Modelagem das propriedades mecânicas e de durabilidade de concretos produzidos com agregados reciclados, considerando-se a variabilidade na composição do RDC**. 2007. 280f. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.
- CAPELLO, Giuliana. **Entulho vira matéria-prima**. Técnica, São Paulo, ed. 112, jul. 2006. Disponível em: . Acesso em: 09 mai. 2018.

- H. Carasek, A.C.C. Girardi, R.C. Araújo, R. Angelim. **Estudo e avaliação de agregados reciclados de resíduo de construção e demolição para argamassas de assentamento e de revestimento.** Revista Cerâmica 64, 370 (2018) 288. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/ce/v64n370/1678-4553-ce-64-370-288.pdf>. Acesso em: 25 mai. 2019.
- CARRIJO, P. M. **Análise da influência da massa específica de agregados graúdos provenientes de resíduos de construção e demolição no desempenho mecânico do concreto.** 2005. 146 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.
- CARVALHO, Anderson D. **Reciclagem na indústria do concreto: uma possibilidade econômica e tecnicamente viável para a construção civil.** 2008. 130 f. Dissertação (mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.
- CAVALCANTI, V. M. M. e PARAHYBA, R. E. R. **"A indústria de agregados para construção civil na região metropolitana de Fortaleza"**, DNPM, Fortaleza. 2011.
- CORDEIRO, L.N.P. **Análise dos parâmetros principais que regem a variabilidade de concretos produzidos com agregados graúdos reciclados de concreto.** 2013. 127 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.
- CUNHA JUNIOR, Nelson Boechat. Cartilha de gerenciamento de resíduos sólidos para a construção civil. Belo Horizonte: SINDUSCON/MG, 2005. Disponível em: <[http://www.projetoreciclar.ufv.br/docs/cartilha/residuos\\_solidos.pdf](http://www.projetoreciclar.ufv.br/docs/cartilha/residuos_solidos.pdf)>. Acesso em: 07 jan.2018.
- CUNHA, José Celso. **A história das construções**, v. 3. São Paulo: Autêntica, 2012a.
- CUNHA, José Celso. **A história das construções.** Do panteão de Roma ao panteão de Paris, v. 4. São Paulo: Autêntica, 2012b.
- DE PAUM, C. **Recyclage des descombres d'Une Ville Sinistree.** CSTC, revue n.4. p 12-28. Dez. 1982
- DIAS, Aniel de Melo et al. **O concreto sustentável brasileiro.** Revista Construindo, Belo Horizonte, v. 8, 1º ed., p. 84-97, jan./jun., 2017. Disponível em: <<http://www.fumec.br/revistas/construindo/article/view/5456>>. Acesso em: 13 jan.2018.
- FILHO, José Américo Alves Salvador. **Blocos de Concreto para Alvenaria em Construções Industrializadas.** 2007. 246f. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas), Universidade São Paulo – USP. São Carlos. 2007.
- FRASSON JUNIOR, Artêmio. **Proposta de metodologia de dosagem e controle do processo produtivo de blocos de concreto para alvenaria estrutural.** 2000. 162f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal Santa Catarina, Florianópolis. 2000.
- GONÇALVES, Rodrigo Dantas Casillo. **Agregados reciclados de resíduos de concreto – Um novo material para dosagens estruturais.** São Carlos, 2001.

- 148 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.
- HELENE, Paulo; TERZIAN, Paulo. **Manual de dosagem e controle do concreto**. 1 ed. São Paulo: PINI; Brasília, DF: SENAI 1993. 349p.
- HOLCIM BRASIL S/A (Cimento e Concreto). **Tipos de cimentos**. Disponibilizado pela internet: <http://www.holcim.com.br/pt/produtos-e-servicos/cimento/tipos-decimento>. HTML Acesso em 10 set. 2018.
- INSTITUTO BRASILEIRO DO CONCRETO - **IBRACON**. Concreto: material construtivo mais consumido no mundo. Revista Concreto e Construções, São Paulo, ano XXXVII, n. 53, jan./fev./mar. 2009, p. 14-9. Disponível em: [http://ibracon.org.br/publicacoes/revistas\\_ibracon/rev\\_construcao/pdf/revista\\_concreto\\_53.pdf](http://ibracon.org.br/publicacoes/revistas_ibracon/rev_construcao/pdf/revista_concreto_53.pdf). Acesso em: 12 jan.2018.
- ITAMBÉ**. Cimento para indústrias de pré-moldados. Disponível em: <<http://www.cimentoitambe.com.br/segmento-atendido/industrias/>>. Acesso em: 08 de fev.2018.
- JOHN, Vanderley Moacyr; AGOPYAN, Vahan. **Reciclagem de resíduos na construção civil: Contribuição para metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. São Paulo, 2000. 113p. Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil.
- LEITE, Mônica Batista. **Avaliação das Propriedades Mecânicas de Concretos Produzidos com Agregados Reciclados de Resíduos de Construção e Demolição**. Porto Alegre, 2001. 270 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.
- LEITE, Fabiana da Conceição. **Comportamento Mecânico de Agregado Reciclado de Resíduo Sólido da Construção Civil de Base e Sub-Base de Pavimentos**. São Paulo, 2007. 216 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.
- LIMA, Leticia Roberta Mota. **Análise comparativa de custos entre alvenaria estrutural utilizando blocos cerâmicos ou de concreto aplicado a um empreendimento do Programa Minha Casa Minha Vida**. Centro Universitário do Norte – UNINORTE, Manaus. 2018
- LIKER, Jeffrey K.; FRANZ, James K. **O modelo Toyota de melhoria contínua**. Estratégia, experiência operacional, desempenho superior. São Paulo: Bookman, 2012.
- LEDESMA, E.F.; JIMÉNEZ, J.R.; FERNÁNDEZ, J.M.; GALVÍN, A.P.; AGRELA, F.; BARBUDO, A. **Properties of masonry mortars manufactured with fine recycled concrete aggregates**. *Construction and Building Materials*, v. 71, p. 289-298, 2014.
- LEVY, Salomon Mony. **Reciclagem do Entulho de Construção Civil para Utilização como Agregado de Argamassas e Concretos**. São Paulo, 1997. 145 f.

- Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.
- NEVILLE, Adam M., **“Propriedades do concreto”**, 1ª edição. São Paulo, Ed. Pini, 1997.
- NEVILLE, Adam M. **“Propriedades do concreto”**, 5ª edição, Tradução de Ruy Alberto Cremonini, Bookman, Porto Alegre. 2016.
- MARINHO, Ana Luiza. **Aglomerante ecológico para argamassa**. Reciclagem da escória de forno panela. 2015. 129 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2015.
- MARQUES NETO, José da Costa. **Gestão dos resíduos de construção e demolição no Brasil**. São Paulo: Rima, 2005. 162p.
- MEDEIROS, Jonas Silvestre. Alvenaria estrutural não armada de blocos de concreto: produção de componentes e parâmetros de Projeto. São Paulo. 1993. 449f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.
- METHA, Povindar Kuman; MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: IBRACON, 2007. Disponível em: <<https://www.ebah.com.br/content/ABAAAgiWkAH/concreto-microestrutura-propriedades-materiais-paulo-monteiro>>. Acesso em: 20 jan.2018.
- MIRANDA, L. F. R. **Contribuição ao Desenvolvimento da Produção e Controle de Argamassas de Revestimento com Areia Reciclada Lavada de Resíduos Classe A da Construção Civil**. São Paulo, 2005. 441 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.
- MIRANDA, Leonardo Fagundes Rosembach. **Estudo de Fatores que Influem na Fissuração de Revestimentos de Argamassa com Entulho Reciclado**. São Paulo, 2000. 172 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.
- MIRANDA, Leonardo Fagundes Rosembach. *et al.* **A Reciclagem de Resíduos de Construção e Demolição no Brasil: 1986 – 2008**. Revista Ambiente Construído. Porto Alegre. v. 9, n.1, 2009. p.57-71. Jan/Mar.
- OLIVEIRA, Valéria Faria. **O papel da indústria da construção civil na organização do espaço e do Desenvolvimento regional**. The 4th International Congress on University-Industry Cooperation. Taubate. 2012. Disponível em: <<http://www.unitau.br/unindu/artigos/pdf570.pdf>>. Acesso em: 24 maio de 2019.
- ONOUYE, Barry; KANE, Kevin. **Estática e resistência dos materiais para arquitetura e construção de edificações**. São Paulo: LTC, 2015. 552 p.
- PEDROSO, F. L. **Concreto: as origens e a evolução do material construtivo mais usado pelo homem**. Concreto e Construções, Mar. de 2009. Disponível em: <[http://www.ibracon.org.br/publicacoes/revistas\\_ibracon/rev\\_construcao/pdf/Revista\\_Concreto\\_53.pdf](http://www.ibracon.org.br/publicacoes/revistas_ibracon/rev_construcao/pdf/Revista_Concreto_53.pdf)>. Acesso em: 6 setembro de 2018.
- PEDROSO, Fábio Luís. **Concreto: as origens e a evolução do material construtivo mais usado pelo homem**. In: INSTITUTO BRASILEIRO DO CONCRETO, Ibracon. Concreto: material construtivo mais consumido no mundo. Revista

- Concreto e Construções**, São Paulo, ano XXXVII, n. 53, jan., fev. mar. 2009, p. 14-9. Disponível em: [http://ibracon.org.br/publicacoes/revistas\\_ibracon/rev\\_construcao/pdf/revista\\_concreto\\_53.pdf](http://ibracon.org.br/publicacoes/revistas_ibracon/rev_construcao/pdf/revista_concreto_53.pdf). Acesso em: 12 jan.2018.
- PINTO, Tarcísio de Paula. **Utilização de Resíduos de Construção: estudo do uso em argamassas**. São Paulo, 1986. 137 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1986.
- PINTO, Tarcísio de Paula. **Metodologia para a Gestão Diferenciada de Resíduos Sólidos da Construção Urbana**. São Paulo, 1999. 189 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.
- PINTO, Tarcísio de Paula; GONZALES, Juan Luís Rodrigo. **Manejo e Gestão de Resíduos da Construção Civil: manual de orientação: como implantar um sistema de manejo e gestão nos municípios**. Brasília: Caixa, 2005. v. 1, 196 p.
- PUCCI, Ricardo Basile. **Logística de resíduos da construção civil atendendo à Resolução Conama 307**. 2006. 154 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.
- QUALHARINI, Eduardo Linhares. **Canteiro de obras**, v. 1. São Paulo: Elsevier, 2017.
- RIBEIRO, Virgílio. **Logística, Sistema Toyota de Produção e suas implicações na construção civil**. Appris, 2015.
- RODRIGUES, Publio Penna Firme. **Parâmetros de Dosagem de concreto**. ET-67. 3 ed. São Paulo: IBRACON – Associação Brasileira de Cimento Portland, 1998.
- SANTOS, Ana Amélia Mota. **Concreto com Agregado Graúdo Reciclado de Concreto: Dosagem e Produção**. 2016. 135f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil e Ambiental), Universidade Federal de Feira de Santana. Feira de Santana. 2016
- SCHENGBER, Estela Regina. **Resíduos da construção civil**. 2015. 82 f. Monografia (Pós-Graduação em Direito Ambiental Nacional e Internacional), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.
- SANTANA, Valquíria Melo de *et al.* **Utilização de concreto reciclado na aplicação de elementos estruturais**. XV Encontro Latino Americano de Iniciação Científica, XV, e XI Encontro Latino Americano de Pós-Graduação, XI, de 07 a 13 de novembro de 2011. **Anais...** São José dos Campos: Univap, 2011. Disponível em: [http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC\\_2011/anais/arquivos/0246\\_0254\\_01.pdf](http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2011/anais/arquivos/0246_0254_01.pdf) . Acesso em: 20 jan.2018.
- SANTOS, Roberto Eustáquio dos. **A armação do concreto no Brasil: história da difusão do sistema construtivo concreto armado e da construção de sua hegemonia**. 2008. 327 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Minas Gerais-UFMG, Belo Horizonte, 2008.
- SCOTT HOOD, Rogério da Silva. **Análise da viabilidade técnica da utilização de resíduos de construção e demolição como agregado miúdo reciclado na confecção de blocos de concreto para pavimentação**. 2016. 150 f.

- Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.
- SILVA, Otávio Henrique da et al. **Etapas do gerenciamento de resíduos da construção civil**. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, REGET, UFSM, Santa Maria, v. 19, p. 39-48, 2015. Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/reget/article/viewFile/20558/pdf>>. Acesso em: 12 jan.2018.
- SOBRINHO, Danilo Gonçalves dos Santos; MORAES, Luiz Roberto Santos. **Diagnóstico e proposição de melhorias para o sistema de limpeza urbana e manejo dos Resíduos Sólidos do bairro de Mata Escura, Salvador-Bahia**. Bahia, 2016. 99 f. Monografia (Especialização em Assistência Técnica). Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia, Salvador. 2016.
- TISAKA, Maçahiko. **Como evitar prejuízos em obras de construção civil**. São Paulo: Pini, 2011. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL-**UFRGS**. Núcleo de Apoio Pedagógico à Educação a Distância. Alvenaria estrutural: blocos e tijolos de concretos. Disponível em: <[https://www.ufrgs.br/napead/projetos/alvenaria-estrutural/blocos\\_concreto.php](https://www.ufrgs.br/napead/projetos/alvenaria-estrutural/blocos_concreto.php)>. Acesso em: 03 fev. 2018.
- XAVIER, Luiz et al. **Gerenciamento de projetos da construção civil**. Uma adaptação da metodologia Basic Methodware. São Paulo: Brasport, 2014.
- ZORDAN, Sérgio Eduardo. **A Utilização do Entulho como Agregado, na Confecção do Concreto**. Campinas, 1997. 140 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1997.
- ZHU, L.; DAI, J.; BAI, G.; ZHANG, F. **Study on thermal properties of recycled aggregate concrete and recycled concrete blocks**. *Construction and Building Materials*, v. 94, p. 620- 628, 2015.

**ANEXO I**



**Lucas Malta** <lucas.malta@estre.com.br>

para Rafael, Kleber, Michelle, Daniel, eu

Bom dia Marcos,

Primeiramente agradeço o contato e nos colocamos a disposição para colat  
Sendo assim, esta liberada a retirada do material que você precisa.

Gostaria de pedir que nos enviasse uma cópia do trabalho, quando estiver fir  
Quando pretende retirar o material Marcos?

Kleber, favor liberar o material para o Marcos.

A disposição.

-



Lucas Malta

Comercial Privado

Tel.: 16 3514 5580

Cel.: 16 99603 4776

[www.estre.com.br](http://www.estre.com.br)


**ESTRE MATRIZ DE CASA NOVA**

A partir de 15/01/2019 o escritório da matriz  
estará em um novo endereço e telefone:

 Av. Brigadeiro Faria Lima, 4.509, 8º andar  
Vila Olímpia, São Paulo, SP, CEP 04538-132  
 (11) 2124-3100

**ANEXO II**



**RELATÓRIO DE ENSAIOS DE CIMENTO**  
**TIPO / CLASSE : CP V ARI FÁCIL**  
**FÁBRICA PEDRO LEOPOLDO**

ENSAIOS	PERÍODO	17.06.2017 12.07.2017	15.07.2017 09.08.2017	12.08.2017 06.09.2017	LIMITES NBR5733
<b>ENSAIOS FÍSICOS</b>					
# 400 (%) IT Holcim	Média Desv. Pad. Nº Amostras	2,5 0,37 8	2,2 0,36 8	2,1 0,29 8	
# 325 (%) NBR 9202	Média Desv. Pad. Nº Amostras				
Blaine (cm <sup>2</sup> /g) NBR NM 16372	Média Desv. Pad. Nº Amostras	4799 39 8	4781 41 8	4856 46 8	≥ 3000
Início Pega (min) NBR NM 65	Média Desv. Pad. Nº Amostras	131 9 8	129 9 8	133 11 8	≥ 60
Fim Pega (min) NBR NM 65	Média Desv. Pad. Nº Amostras	181 10 8			≤ 600
Exp. Quente (mm) NBR 11582	Média Desv. Pad. Nº Amostras				≤ 5
R 1 dia (MPa) NBR 7215	Média Desv. Pad. Nº Amostras	29,0 0,94 8	29,0 0,60 8	29,2 1,08 7	≥ 14,0
R 3 dias (MPa) NBR 7215	Média Desv. Pad. Nº Amostras	41,5 0,52 8	42,0 0,75 8	41,9 0,92 6	≥ 24,0
R 7 dias (MPa) NBR 7215	Média Desv. Pad. Nº Amostras	46,8 0,95 8	47,4 0,62 8	46,2 0,66 6	≥ 34,0
R 28 dias (MPa) NBR 7215	Média Desv. Pad. Nº Amostras	55,5 0,72 8	55,4 0,81 7		
<b>ANÁLISE QUÍMICA (%)</b>					
PF 1000°C	NBR NM 18	3,92	4,03	4,11	≤ 4,5
SiO <sub>2</sub>	NBR 14656	19,25	19,07		
R.I.	NBR NM 15		0,87		≤ 1,0
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	NBR 14656	4,91	4,76		
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	NBR 14656	3,00	2,95		
CaO	NBR 14656	64,01	64,61		
MgO	NBR 14656	0,67	0,74	0,72	
SO <sub>3</sub>	NBR 14656	2,97	2,91	3,00	≤ 4,5
CO <sub>2</sub>	NBR NM 20	2,96	2,97	2,99	≤ 3,0
K <sub>2</sub> O	NBR 14656	0,70	0,70		
PF 500°C	IT Holcim	0,62	0,44		
C <sub>3</sub> A (Teórico)	Equação Bogue	7,37	7,37	7,45	

**OBSERVAÇÕES:**

- IT = Intrução de Trabalho
- Resíduo na peneira #200: ≤ 6,0% (NBR 11579)

Eng. Fabrício Carlos França  
Assessoria Técnica MG

**ANEXO III**

# Betontix

## Engenharia

CREA-SP: 1999069 www.betontix.com.br  
Laboratório de ensaio de componentes construídos  
Conforto Térmico e Acústico

Centro Tecnológico:  
Concreto / Solos / Pavimentos  
Recuperação e Reforço Estrutural  
Impermeabilizações - Furos em Concreto  
Ensaio de Materiais - Provas de Carga  
Demolição Controlada  
Proteção e Tratamento de Superfícies

COD: 437  
OBRA: MARCOS JOSÉ SILVÉRIO  
ENDEREÇO: RUA JOSÉ DELOSPITAL, 182, JD. DOS FERROVIÁRIOS - SÃO SIMÃO - SP  
INTERESSADO: MARCOS JOSÉ SILVÉRIO  
COD: 300  
DATA: 15/05/2019  
QUANT. AMOSTRAS: 6

Cert n°: 73524  
PE n°: 8216

**BLOCOS VAZADOS DE CONCRETO SIMPLES PARA ALVENARIA COM FUNÇÃO ESTRUTURAL (NBR 8138)**  
**BLOCOS DE CONCRETO SIMPLES PARA ALVENARIA - MÉTODOS DE ENSAIO (NBR 12118)**

DIMENSÃO NOMINAL: 9,5 X 19 X 39 cm

Nº CP	LARGURA	ALTURA	COMP.	PAREDE LONGIT.	PAREDE TRANSV.	Resistência a compressão
1	9,4	20,0	39,0	2,0	8,6	7,04
2	9,5	20,0	39,0	2,0	8,6	6,78
3	9,5	20,0	39,0	2,0	8,6	6,51
4	9,5	20,0	39,0	2,1	8,6	5,83
5	9,5	20,0	39,0	2,1	8,6	7,21
6	9,5	20,0	39,0	2,0	8,6	5,64

A resistência característica dos blocos à compressão devem obedecer:

Classe: 15  
Fbk est = 5,60 MPa

$\Psi_{fb}(1) = 5,02 \text{ Mpa}$

FORNECEDOR: MARCOS JOSÉ SILVÉRIO

APLICAÇÃO: TESTE

NOTA FISCAL: #####

IDADE: ###

DATA DE RUPTURA: 11/05/2019

FABRICAÇÃO: #####

LOCAL DE APLICAÇÃO: #####

OBS:

OBS: Amostras retiradas em: 08/05/19 pela: ENTREGUE NO LABORATÓRIO PELO INTERESSADO  
LOTE: AMOSTRA 01

Ribeirão Preto, 15 maio, 2019

  
Eng. Rafael Fernando Pereira Silva  
CREA 5062348205

Estes resultados referem-se exclusivamente as amostras ensaiadas. Este documento somente poderá ser reproduzido na íntegra, e sua utilização para fins promocionais, depende de aprovação prévia.

CÓDIGO DE AUTENTICIDADE

16552936 215219 1756016 45388044 9515271228 1454764692 29374796

Equipamento utilizado: 02.115 Afund em 26/04/2019 por: Dinastex Indústria e Comércio - DNTT/411c/19

Fone/Cel: (16) 3636-3216 / (16) 99213-6960  
email: obras@betontix.com.br / betontix@betontix.com.br

# Betontix

## Engenharia

CREA-SP: 1999069 www.betontix.com.br  
Laboratório de ensaio de componentes construídos  
Conforto Térmico e Acústico

Controle Tecnológico:  
Concreto / Solos / Pavimentos  
Recuperação e Reforço Estrutural  
Impermeabilizações - Focos em Concreto  
Ensaio de Materiais - Provas de Carga  
Demolição Controlada  
Proteção e Tratamento de Superfícies

CÓDIGO: 437 Cert nº: 73745  
OBRA: MARCOS JOSÉ SILVÉRIO  
ENDEREÇO: RUA JOSÉ DELOSPITAL, 192, JD. DOS FERROVIÁRIOS - SÃO SIMÃO - SP  
INTERESSADO: MARCOS JOSÉ SILVÉRIO  
CÓDIGO: 300  
DATA: 21/05/2019 QUANT. AMOSTRAS: 5 PE nº: 8216

### DETERMINAÇÃO DA MASSA SECA E DO ÍNDICE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA BLOCOS VAZADOS DE CONCRETO SIMPLES PARA ALVENARIA - MÉTODOS DE ENSAIO (ABNT NBR 12118:2013)

DIMENSÃO NOMINAL: 95 X 190 X 390 mm

Nº CP	MASSA DO BLOCO AO CHEGAR NO LABORATÓRIO (g)	MASSA SECA DO BLOCO (g)	ÍNDICE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA (AA%)
1	11967,00	11451,00	7,8
2	11834,00	11442,00	8,2
3	11782,00	11398,00	7,2
4	11932,00	11470,00	8,0
5	11823,00	11372,00	7,8
6	11967,00	11459,00	8,0
Índice de absorção de água médio: AA%(médio) =			7,8

Parâmetros do ensaio:  
Temperatura da estufa: 100,00 °C  
Tempo de imersão: 24 h  
Imersão em água fria a ±: 25 °C  
Resistência à compressão:  
4,0 ≤ F<sub>bk</sub> < 8,0  
Índice de absorção de água:  
Individual: AA% ≤ 10,0  
Médio: AA% ≤ 9,0

### LOTE APROVADO DE ACORDO COM A NBR 12118:2013

FORNECEDOR: MARCOS JOSÉ SILVÉRIO

APLICAÇÃO: \*\*\*\*\*

NOTA FISCAL: \*\*\*\*\*

IDADE: \*\*\*\*\* DIAS DATA DE FABRICAÇÃO: \*\*\*\*\*

DATA DO ENSAIO: 11/05/2019 LOCAL DE APLICAÇÃO: \*\*\*\*\*

CBS: Amostras retiradas em: 08/05/2019 pela: Betontix Serviços Técnicos Ltda

LOTE: AMOSTRA 01

Eventos não previstos no decorrer do ensaio: Nenhum evento a registrar.

Ribeirão Preto, 21 maio, 2019

Eng.º Rafael Fernando Pereira Silva  
CREA 5062348205

Estes resultados referem-se exclusivamente às amostras ensaiadas. Este documento somente poderá ser reproduzido na íntegra, e sua utilização para fins promocionais depende de aprovação prévia.

#### CÓDIGO DE AUTENTICIDADE

16562036	215219	1756258	45524472	9543872432	1728888161	31161007
----------	--------	---------	----------	------------	------------	----------

Equipamento utilizado: 02.506 Alterado em 29/03/2019 por: ANALÍTICA MANUTENÇÕES

Fone/Cel: (16) 3636-3218 / (16) 99213-6960 - E-mail: obras@betontix.com.br / betontix@betontix.com.br

# Betontix

## Engenharia

CREA-SP: 1999069 [www.betontix.com.br](http://www.betontix.com.br)  
Laboratório de ensaio de componentes construídos  
Conforto Térmico e Acústico

Controle Tecnológico:  
Concreto / Solos / Pavimentos  
Recuperação e Reforço Estrutural  
Impermeabilizações - Furos em Concreto  
Ensaio de Materiais - Provas de Carga  
Demolição Controlada  
Proteção e Tratamento de Superfícies

COD: 437  
OBRA: MARCOS JOSÉ SILVÉRIO  
ENDEREÇO: RUA JOSÉ DELOSPITAL, 182, JD. DOS FERROVIÁRIOS - SÃO SIMÃO - SP  
INTERESSADO: MARCOS JOSÉ SILVÉRIO  
COD: 300  
DATA: 15/05/2019  
QUANT. AMOSTRAS: 6

Cert n°: 73626  
PE n°: 8216

**BLOCOS VAZADOS DE CONCRETO SIMPLES PARA ALVENARIA COM FUNÇÃO ESTRUTURAL (NBR 6136)**  
**BLOCOS DE CONCRETO SIMPLES PARA ALVENARIA - MÉTODOS DE ENSAIO (NBR 12118)**

DIMENSÃO NOMINAL: 9,5 X 19 X 39 cm

Nº CP	LARGURA	ALTURA	COMP.	PAREDE LONGIT.	PAREDE TRANSV.	Resistência a compressão
1	9,5	20,0	39,1	2,0	8,5	8,64
2	9,5	20,0	39,0	2,0	8,5	11,04
3	9,5	20,0	39,0	2,0	8,5	10,16
4	9,6	20,0	39,0	2,0	8,5	9,55
5	9,5	20,0	39,0	2,0	8,5	9,06
6	9,6	20,0	39,0	2,0	8,6	8,63

A resistência característica dos blocos à compressão devem obedecer:

Classe: 15  
Fbk est = 8,21 MPa

$\Psi_{fb}(1) = 7,68 \text{ Mpa}$

FORNECEDOR: MARCOS JOSÉ SILVÉRIO

APLICAÇÃO: TESTE

NOTA FISCAL: #####

IDADE: ###

DATA DE RUPTURA: 15/05/2019

FABRICAÇÃO: #####

LOCAL DE APLICAÇÃO: #####

OBS:

OBS: Amostras retiradas em: 10/05/19 pela: ENTREGUE NO LABORATÓRIO PELO INTERESSADO  
LOTE: AMOSTRA 02

Ribeirão Preto, 15 maio, 2019

Eng. Rafael Fernando Pereira Silva  
CREA 5062348205

Estes resultados referem-se exclusivamente às amostras ensaiadas. Este documento somente poderá ser reproduzido na íntegra, e sua utilização para fins promocionais, depende de aprovação prévia.

CÓDIGO DE AUTENTICIDADE

16562936 | 215219 | 1756018 | 45451011 | 9528471784 | 1456782890 | 28074796

Equipamento utilizado: 02.115 Medido em 26/04/2019 por: Dinatista Indústria e Comércio - DNTT/411c/19

Fone/Cel: (16) 3636-3218 / (16) 99213-8960  
email: obras@betontix.com.br / betontix@betontix.com.br

# Betontix

## Engenharia

CREA-SP: 1009069 www.betontix.com.br

Laboratório de ensaio de componentes construídos  
Conforto Térmico e Acústico

Controle Tecnológico:  
Concreto / Solos / Pavimentos  
Recuperação e Reforço Estrutural  
Impermeabilizações - Furos em Concreto  
Ensaio de Materiais - Provas de Carga  
Demolição Controlada  
Proteção e Tratamento de Superfícies

CÓDIGO: 437  
OBRA: MARCOS JOSÉ SILVERIO  
ENDEREÇO: RUA JOSÉ DELOSPITAL, 182, JD. DOS FERROVIÁRIOS - SÃO SIMÃO - SP  
INTERESSADO: MARCOS JOSÉ SILVERIO  
CÓDIGO: 300  
DATA: 21/05/2019

Cert n°: 73746

QUANT. AMOSTRAS: 6 PE n°: 8216

### DETERMINAÇÃO DA MASSA SECA E DO ÍNDICE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA BLOCOS VAZADOS DE CONCRETO SIMPLES PARA ALVENARIA - MÉTODOS DE ENSAIO (ABNT NBR 12118:2013)

DIMENSÃO NOMINAL: 95 X 190 X 390 mm

Nº CP	MASSA DO BLOCO AO CHEGAR NO LABORATÓRIO (g)	MASSA SECA DO BLOCO (g)	ÍNDICE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA (AA%)
1	15246,00	14948,00	5,3
2	15183,00	14832,00	5,8
3	15187,00	14876,00	5,5
4	15234,00	14922,00	6,1
5	15013,00	14731,00	6,2
6	14942,00	14654,00	5,4
Índice de absorção de água médio: AA%(médio) =			5,7

Parâmetros do ensaio:  
Temperatura da estufa: 100,00 °C  
Tempo de imersão: 24 h  
Imersão em água fria a ±: 25 °C  
Resistência à compressão: 0,0 ≤ Fbk  
Índice de absorção de água:  
Individual: AA% ≤ 9,0  
Médio: AA% ≤ 8,0

### LOTE APROVADO DE ACORDO COM A NBR 12118:2013

FORNECEDOR: MARCOS JOSÉ SILVERIO  
APLICAÇÃO: #####  
NOTA FISCAL: #####  
IDADE: ##### DIAS DATA DE FABRICAÇÃO: #####  
DATA DO ENSAIO: 15/05/2019 LOCAL DE APLICAÇÃO: #####

OBS.: Amostras retiradas em: 10/05/2019 pela: Betontix Serviços Técnicos Ltda

LOTE: AMOSTRA 02

Eventos não previstos no decorrer do ensaio: Nenhum evento a registrar.

Ribeirão Preto, 21 maio, 2019

Eng.º Rafael Fernando Pereira Silva  
CREA 5062346205

Estes resultados referem-se exclusivamente às amostras ensaiadas. Este documento somente poderá ser reproduzido na íntegra, e sua utilização para fins promocionais, depende de aprovação prévia.

#### CÓDIGO DE AUTENTICIDADE

18562936	215219	1756268	45525000	6544001849	1728911605	31181607
----------	--------	---------	----------	------------	------------	----------

Equipamento utilizado: 02.506 Afetado em: 29/03/2019 por: ANALÍTICA MANUTENÇÕES

Fone/Cell: (18) 3636-3218 / (16) 99213-6960 - E-mail: obras@betontix.com.br / betontix@betontix.com.br

# Betontix

## Engenharia

CREA-SP: 1999069 www.betontix.com.br  
Laboratório de ensaio de componentes construídos  
Conforto Térmico e Acústico

Controle Tecnológico:  
Concreto / Solos / Pavimentos  
Recuperação e Reforço Estrutural  
Impermeabilizações - Furos em Concreto  
Ensaio de Materiais - Provas de Carga  
Demolição Controlada  
Proteção e Tratamento de Superfícies

COD: 437  
OBRA: MARCOS JOSÉ SILVÉRIO  
ENDEREÇO: RUA JOSÉ DELOSPITAL, 182, JD. DOS FERROVIÁRIOS - SÃO SIMÃO - SP  
INTERESSADO: MARCOS JOSÉ SILVÉRIO  
COD: 300  
DATA: 20/05/2019  
QUANT. AMOSTRAS: 6

Cert n°: 73743  
PE n°: 8216

BLOCOS VAZADOS DE CONCRETO SIMPLES PARA ALVENARIA COM FUNÇÃO ESTRUTURAL (NBR 6156)  
BLOCOS DE CONCRETO SIMPLES PARA ALVENARIA - MÉTODOS DE ENSAIO (NBR 12118)

DIMENSÃO NOMINAL: 0,5 X 10 X 39 cm

Nº CP	LARGURA	ALTURA	COMP.	PAREDE LONGIT.	PAREDE TRANSV.	Resistência a compressão
1	9,8	20,0	39,1	2,0	8,5	7,77
2	9,5	20,0	39,0	2,0	8,5	6,70
3	9,4	20,0	39,1	2,0	8,5	8,73
4	9,5	19,9	39,1	2,0	8,5	8,40
5	9,5	19,9	39,0	1,9	8,6	8,11
6	9,5	20,0	39,0	2,0	8,5	7,38

A resistência característica dos blocos à compressão devem obedecer:

Classe: 15  
Fbk est = 6,32 MPa

$\psi_{fb}(1) = 5,97 \text{ Mpa}$

FORNECEDOR: MARCOS JOSÉ SILVÉRIO

APLICAÇÃO: TESTE

NOTA FISCAL: #####

IDADE: ###

DATA DE RUPTURA: 18/05/2019

FABRICAÇÃO: #####

LOCAL DE APLICAÇÃO: #####

OBS.:

OBS: Amostras retiradas em: 13/05/19 pela: ENTREGUE NO LABORATÓRIO PELO INTERESSADO  
LOTE: AMOSTRA 03

Ribeirão Preto, 20 maio, 2019

Eng<sup>o</sup> Rafael Fernando Pereira Silva  
CREA 5082348205

Esses resultados referem-se exclusivamente as amostras ensaiadas. Este documento somente poderá ser reproduzido na íntegra, e sua utilização para fins promocionais, depende de aprovação prévia.

CÓDIGO DE AUTENTICIDADE

16562936 | 215219 | 1756218 | 45523238 | 9543613598 | 1459097882 | 29374796

Equipamento utilizado: 02.115 Aferido em: 26/04/2019 por: Dinasteia Indústria e Comércio - DNTT/411c/19

Fone/Cel: (16) 3638-3218 / (16) 99213-6960  
email: obras@betontix.com.br / betontix@betontix.com.br

# Betontix

## Engenharia

CREA-SP: 1999069 www.betontix.com.br

Laboratório de ensaio de componentes construídos  
Conforto Térmico e Acústico

Controle Tecnológico:  
Concreto / Solos / Pavimentação  
Recuperação e Reforço Estrutural  
Impermeabilizações - Furos em Concreto  
Ensaio de Materiais - Provas de Carga  
Demolição Controlada  
Proteção e Tratamento de Superfícies

CÓDIGO: 437  
OBRA: MARCOS JOSÉ SILVÉRIO  
ENDEREÇO: RUA JOSÉ DELOSPITAL, 182, JD. DOS FERROVIÁRIOS - SÃO SIMÃO - SP  
INTERESSADO: MARCOS JOSÉ SILVÉRIO  
CÓDIGO: 300  
DATA: 21/05/2019

Cert n°: 73747

QUANT. AMOSTRAS: 6

PE n°: 8276

### DETERMINAÇÃO DA MASSA SECA E DO ÍNDICE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA BLOCOS VAZADOS DE CONCRETO SIMPLES PARA ALVENARIA - MÉTODOS DE ENSAIO (ABNT NBR 12118:2013)

DIMENSÃO NOMINAL: 95 X 190 X 390 mm

Nº CP	MASSA DO BLOCO AO CHEGAR NO LABORATÓRIO (g)	MASSA SECA DO BLOCO (g)	ÍNDICE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA (AA%)
1	12191,00	11873,00	12,4
2	12217,00	11942,00	10,8
3	12098,00	11789,00	11,8
4	12125,00	11843,00	12,0
5	12123,00	11782,00	11,4
6	12204,00	11864,00	11,6
Índice de absorção de água médio: AA%(médio) =			11,7

Parâmetros do ensaio:  
Temperatura da estufa: 100,00 °C  
Tempo de Imersão: 24 h  
Imersão em água fria a ±: 25 °C  
Resistência à compressão:  
4,0 ≤ F<sub>ck</sub> < 8,0  
Índice de absorção de água:  
Individual: AA% ≤ 10,0  
Médio: AA% ≤ 9,0

### LOTE REPROVADO DE ACORDO COM A NBR 12118:2013

FORNECEDOR: MARCOS JOSÉ SILVÉRIO  
APLICAÇÃO: #####  
NOTA FISCAL: #####  
IDADE: ##### DIAS DATA DE FABRICAÇÃO: #####  
DATA DO ENSAIO: 17/05/2019 LOCAL DE APLICAÇÃO: #####

OBS: Amostras retiradas em: 13/05/2019 pela: Betontix Serviços Técnicos Ltda

LOTE: AMOSTRA 03

Eventos não previstos no decorrer do ensaio: Nenhum evento a registrar.

Ribeirão Preto, 21 maio, 2019

Eng. Rafael Fernando Pereira Silva  
CREA 5062348205

Estes resultados referem-se exclusivamente às amostras ensaiadas. Este documento somente poderá ser reproduzido na íntegra, e sua utilização para fins promocionais depende de aprovação prévia.

### CÓDIGO DE AUTENTICIDADE

16562935	215219	1750258	45525707	9544131265	1728935049	31181607
----------	--------	---------	----------	------------	------------	----------

Equipamento utilizado: 02.506 Aferido em: 29/03/2019 por: ANALÍTICA MANUTENÇÕES

Fone/Cel: (16) 3838-3218 / (16) 99213-6960 - E-mail: obras@betontix.com.br / betontix@betontix.com.br

# Betontix

## Engenharia

CREA-SP: 1999069 www.betontix.com.br  
Laboratório de ensaio de componentes construídos  
Conforto Térmico e Acústico

Controle Tecnológico:  
Concreto / Solos / Pavimentos  
Recuperação e Reforço Estrutural  
Impermeabilizações - Furos em Concreto  
Ensaio de Materiais - Provas de Carga  
Demolição Controlada  
Proteção e Tratamento de Superfícies

COD: 437  
OBRA: MARCOS JOSÉ SILVÉRIO  
ENDEREÇO: RUA JOSÉ DELOSPITAL, 182, JD. DOS FERROVIÁRIOS - SÃO SIMÃO - SP  
INTERESSADO: MARCOS JOSÉ SILVÉRIO  
COD: 300  
DATA: 15/05/2019  
QUANT. AMOSTRAS: 6

Cert n°: 73523  
PE n°: 8216

BLOCOS VAZADOS DE CONCRETO SIMPLES PARA ALVENARIA COM FUNÇÃO ESTRUTURAL (NBR 6136)  
BLOCOS DE CONCRETO SIMPLES PARA ALVENARIA - MÉTODOS DE ENSAIO (NBR 12118)

DIMENSÃO NOMINAL: 14 X 19 X 39 cm

Nº CP	LARGURA	ALTURA	COMP.	PAREDE LONGIT.	PAREDE TRANSV.	Resistência a compressão
1	14,2	20,1	39,0	3,5	7,6	8,35
2	14,0	20,0	39,0	3,5	7,7	7,85
3	14,1	20,0	38,9	3,5	7,7	8,37
4	14,0	20,1	39,0	3,5	7,6	7,93
5	14,1	20,0	39,0	3,5	7,6	8,63
6	14,0	20,1	39,0	3,5	7,6	10,03

A resistência característica dos blocos à compressão devem obedecer:

Classe: 15  
Fbk est = 7,44 MPa

$\Psi.f_b(1) = 6,99 \text{ Mpa}$

FORNECEDOR: MARCOS JOSÉ SILVÉRIO

APLICAÇÃO: TESTE

NOTA FISCAL: #####

IDADE: ###

DATA DE RUPTURA: 17/05/2019

FABRICAÇÃO: #####

LOCAL DE APLICAÇÃO: #####

OBS:

OBS: Amostras retiradas em: 08/05/19 pela: ENTREGUE NO LABORATÓRIO PELO INTERESSADO  
LOTE: AMOSTRA 01

Ribeirão Preto, 15 maio, 2019

  
Engº Rafael Fernando Pereira Silva  
CREA 5052348205

Estes resultados referem-se exclusivamente as amostras ensaiadas. Este documento somente poderá ser reproduzido na íntegra, e sua utilização para fins promocionais, depende da aprovação prévia.

CÓDIGO DE AUTENTICIDADE

16582938 | 215219 | 1768016 | 45387427 | 9515141811 | 1454744805 | 29374796

Equipamento utilizado: 02.115 Aferido em 26/04/2019 por: Dinatasto Indústria e Comércio - DNTT/411c/19

Fone/Cel: (16) 3636-3218 / (16) 99213-6960  
email: obras@betontix.com.br / betontix@betontix.com.br

# Betontix

## Engenharia

CREA-SP: 1999069 [www.betontix.com.br](http://www.betontix.com.br)

Laboratório de ensaio de componentes construídos  
Conforto Térmico e Acústico

Controle Tecnológico:  
Concreto / Solos / Pavimentos  
Recuperação e Reforço Estrutural  
Impermeabilizações - Furos em Concreto  
Ensaio de Materiais - Provas de Carga  
Demolição Controlada  
Proteção e Tratamento de Superfícies

CÓDIGO: 437  
OBRA: MARCOS JOSÉ SILVÉRIO  
ENDEREÇO: RUA JOSÉ DE LOSPITAL, 182, JD. DOS FERROVIÁRIOS - SÃO SIMÃO - SP  
INTERESSADO: MARCOS JOSÉ SILVERIO  
CÓDIGO: 300  
DATA: 21/05/2019

Cert n°: 73748

QUANT. AMOSTRAS: 6

PE n°: 8216

### DETERMINAÇÃO DA MASSA SECA E DO ÍNDICE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA BLOCOS VAZADOS DE CONCRETO SIMPLES PARA ALVENARIA - MÉTODOS DE ENSAIO (ABNT NBR 12118:2013)

DIMENSÃO NOMINAL: 140 X 190 X 390 mm

Nº CP	MASSA DO BLOCO AO CHEGAR NO LABORATÓRIO (p)	MASSA SECA DO BLOCO (q)	ÍNDICE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA (AA%)
1	18674,00	18077,00	7,7
2	18731,00	17995,00	7,8
3	18614,00	17889,00	8,0
4	18696,00	17913,00	7,9
5	18583,00	17845,00	7,2
6	18711,00	17996,00	7,0
Índice de absorção de água médio: AA%(médio) =			7,6

Parâmetros do ensaio:

Temperatura de estufa: 100,00 °C  
Tempo de Imersão: 24 h  
Imersão em água fria a t: 25 °C  
Resistência à compressão: 4,0 ≤ Fbk < 8,0  
Índice de absorção de água:  
Individual: AA% ≤ 10,0  
Médio: AA% ≤ 9,0

### LOTE APROVADO DE ACORDO COM A NBR 12118:2013

FORNECEDOR: MARCOS JOSÉ SILVÉRIO

APLICAÇÃO: #####

NOTA FISCAL: #####

IDADE: ##### DIAS

DATA DE FABRICAÇÃO: #####

DATA DO ENSAIO: 11/05/2019

LOCAL DE APLICAÇÃO: #####

OBS.: Amostras retiradas em: 08/05/2019 pela: Betontix Serviços Técnicos Ltda

LOTE: AMOSTRA 01

Eventos não previstos no decorrer do ensaio: Nenhum evento a registrar.

Ribeirão Preto, 21 maio, 2019

Eng. Gabriel Fernando Pereira Silva  
CREA 5062348205

Estes resultados referem-se exclusivamente às amostras ensaiadas. Este documento somente poderá ser reproduzido na íntegra, e sua utilização para fins promocionais, depende de aprovação prévia.

#### CÓDIGO DE AUTENTICIDADE

16562936	215219	1756258	45526324	9544260684	1728958493	31181807
----------	--------	---------	----------	------------	------------	----------

Equipamento utilizado: 02.508 Aferido em: 28/03/2019 por: ANALÍTICA MANUTENÇÕES

Fone/Cel: (16) 3638-3218 / (16) 99213-8960 - E-mail: obras@betontix.com.br / betontix@betontix.com.br

# Betontix

## Engenharia

CREA-SP: 1999069 www.betontix.com.br  
Laboratório de ensaio de componentes construídos  
Conforto Térmico e Acústico

Controle Tecnológico:  
Concreto / Solos / Pavimentos  
Recuperação e Retorço Estrutural  
Imparcibilizações - Furos em Concreto  
Ensaio de Materiais - Provas de Carga  
Demolição Controlada  
Proteção e Tratamento de Superfícies

COD: 437  
OBRA: MARCOS JOSÉ SILVÉRIO  
ENDEREÇO: RUA JOSÉ DELOSPITAL, 182, JD. DOS FERROVIÁRIOS - SÃO SIMÃO - SP  
INTERESSADO: MARCOS JOSÉ SILVÉRIO  
COD: 300  
DATA: 15/05/2019  
QUANT. AMOSTRAS: 6

Cert n°: 73627  
PE n°: 8216

**BLOCOS VAZADOS DE CONCRETO SIMPLES PARA ALVENARIA COM FUNÇÃO ESTRUTURAL (NBR 6136)**  
**BLOCOS DE CONCRETO SIMPLES PARA ALVENARIA - MÉTODOS DE ENSAIO (NBR 12118)**

DIMENSÃO NOMINAL: 14 X 19 X 39 cm

Nº CP	LARGURA	ALTURA	COMP.	PAREDE LONGIT.	PAREDE TRANSV.	Resistência a compressão
1	14,0	20,0	39,1	3,5	7,6	12,51
2	14,0	20,0	39,1	3,5	7,6	13,43
3	14,0	20,1	39,0	3,6	7,7	13,36
4	14,1	20,0	39,0	3,5	7,6	12,04
5	14,1	20,1	39,0	3,5	7,6	11,87
6	14,0	20,0	39,0	3,4	7,6	12,60

A resistência característica dos blocos à compressão devem obedecer:

Classe: 15  
Fbk est = 11,40 MPa

$\Psi_{fb}(1) = 10,56 \text{ Mpa}$

FORNECEDOR: MARCOS JOSÉ SILVÉRIO

APLICAÇÃO: TESTE

NOTA FISCAL: #####

IDADE: ###

DATA DE RUPTURA: 15/05/2019

FABRICAÇÃO: #####

LOCAL DE APLICAÇÃO: #####

OBS.:

OBS.: Amostras retiradas em: 10/05/19 pela: ENTREGUE NO LABORATÓRIO PELO INTERESSADO  
LOTE: AMOSTRA 02

Ribeirão Preto, 15 maio, 2019

Engº Ricardo Fernando Pereira Silva  
CREA 5052348205

Estes resultados referem-se exclusivamente as amostras ensaiadas. Este documento somente poderá ser reproduzido na íntegra, e sua utilização para fins promocionais, depende de aprovação prévia.

CÓDIGO DE AUTENTICIDADE

16562930 215219 1756016 45451628 9528501201 1458802876 29374796

Equipamento utilizado: 02.115 Aferido em: 26/04/2019 por: Dinaste Indústria e Comércio - DNTT/411/19

Fone/Cel: (16) 3636-3218 / (16) 99213-6960  
email: obras@betontix.com.br / betontix@betontix.com.br

# Betontix

## Engenharia

CREA-SP: 1999009 www.betontix.com.br

Laboratório de ensaio de componentes construídos.  
Conforto Térmico e Acústico

Controle Tecnológico:  
Concreto / Solos / Pavimentos  
Recuperação e Reforço Estrutural  
Impermeabilizações - Furos em Concreto  
Ensaio de Materiais - Provas de Carga  
Demolição Controlada  
Proteção e Tratamento de Superfícies

CÓDIGO: 437  
OBRA: MARCOS JOSÉ SILVÉRIO  
ENDEREÇO: RUA JOSÉ DELOSPITAL, 182, JD. DOS FERROVIÁRIOS - SÃO SIMÃO - SP  
INTERESSADO: MARCOS JOSÉ SILVÉRIO  
CÓDIGO: 300  
DATA: 21/05/2019

Cert n°: 73749

QUANT. AMOSTRAS: 6 PE n°: 8216

### DETERMINAÇÃO DA MASSA SECA E DO ÍNDICE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA BLOCOS VAZADOS DE CONCRETO SIMPLES PARA ALVENARIA - MÉTODOS DE ENSAIO (ABNT NBR 12118:2013)

DIMENSÃO NOMINAL: 140 X 190 X 390 mm

Nº CP	MASSA DO BLOCO AO CHEGAR NO LABORATÓRIO (g)	MASSA SECA DO BLOCO (g)	ÍNDICE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA (AA%)
1	23591,00	23169,00	5,8
2	23598,00	23185,00	5,9
3	23672,00	23214,00	6,0
4	23531,00	23087,00	5,5
5	23545,00	23102,00	5,6
6	23699,00	23165,00	5,6
Índice de absorção de água médio: AA%(médio) =			5,7

Parâmetros do ensaio:  
Temperatura do estufa: 100,00 °C  
Tempo de Imersão: 24 h  
Imersão em água fria a ±: 25 °C  
Resistência à compressão:  
8,0 ≤ Fbk  
Índice de absorção de água:  
Individual: AA% ≤ 9,0  
Médio: AA% ≤ 8,0

#### LOTE APROVADO DE ACORDO COM A NBR 12118:2013

FORNECEDOR: MARCOS JOSÉ SILVÉRIO

APLICAÇÃO: #####

NOTA FISCAL: #####

IDADE: ##### DIAS DATA DE FABRICAÇÃO: #####

DATA DO ENSAIO: 15/05/2019 LOCAL DE APLICAÇÃO: #####

OBS.: Amostras retiradas em: 10/05/2019 pela: Betontix Serviços Técnicos Ltda

LOTE: AMOSTRA 02

Eventos não previstos no decorrer do ensaio: Nenhum evento a registrar.

Ribeirão Preto, 21 maio, 2019

Eng. Rafael Fernando Pereira Silva  
CREA 6982348205

Estes resultados referem-se exclusivamente as amostras ensaiadas. Este documento somente poderá ser reproduzido na íntegra, e sua utilização para fins promocionais depende de aprovação prévia.

#### CÓDIGO DE AUTENTICIDADE

16962999	215219	1756256	45526942	9544390101	1728981937	31181607
----------	--------	---------	----------	------------	------------	----------

Equipamento utilizado: 02.506 Afirido em: 29/03/2019 por: ANALÍTICA MANUTENÇÕES

Fone/Col: (16) 3636-3218 / (16) 99213-8900 - E-mail: obras@betontix.com.br / betontix@betontix.com.br

# Betontix

## Engenharia

CREA-SP: 1999069 www.betontix.com.br  
Laboratório de ensaio de componentes construídos  
Conforto Térmico e Acústico

Controle Tecnológico:  
Concreto / Solos / Pavimentos  
Recuperação e Reforço Estrutural  
Impermeabilizações - Furos em Concreto  
Ensaio de Materiais - Provas de Carga  
Demolição Controlada  
Proteção e Tratamento de Superfícies

COD: 437  
OBRA: MARCOS JOSÉ SILVÉRIO  
ENDEREÇO: RUA JOSÉ DELOSPITAL, 182, JD. DOS FERROVIÁRIOS - SÃO SIMÃO - SP  
INTERESSADO: MARCOS JOSÉ SILVÉRIO  
COD: 300  
DATA: 20/05/2019  
QUANT. AMOSTRAS: 6

Cert n°: 73744  
PE n°: 8216

BLOCOS VAZADOS DE CONCRETO SIMPLES PARA ALVENARIA COM FUNÇÃO ESTRUTURAL (NBR 6136)  
BLOCOS DE CONCRETO SIMPLES PARA ALVENARIA - MÉTODOS DE ENSAIO (NBR 12118)

DIMENSÃO NOMINAL: 14 X 19 X 39 cm

N° CP	LARGURA	ALTURA	COMP.	PAREDE LONGIT.	PAREDE TRANSV.	Resistência a compressão
1	14,1	20,0	39,2	3,6	7,6	11,25
2	14,1	20,0	39,1	3,5	7,6	11,22
3	14,1	19,9	39,1	3,5	7,6	11,15
4	14,0	20,0	39,0	3,5	7,6	9,83
5	14,1	19,9	39,1	3,5	7,6	10,50
6	14,2	19,9	39,2	3,6	7,6	10,28

A resistência característica dos blocos à compressão devem obedecer:

Classe: 15  
Fbk est = 9,81 MPa

$\Psi_{fb(1)} = 8,75 \text{ Mpa}$

FORNECEDOR: MARCOS JOSÉ SILVÉRIO

APLICAÇÃO: TESTE

NOTA FISCAL: #####

IDADE: ####

DATA DE RUPTURA: 18/05/2019

FABRICAÇÃO: #####

LOCAL DE APLICAÇÃO: #####

OBS.:

OBS.: Amostras retiradas em: 13/05/19 pela: ENTREGUE NO LABORATÓRIO PELO INTERESSADO  
LOTE: AMOSTRA 03

Ribeirão Preto, 20 maio, 2019

Engº Rafael Fernando Pereira Silva  
CREA 5082348205

Estes resultados referem-se exclusivamente às amostras ensaiadas. Este documento somente poderá ser reproduzido na íntegra, e sua utilização para fins promocionais, depende de aprovação prévia.

CÓDIGO DE AUTENTICIDADE

16582936 | 215219 | 1758218 | 46523855 | 9543743015 | 1459117668 | 29374766

Equipamento utilizado: 02.115 Aferido em 26/04/2019 por: Dinataste Indústria e Comércio - DNTT/411c/19

Fone/Cel: (16) 3636-3218 / (16) 99213-8960  
email: obras@betontix.com.br / betontix@betontix.com.br

# Betontix

## Engenharia

CREA-SP: 1999069 www.betontix.com.br

Laboratório de ensaio de componentes construídos  
Conforto Térmico e Acústico

Controle Tecnológico:  
Concreto / Solos / Pavimentos  
Recuperação e Reforço Estrutural  
Impermeabilizações - Furos em Concreto  
Ensaio de Materiais - Provas de Carga  
Demolição Controlada  
Proteção e Tratamento de Superfícies

CÓDIGO: 437 Cert nº: 73750  
OBRA: MARCOS JOSÉ SILVERIO  
ENDEREÇO: RUA JOSÉ DELOSPITAL, 162, JD. DOS FERROVIÁRIOS - SÃO SIMÃO - SP  
INTERESSADO: MARCOS JOSÉ SILVERIO  
CÓDIGO: 300  
DATA: 21/05/2019 QUANT. AMOSTRAS: 6 PE nº: 8216

### DETERMINAÇÃO DA MASSA SECA E DO ÍNDICE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA BLOCOS VAZADOS DE CONCRETO SIMPLES PARA ALVENARIA - MÉTODOS DE ENSAIO (ABNT NBR 12118:2013)

DIMENSÃO NOMINAL: 140 X 190 X 390 mm

Nº CP	MASSA DO BLOCO AO CHEGAR NO LABORATÓRIO (g)	MASSA SECA DO BLOCO (g)	ÍNDICE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA (AA%)
1	19485,00	18941,00	12,0
2	19510,00	19085,00	11,7
3	19348,00	18867,00	11,9
4	19374,00	18902,00	11,5
5	19334,00	18834,00	11,8
6	19486,00	18966,00	11,4
Índice de absorção de água médio: AA%(médio) =			11,7

Parâmetros do ensaio:  
Temperatura da estufa: 100,00 °C  
Tempo de Imersão: 24 h  
Imersão em água fria a ±: 25 °C  
Resistência à compressão:  
8,0 ≤ Fbk  
Índice de absorção de água:  
Individual: AA% ≤ 9,0  
Médio: AA% ≤ 8,0

### LOTE REPROVADO DE ACÓRDÓ COM A NBR 12118:2013

FORNECEDOR: MARCOS JOSÉ SILVERIO  
APLICAÇÃO: #####  
NOTA FISCAL: #####  
IDADE: ##### DIAS DATA DE FABRICAÇÃO: #####  
DATA DO ENSAIO: 17/05/2019 LOCAL DE APLICAÇÃO: #####

OBS.: Amostras retiradas em: 13/05/2019 pela: Betontix Serviços Técnicos Ltda

LOTE: AMOSTRA 03

Eventos não previstos no decorrer do ensaio: Nenhum evento a registrar.

Ribeirão Preto, 21 maio, 2019

Eng. Rafael Perinando Pereira Silva  
CREA 5062348205

Estes resultados referem-se exclusivamente as amostras ensaiadas. Este documento somente poderá ser reproduzido na íntegra, e sua utilização para fins promocionais, depende de aprovação prévia.

### CÓDIGO DE AUTENTICIDADE

16562936	215219	1766258	45527550	9544519518	1729005362	31181607
----------	--------	---------	----------	------------	------------	----------

Equipamento utilizado: 02.508 Atenda em 20/03/2019 por: ANALÍTICA MANUTENÇÕES

Fone/Cel: (16) 3636-3218 / (16) 99213-6960 - E-mail: obras@betontix.com.br / betontix@betontix.com.br

**ANEXO IV**

**PROJET CONSULTORIA E CONTROLE DE ENGENHARIA**

**RELATÓRIO DE ENSAIOS**  
**(Nº. 01 05/2019)**

DNER-ME 035/98 DETERMINAÇÃO DA ABRASÃO "LOS ANGELES"

Título: <b>AGREGADO GRAÚDO - ENSAIO DE ABRASÃO "LOS ANGELES" - NM 51:2001</b>			Documento N°: FORM 5.4 - 27 - CMP		Revisão: 01													
OPERADOR: FÁBIO BORTOLAZO			Emissão: 18/12/2013		Folha N°: 1 de 1													
VISTO:			REGISTRO: AMOSTRA 01		DATA DO ENSAIO: 12/05/2019													
<b>PREPARAÇÃO DA AMOSTRA</b>																		
Peneiras (abertura) mm			Massa parcial (g)															
Material			Graduação															
Patrimônio	Passa	Retido	A		B		C		D		E		F		G			
			Necessária	Obtida	Necessária	Obtida	Necessária	Obtida	Necessária	Obtida	Necessária	Obtida	Necessária	Obtida	Necessária	Obtida		
	75	63	-	-	-	-	-	-	-	-	2500 ± 50	-	-	-	-	-		
	63	50	-	-	-	-	-	-	-	-	2500 ± 50	-	-	-	-	-		
	50	37,5	-	-	-	-	-	-	-	-	5000 ± 50	-	5000 ± 50	-	-	-		
	37,5	25	1250 ± 25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5000 ± 25	-	5000 ± 25	-		
	25	19	1250 ± 25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5000 ± 25	-		
	19	12,5	1250 ± 10	-	2500 ± 10	2502,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	12,5	9,5	1250 ± 10	-	2500 ± 10	2501,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	9,5	6,3	-	-	-	-	2500 ± 10	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	6,3	4,75	-	-	-	-	2500 ± 10	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	4,75	2,36	-	-	-	-	-	-	5000 ± 10	-	-	-	-	-	-	-		
	2,36	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Massa total (g)			5000 ± 10	-	5000 ± 10	-	5000 ± 10	-	5000 ± 10	-	10000 ± 100	-	10000 ± 75	-	10000 ± 50	-		
Número de rotações do tambor			500		500		500		500		1000		1000		1000			
Número de esferas			12		11		8		6		12		12		12			
Massa da carga (g)			5000 ± 25		4564 ± 25		3330 ± 20		2500 ± 15		5000 ± 25		5000 ± 25		5000 ± 25			
<b>ENSAIO NA MÁQUINA "LOS ANGELES"</b>																		
GRADUAÇÃO	A	Massa Inicial da Amostra	m =		-		-		-		-		-		-			
		Massa Retida na Peneira de 1,68 mm	m <sub>1</sub> =		-		-		-		-		-		-			
		D m = m - m <sub>1</sub> =	-		-		-		-		-		-		-			
	B	Massa Inicial da Amostra	m =		5004,3		5004,3		5004,3		5004,3		5004,3		5004,3		5004,3	
		Massa Retida na Peneira de 1,68 mm	m <sub>1</sub> =		2916,0		2916,0		2916,0		2916,0		2916,0		2916,0		2916,0	
		D m = m - m <sub>1</sub> =	2088,3		2088,3		2088,3		2088,3		2088,3		2088,3		2088,3		2088,3	
	C	Massa Inicial da Amostra	m =		-		-		-		-		-		-		-	
Massa Retida na Peneira de 1,68 mm		m <sub>1</sub> =		-		-		-		-		-		-		-		
D m = m - m <sub>1</sub> =		-		-		-		-		-		-		-		-		
D	Massa Inicial da Amostra	m =		-		-		-		-		-		-		-		
	Massa Retida na Peneira de 1,68 mm	m <sub>1</sub> =		-		-		-		-		-		-		-		
	D m = m - m <sub>1</sub> =	-		-		-		-		-		-		-		-		
E	Massa Inicial da Amostra	m =		-		-		-		-		-		-		-		
	Massa Retida na Peneira de 1,68 mm	m <sub>1</sub> =		-		-		-		-		-		-		-		
	D m = m - m <sub>1</sub> =	-		-		-		-		-		-		-		-		
F	Massa Inicial da Amostra	m =		-		-		-		-		-		-		-		
	Massa Retida na Peneira de 1,68 mm	m <sub>1</sub> =		-		-		-		-		-		-		-		
	D m = m - m <sub>1</sub> =	-		-		-		-		-		-		-		-		
G	Massa Inicial da Amostra	m =		-		-		-		-		-		-		-		
	Massa Retida na Peneira de 1,68 mm	m <sub>1</sub> =		-		-		-		-		-		-		-		
	D m = m - m <sub>1</sub> =	-		-		-		-		-		-		-		-		
<b>Perda por abrasão</b>										<b>P = 41,7%</b>								
Equipamentos Utilizados:			Máquina: 01		Balança: 01		Estufa: 01											
Obs. :																		

Título: <b>AGREGADO GRAÚDO - ENSAIO DE ABRASÃO "LOS ANGELES" - NM 51:2001</b>			Documento N°: FORM 5.4 - 27 - CMP		Revisão: 01												
OPERADOR: FÁBIO BORTOLAZO			Emissão: 18/12/2013		Folha N°: 1 de 1												
			VISTO:		REGISTRO: AMOSTRA 02		DATA DO ENSAIO: 12/05/2019										
<b>PREPARAÇÃO DA AMOSTRA</b>																	
Peneiras (abertura) mm			Massa parcial (g)														
			Graduação														
Material			A		B		C		D		E		F		G		
Patrimônio	Passa	Retido	Necessária	Obtida	Necessária	Obtida	Necessária	Obtida	Necessária	Obtida	Necessária	Obtida	Necessária	Obtida	Necessária	Obtida	
	75	63	-	-	-	-	-	-	-	-	2500 ± 50		-	-	-	-	
	63	50	-	-	-	-	-	-	-	-	2500 ± 50		-	-	-	-	
	50	37,5	-	-	-	-	-	-	-	-	5000 ± 50		5000 ± 50		-	-	
	37,5	25	1250 ± 25		-	-	-	-	-	-	-	-	5000 ± 25		5000 ± 25		
	25	19	1250 ± 25		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5000 ± 25		
	19	12,5	1250 ± 10		2500 ± 10	2500,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	12,5	9,5	1250 ± 10		2500 ± 10	2500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	9,5	6,3	-	-	-	-	2500 ± 10		-	-	-	-	-	-	-	-	
	6,3	4,75	-	-	-	-	2500 ± 10		-	-	-	-	-	-	-	-	
	4,75	2,36	-	-	-	-	-	-	5000 ± 10		-	-	-	-	-	-	
	2,36	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Massa total (g)			5000 ± 10	-	5000 ± 10	-	5000 ± 10	-	5000 ± 10	-	10000 ± 100	-	10000 ± 75	-	10000 ± 50	-	
Número de rotações do tambor			500		500		500		500		1000		1000		1000		
Número de eclusas			12		11		8		6		12		12		12		
Massa da carga (g)			5000 ± 25		4584 ± 25		3330 ± 20		2500 ± 15		5000 ± 25		5000 ± 25		5000 ± 25		
<b>ENSAIO NA MÁQUINA "LOS ANGELES"</b>																	
GRADUAÇÃO	A	Massa Inicial da Amostra	m	-							P = $\frac{Dm}{m} \times 100 =$						
		Massa Retida na Peneira de 1,68 mm	m <sub>1</sub>								m						
		Dm = m - m <sub>1</sub>		-													
	B	Massa Inicial da Amostra	m	5000,8							P = $\frac{Dm}{m} \times 100 =$				46,7%		
		Massa Retida na Peneira de 1,68 mm	m <sub>1</sub>	2665,1							m						
		Dm = m - m <sub>1</sub>		2335,7													
	C	Massa Inicial da Amostra	m	-							P = $\frac{Dm}{m} \times 100 =$						
Massa Retida na Peneira de 1,68 mm		m <sub>1</sub>								m							
Dm = m - m <sub>1</sub>			-														
D	Massa Inicial da Amostra	m	-							P = $\frac{Dm}{m} \times 100 =$							
	Massa Retida na Peneira de 1,68 mm	m <sub>1</sub>								m							
	Dm = m - m <sub>1</sub>		-														
E	Massa Inicial da Amostra	m	-							P = $\frac{Dm}{m} \times 100 =$							
	Massa Retida na Peneira de 1,68 mm	m <sub>1</sub>								m							
	Dm = m - m <sub>1</sub>		-														
F	Massa Inicial da Amostra	m	-							P = $\frac{Dm}{m} \times 100 =$							
	Massa Retida na Peneira de 1,68 mm	m <sub>1</sub>								m							
	Dm = m - m <sub>1</sub>		-														
G	Massa Inicial da Amostra	m	-							P = $\frac{Dm}{m} \times 100 =$							
	Massa Retida na Peneira de 1,68 mm	m <sub>1</sub>								m							
	Dm = m - m <sub>1</sub>		-														
<b>Perda por abrasão</b>											<b>P = 46,7%</b>						
Equipamentos Utilizados:			Máquina:	01	Balança:	01	Eclusa:	01									
Obs.:																	

Título: <b>AGREGADO GRAÚDO - ENSAIO DE ABRASÃO "LOS ANGELES" - NM 51:2001</b>			Documento N°: FORM 5.4 - 27 - CMP		Revisão: 01															
OPERADOR: FABIO BORTOLAZO			Emissão: 18/12/2013		Folha N°: 1 de 1															
			VISTO:		REGISTRO: AMOSTRA 02		DATA DO ENSAIO: 12/05/2019													
<b>PREPARAÇÃO DA AMOSTRA</b>																				
Peneiras (abertura) mm			Massa parcelal (g)																	
Material			Graduação																	
Patrimônio	Passa	Retido	A		B		C		D		E		F		G					
			Necessária	Obtida	Necessária	Obtida	Necessária	Obtida	Necessária	Obtida	Necessária	Obtida	Necessária	Obtida	Necessária	Obtida				
	75	63	-	-	-	-	-	-	-	-	2500 ± 50		-	-	-	-				
	63	50	-	-	-	-	-	-	-	-	2500 ± 50		-	-	-	-				
	50	37,5	-	-	-	-	-	-	-	-	5000 ± 50		5000 ± 50		-	-				
	37,5	25	1290 ± 25		-	-	-	-	-	-	-	-	5000 ± 25		8000 ± 25					
	25	19	1290 ± 25		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8000 ± 25					
	19	12,5	1290 ± 10		2900 ± 10	2605,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
	12,5	9,5	1290 ± 10		2900 ± 10	2503	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
	9,5	6,3	-	-	-	-	2500 ± 10		-	-	-	-	-	-	-	-				
	6,3	4,75	-	-	-	-	2500 ± 10		-	-	-	-	-	-	-	-				
	4,75	2,36	-	-	-	-	-	-	5000 ± 10		-	-	-	-	-	-				
	2,36	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
Massa total (g)			5000 ± 10	-	5000 ± 10	-	5000 ± 10	-	5000 ± 10	-	10000 ± 100	-	10000 ± 75	-	10000 ± 50	-				
Número de rotações do tambor			500		500		500		500		1000		1000		1000					
Número de esferas			12		11		8		6		12		12		12					
Massa da carga (g)			5000 ± 25		4984 ± 25		3330 ± 20		2900 ± 15		5000 ± 25		5000 ± 25		5000 ± 25					
<b>ENSAIO NA MÁQUINA "LOS ANGELES"</b>																				
GRADUAÇÃO	A	Massa Inicial da Amostra	m	-																
		Massa Retida na Peneira de 1,68 mm	m <sub>1</sub>									P = $\frac{Dm}{m} \times 100 =$								
				Dm = m - m <sub>1</sub>								m								
	B	Massa Inicial da Amostra	m	5008,2																
		Massa Retida na Peneira de 1,68 mm	m <sub>1</sub>	4446,5										P = $\frac{Dm}{m} \times 100 =$		11,2%				
				Dm = m - m <sub>1</sub>		561,7								m						
	C	Massa Inicial da Amostra	m	-																
		Massa Retida na Peneira de 1,68 mm	m <sub>1</sub>											P = $\frac{Dm}{m} \times 100 =$						
				Dm = m - m <sub>1</sub>										m						
	D	Massa Inicial da Amostra	m	-																
		Massa Retida na Peneira de 1,68 mm	m <sub>1</sub>											P = $\frac{Dm}{m} \times 100 =$						
				Dm = m - m <sub>1</sub>										m						
	E	Massa Inicial da Amostra	m	-																
		Massa Retida na Peneira de 1,68 mm	m <sub>1</sub>											P = $\frac{Dm}{m} \times 100 =$						
			Dm = m - m <sub>1</sub>										m							
F	Massa Inicial da Amostra	m	-																	
	Massa Retida na Peneira de 1,68 mm	m <sub>1</sub>											P = $\frac{Dm}{m} \times 100 =$							
			Dm = m - m <sub>1</sub>										m							
G	Massa Inicial da Amostra	m	-																	
	Massa Retida na Peneira de 1,68 mm	m <sub>1</sub>											P = $\frac{Dm}{m} \times 100 =$							
			Dm = m - m <sub>1</sub>										m							
<b>Perda por abrasão</b>									<b>P = 11,2%</b>											
Equipamentos Utilizados:			Máquina: 01			Balança: 01			Escufa: 01											
Obs. :																				