

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

ESCOLA DE ENGENHARIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CONSTRUÇÃO CIVIL

**UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS GERADOS NA
FABRICAÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO, NO
MOMENTO DA PRENSAGEM, PARA
CONFECÇÃO DE MICRO CONCRETO**

Derival das Graças Martins

Belo Horizonte

2012

Derival das Graças Martins

**UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS GERADOS NA
FABRICAÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO, NO
MOMENTO DA PRENSAGEM, PARA
CONFECÇÃO DE MICRO CONCRETO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Construção Civil da Universidade Federal de Minas Gerais, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Construção Civil.

Área de concentração: Materiais de Construção Civil

Linha de pesquisa: Resíduos como Materiais de Construção Civil.

Orientadora: Prof^ª. Dra. Adriana Guerra Gumieri

Belo Horizonte

Escola de Engenharia da UFMG

2012

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ENGENHARIA DA UFMG
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM CONSTRUÇÃO CIVIL


UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS GERADOS NA FABRICAÇÃO DE
BLOCOS DE CONCRETO, NO MOMENTO DA PRENSAGEM,
PARA CONFECÇÃO DE MICRO CONCRETO


Derival das Graças Martins

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Construção Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Construção Civil.

Comissão Examinadora:


Prof^a. Dra. Adriana Guerra Gumieri
DEMC / UFMG – (Orientadora)


Prof. Dr. Adriano de Paula e Silva
DEMC / UFMG


Prof^a. Dra. Maria Teresa Gomes Barbosa
Faculdade de Engenharia / UFJF

Belo Horizonte, 26 de novembro de 2012.

À Deus,
à minha alma gêmea Karima,
ao meu filho Pedro,
aos meus pais e meus irmãos,
à Aparecida
e ao Cláudio Kindlé.

“Quando amamos e acreditamos do fundo de nossa alma, em algo, nos sentimos mais fortes que o mundo, e somos tomados de uma serenidade que vem da certeza de que nada poderá vencer a nossa fé. Esta força estranha faz com que sempre tomemos a decisão certa, na hora exata e, quando atingimos nossos objetivos ficamos surpresos com nossa própria capacidade.”

Paulo Coelho

AGRADECIMENTOS

À Deus por tudo que acontece em minha vida.

À Karima, minha amada esposa e companheira pelo incentivo, pela paciência e compreensão nos momentos difíceis.

À minha maior motivação de vida, meu filho Pedro pelo seu sorriso fácil, cativante e revigorante.

Aos meus Pais pela minha criação, pelo apoio em todos os momentos da minha vida e pela formação do meu caráter.

Aos meus irmãos pelo incentivo, apoio e por sempre torcerem pelas minhas vitórias.

À Aparecida, minha segunda mãe, pela acolhida e pelo apoio.

À Camila e ao Rodrigo por estarem sempre por perto para compartilhar os raros momentos de descontração durante o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Cláudio Kindlé pelo apoio e incentivo, pela satisfação de trabalhar ao seu lado e principalmente pelo exemplo profissional.

Ao Paulo Eduardo pela oportunidade de ajudá-lo no crescimento da Clip Engenharia.

À professora Adriana pelos ensinamentos, pelas orientações e pela paciência.

Ao professor Antônio Júnior pelo incentivo e pelos ensinamentos.

Ao Ricardo do Departamento de Engenharia de Materiais de Construção da UFMG pelo apoio, pela boa vontade e disponibilidade para as realizações dos ensaios de laboratório.

A todos os demais professores e funcionários do Departamento de Engenharia de Materiais de Construção da UFMG.

Ao Edmilson, da fábrica de blocos de Barbacena-MG, por contribuir com esta pesquisa.

E a todos os meus familiares, amigos e companheiros de trabalho que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	VIII
LISTA DE TABELAS	XII
LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS	XIII
RESUMO	XIV
ABSTRACT	XV
1. INTRODUÇÃO	16
2. OBJETIVOS	19
3. JUSTIFICATIVA DO TEMA	20
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
4.1. Alvenaria Estrutural	21
4.1.1. Histórico	21
4.1.2. Diretrizes de Projeto	23
4.1.3. Conceitos Básicos	27
4.1.4. Vantagens e Desvantagens do Sistema	27
4.2. Blocos de Concreto Estruturais	28
4.2.1. Indústria de Blocos de Concreto	30
4.2.2. Processo de Fabricação dos Blocos de Concreto Estruturais	31
4.2.3. Resíduo Gerado pela Produção de Blocos de Concretos Estruturais	33
4.3. Micro Concreto	33
4.3.1. Agregados que Compõem o Micro Concreto	34
4.3.1.1. Pedra	35
4.3.1.2. Areia	37
4.4. Resíduos Sólidos	39
4.4.1. Impactos Ambientais da Construção Civil	29
4.4.2. Classificação dos Resíduos	40
4.4.3. Diferença entre resíduo da fabricação de blocos de concreto e resíduo de construção e demolição	41
5 METODOLOGIA DA PESQUISA	43
5.1. Visita a Fábrica de Blocos	44
5.1.1. Processo Produtivo dos Blocos	44
5.2. Caracterização Visual do Resíduo	54
5.3. Caracterização Física do Resíduo	57
5.4. Caracterização dos Agregados Usados no Micro Concreto	58
5.5. Dosagens dos Micros Concretos	61
5.6. Ensaio de Fluidez do Micro Concreto no Estado Fresco	62
5.7. Moldagem e Cura dos Corpos de Prova de Concreto	63
5.8. Ensaio Físicos nos Micros Concretos Endurecidos	63
5.8.1. Resistência à Compressão de Corpos de Prova de Micro Concreto	63
5.8.2. Resistência à Compressão de Blocos de Concreto Preenchidos com Micro Concreto	64
5.8.3. Absorção dos Blocos de Concreto Preenchidos com Micro Concreto	68
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES	72
6.1. Caracterização do Física do Resíduo	72
6.2. Caracterização dos Agregados	75
6.2.1. Areia	75

6.2.2. Brita	80
6.3. Discussões dos Resultados das Caracterizações do Resíduo, da Areia e da Brita	82
6.3.1. Caracterização do Resíduo Peneirado passante na # 4,8mm .	86
6.4. Dosagens dos Micros Concretos	91
6.5. Fluidez do Micro Concreto no Estado Fresco	91
6.6. Resistência à Compressão de Corpos de Prova de Micro Concreto	96
6.7. Resistência à Compressão de Blocos de Concreto Preenchidos com Micro Concreto	101
6.8. Absorção dos Blocos de Concreto Preenchidos com Micro Concreto	102
7. CONCLUSÕES	106
8. SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS	109
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	110

LISTA DE FIGURAS

Figura 4.1:	Farol de Alexandria	21
Figura 4.2:	Castelo Medieval de Windsor	22
Figura 4.3:	Edifício Monadnock	22
Figura 4.4:	Condomínio Central Park da Lapa	23
Figura 4.5:	Paginação dos blocos não racionalizada	25
Figura 4.6:	Paginação dos blocos racionalizada	25
Figura 4.7:	Vista de uma parede com paginação não racionalizada e seus blocos Compensadores	26
Figura 4.8:	Corte de um bloco inteiro para a obtenção de um bloco compensador	26
Figura 4.9:	Blocos de concreto padronizados (linha superior) e não padronizados (linha inferior) pela NBR 6136	29
Figura 4.10:	Ensaio de prisma de blocos de concreto estruturais	29
Figura 4.11:	Quantidade blocos (em milhões) fabricados nas regiões brasileiras por mês.....	31
Figura 4.12:	Fluxograma típico do processo de fabricação de blocos de concreto.....	32
Figura 4.13:	Britagem – Etapa do processo de extração de pedra britada	36
Figura 4.14:	Classificação – Etapa do processo de extração de pedra britada	36
Figura 4.15:	Visão aérea de uma degradação ambiental causada pela extração de pedra	37
Figura 4.16:	Dragagem – Etapa do processo de extração da areia	38
Figura 4.17:	Transporte até a área de estocagem – Etapa do processo de extração da areia	38
Figura 4.18:	Estocagem – Etapa do processo de extração da areia	38
Figura 5.1:	Vista geral da Fábrica de Blocos de Concreto – Barbacena-MG	44
Figura 5.2:	Estoque de brita 0 – Fábrica de Blocos de Concreto Barbacena-MG	45
Figura 5.3:	Estoque de pedrisco – Fábrica de Blocos de Concreto Barbacena-MG	45
Figura 5.4:	Estoque de areia artificial – Fábrica de Blocos de Concreto Barbacena-MG	46
Figura 5.5:	Separação granulométrica do pedrisco	46
Figura 5.6:	Separação granulométrica da brita	47
Figura 5.7:	Separação granulométrica da areia	47
Figura 5.8:	Curva granulométrica dos agregados proposta por FERNANDES, 2008	48

Figura 5.9:	Balança Analítica utilizada na determinação do teor de umidade da areia Fábrica de Blocos de Concreto	49
Figura 5.10:	Pesagem dos agregados	49
Figura 5.11:	Esteira de transporte dos materiais	50
Figura 5.12:	Final da esteira de transporte de materiais e cocho de homogeneização	50
Figura 5.13:	Vista geral do dispositivo dosador de água	51
Figura 5.14:	Esteira que encaminha a mistura à prensa	51
Figura 5.15:	Prensa hidráulica e placa vibratória	52
Figura 5.16:	Prensagem e moldagem dos blocos	52
Figura 5.17:	Blocos moldados e prontos para o acondicionamento nas prateleiras para cura	53
Figura 5.18:	Blocos acondicionados nas prateleiras de cura	53
Figura 5.19:	Blocos estocados, paletizados e embalados, prontos para o transporte	54
Figura 5.20:	Resíduo gerado no processo de prensagem dos blocos	55
Figura 5.21:	Blocos defeituosos que serão descartados	55
Figura 5.22:	Resíduo de blocos defeituosos descartados	56
Figura 5.23:	Aspecto visual da amostra do resíduo de blocos de concreto	57
Figura 5.24:	Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo	58
Figura 5.25:	Módulo de finura para os limites granulométricos da NBR 7211	58
Figura 5.26:	Granulometria – conjunto de peneiras 4,8 a 32 mm e agitador mecânico	59
Figura 5.27:	Granulometria – conjunto de peneiras 0,15 a 4,8 mm e agitador mecânico	59
Figura 5.28:	Material pulverulento - Balança eletrônica	60
Figura 5.29:	Massa unitária no estado solto	60
Figura 5.30:	Massa específica (Frasco de Chapman)	61
Figura 5.31:	Mesa de Consistência	62
Figura 5.32:	Corpos de prova de micro concreto, já preparados, com o capeamento de enxofre para o ensaio de resistência à compressão	63
Figura 5.33:	Prensa do ensaio de resistência à compressão dos corpos de prova de concreto e bloco	64
Figura 5.34:	Traço padrão com A/C=0,5 confeccionado na obra	66
Figura 5.35:	a) Vista superior do bloco a ser preenchido com micro concreto. b) Vista superior do bloco de concreto no momento do preenchimento com micro concreto	65
Figura 5.36:	Janela de inspeção aberta na base da parede	66

Figura 5.37:	Janela de inspeção totalmente preenchida com micro concreto	66
Figura 5.38:	Blocos de concreto sendo preenchidos com micro concreto preparados para o ensaio de resistência à compressão	67
Figura 5.39:	Ensaio de resistência à compressão dos blocos de concreto preenchidos com micro concreto, após 28 dias de cura	67
Figura 5.40:	Blocos de concreto preenchidos com micro concreto e preparados para o ensaio de absorção	68
Figura 5.41:	Blocos de concreto preenchidos com micro concreto mantidos por 24 horas submersos em água	69
Figura 5.42:	Blocos de concreto preenchidos com micro concreto pesados após saturação	70
Figura 6.1:	Resíduo retido nas peneiras de 25mm até 4,8mm	72
Figura 6.2:	Resíduo retido nas peneiras de 2,4mm até 0,15mm	72
Figura 6.3:	Porcentagem de resíduo retido nas peneiras	74
Figura 6.4:	Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo (NBR 7211) e curva granulométrica do resíduo	74
Figura 6.5:	Módulo de finura para os limites granulométricos da NBR 7211 e módulo de finura do resíduo	75
Figura 6.6:	Areia retida nas peneiras de 4,8mm até 0,15mm	76
Figura 6.7:	Ensaio colorimétrico para obtenção da matéria orgânica do agregado miúdo	76
Figura 6.8:	Porcentagem de areia retida nas peneiras	78
Figura 6.9:	Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo (NBR 7211) e curva granulométrica da areia fina	78
Figura 6.10:	Limites para o módulo de finura do agregado miúdo e o resultado do módulo de finura encontrado (1,72) da areia	79
Figura 6.11:	Porcentagem de brita retida nas peneiras	81
Figura 6.12:	Limites da distribuição granulométrica do agregado graúdo (NBR 7211) e curva granulométrica da brita	81
Figura 6.13:	Comparativo das porcentagens de areia, brita e resíduo retidas nas peneiras	83
Figura 6.14:	Comparativo das curvas granulométricas do resíduo, da areia e da brita	83
Figura 6.15:	Comparativo das massas unitárias do resíduo, da areia e da brita	84
Figura 6.16:	Comparativo das massas específicas do resíduo, da areia e da brita	84
Figura 6.17:	Comparativo dos módulos de finuras do resíduo, da areia e da brita	85
Figura 6.18:	Porcentagem de resíduo passante na # 4,8mm e retido nas demais peneiras	87
Figura 6.19:	Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo (NBR7211) e curva granulométrica do resíduo passante na # 4,8mm e retido nas demais peneiras	87

Figura 6.20:	Limites para o módulo de finura do agregado miúdo e o resultado do módulo de finura encontrado (2,73) do resíduo passante na # 4,8 e retido nas demais peneiras	88
Figura 6.21:	Comparativo das porcentagens de areia e resíduo peneirado retidas nas Peneiras	88
Figura 6.22:	Comparativo das curvas granulométricas do resíduo peneirado e da Areia	89
Figura 6.23:	Comparativo das massas unitárias do resíduo peneirado e da areia	89
Figura 6.24:	Comparativo das massas específicas do resíduo peneirado e da areia	90
Figura 6.25:	Comparativo dos módulos de finuras do resíduo peneirado e da areia	90
Figura 6.26:	Micro concreto, traço padrão	92
Figura 6.27:	Ensaio de consistência do micro concreto, espalhamento (37cm), traço A1	92
Figura 6.28:	Ensaio de consistência do micro concreto, espalhamento (31cm), traço B1	93
Figura 6.29:	Ensaio de consistência do micro concreto, espalhamento (31cm), traço C1	93
Figura 6.30:	Ensaio de consistência do micro concreto, espalhamento (29cm), traço A2	94
Figura 6.31:	Ensaio de consistência do micro concreto, espalhamento (29cm), traço B2	94
Figura 6.32:	Ensaio de consistência do micro concreto, espalhamento (29cm), traço C2	95
Figura 6.33:	Resistência à compressão x relação água cimento	100
Figura 6.34:	Indicação da posição do corte dos blocos e o posicionamento da vista	103
Figura 6.35:	Aspecto visual do interior do bloco de concreto preenchido com micro concreto, traço A2, após saturado em água por 24 horas e cerrado	104
Figura 6.36:	Aspecto visual do interior do bloco de concreto preenchido com micro concreto, traço B2, após saturado em água por 24 horas e cerrado	104

LISTA DE TABELAS

Tabela 6.1: Propriedades Físicas do Resíduo	73
Tabela 6.2: Propriedades Físicas da Areia	77
Tabela 6.3: Propriedades Físicas da Brita	80
Tabela 6.4: Propriedades Físicas do Resíduo Peneirado	86
Tabela 6.5: Composições dos traços dos micros concretos e resultados dos ensaios de consistência	95
Tabela 6.6: Resultados dos ensaios de resistência à compressão dos micros concretos, traço A1	96
Tabela 6.7: Resultados dos ensaios de resistência à compressão dos micros concretos, traço B1	97
Tabela 6.8: Resultados dos ensaios de resistência à compressão dos micros concretos, traço C1	97
Tabela 6.9: Resultados dos ensaios de resistência à compressão dos micros concretos, traço A2	98
Tabela 6.10: Resultados dos ensaios de resistência à compressão dos micros concretos, traço B2	98
Tabela 6.11: Resultados dos ensaios de resistência à compressão dos micros concretos, traço C2	99
Tabela 6.12: Consolidação dos resultados dos ensaios de resistência à compressão dos micros concretos	99
Tabela 6.13: Consolidação dos resultados dos ensaios de resistência à compressão dos blocos de concreto preenchidos com micros concretos	102
Tabela 6.14: Resultados dos ensaios de absorção dos blocos de concreto preenchidos com micros concretos	103

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

– Peneira

a – Absorção

A1 – Traço padrão de micro concreto com $A/C=0,6$

A2 – Traço padrão de micro concreto com $A/C=0,5$

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland

A/C – Relação água/cimento

ARI – Alta Resistência Inicial

B1 – Traço do micro concreto 100% de resíduo e $A/C=0,6$

B2 – Traço do micro concreto 100% de resíduo e $A/C=0,5$

C1 – Traço do micro concreto 50% de resíduo e $A/C=0,6$

C2 – Traço do micro concreto 50% de resíduo e $A/C=0,5$

CP – Cimento Portland

DMC – Dimensão Máxima Característica

fbk – Resistência característica do bloco de concreto à compressão

fck – Resistência característica do concreto à compressão

IPI – Imposto Sobre Produtos Industrializados

m1 – Massa seca

m2 – Massa saturada

MPa – Mega Pascal

NBR – Norma Brasileira Registrada

PIB – Produto Interno Bruto

RDC – Resíduo de Demolição e Construção

UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais

RESUMO

Após a crise mundial de 2008, desencadeada a partir da crise dos mercados imobiliário e financeiro dos EUA em 2010, o Brasil retomou o caminho do crescimento econômico e para se recuperar dos impactos sofridos pela construção civil, o Governo Federal lançou medidas de incentivo como a redução do IPI (Imposto sobre Produtos Industrializados) para alguns materiais de construção e o lançamento de programas de concessão de subsídios como o Programa Minha Casa Minha Vida. Esta última medida, além do cunho social, também veio para aquecer as atividades do setor, mantendo assim o crescimento. Tendo em vista a sustentabilidade, este cenário imposto é preocupante, pois a construção civil consome grandes quantidades de matérias primas e de energia além de ser uma das maiores geradoras de resíduos, sendo responsável por uma parcela significativa dos impactos ambientais em todo o mundo. A escolha de um sistema construtivo mais sustentável é fundamental para o meio ambiente, ainda mais se tratando de obras de grande porte como: conjuntos habitacionais ou prédios altos com um número expressivo de apartamentos, pois a geração de resíduos é diretamente proporcional ao tamanho da obra. A alvenaria estrutural, quando cumprida todas as etapas de projeto e de execução recomendadas para a racionalização, é um sistema construtivo interessante para os tipos de obras em que se pode optar por este sistema. O objetivo deste trabalho é aproveitar o resíduo da fabricação dos blocos de concreto, no momento da prensagem, para a confecção do micro concreto de preenchimento dos alvéolos dos blocos durante o erguimento da alvenaria estrutural, conforme especificação do projeto de cálculo estrutural. Este trabalho envolveu a caracterização do resíduo e dos agregados comumente usados na confecção do micro concreto. Foram avaliadas as propriedades mecânicas e de trabalhabilidade do micro concreto por meio de ensaios de consistência e de resistência à compressão. Também foram avaliadas a resistência à compressão e absorção dos blocos de concreto preenchidos com micro concreto. O estudo da substituição da areia pelo resíduo para a confecção do micro concreto apresentou resultados que viabilizaram esta substituição sem a perda das propriedades necessárias ao micro concreto.

Palavras chave: Resíduo, bloco de concreto, micro concreto, alvenaria estrutural.

ABSTRACT

After the 2008 global crisis, triggered from the housing market crisis and U.S. financial in 2010, Brazil has resumed the path of economic growth and to recover from the impacts suffered by construction, the Federal Government launched stimulus measures as the reduction of the IPI (Excise Tax) for some construction materials and launching programs subsidies as My Home My Life. This last measure, in addition to social, also came to warm sector activities, thus maintaining growth. In view of sustainability, this tax scenario is worrisome because construction consumes large quantities of raw materials and energy as well as being one of the largest generators of waste, accounting for a significant portion of the environmental impacts worldwide. The choice of a more sustainable construction system is critical to the environment, especially when dealing with large works such as tall buildings or housing complexes with a large number of apartments, as waste generation is directly proportional to the size of the work . The structural masonry, when fulfilled all stages of design and implementation recommendations for the rationalization, is an interesting building system for the types of works that one can opt for this system. The objective of this work is to harness the residue from the manufacture of concrete blocks, at the time of pressing, for the making of micro concrete filling of the alveoli of the blocks during the erection of structural masonry, as specified by the project structural calculation. This work involved the residue and characterization of the aggregates commonly used in the manufacture of micro concrete. We evaluated the mechanical properties and workability of the concrete micro by testing for consistency and resistance to compression. We evaluated the compressive strength and absorption of concrete blocks filled with micro concrete. The study of substitution of sand by the residue for the manufacture of micro concrete results showed that this substitution made possible without losing the properties required for the micro concrete.

Keywords: waste, concrete block, micro concrete, structural masonry.

1. INTRODUÇÃO

Desde 1994, com a implantação do Plano Real, a economia brasileira tem se mantido estável, com a inflação controlada em 6,7% ao ano, média dos últimos 10 anos, e com PIB em significativo crescimento (ABDALA et al, 2011).

A construção civil no Brasil, após décadas de estagnação, tem apresentado, desde 2004, crescimento acima do PIB do país, mas com a crise mundial de 2008, desencadeada a partir da crise dos mercados imobiliário e financeiro dos EUA, o Brasil teve seu processo de crescimento reduzido. Foi necessário, então, que o Governo Brasileiro adotasse algumas medidas para tentar impedir que a economia brasileira ficasse sem controle e afetasse a taxa de emprego dos brasileiros. Além da estratégia de incentivar o consumo interno, uma das providências tomadas foi lançar uma medida provisória que possibilitava ao Banco do Brasil e a Caixa Econômica Federal adquirirem instituições financeiras privadas e também se tornarem sócios de empresas construtoras.

Passada a crise mundial, após um ano de recessão, em 2010 o Brasil retomou o caminho do crescimento econômico. Assim como os outros setores da indústria, a construção civil também sofreu impactos da crise econômica, o que obrigou o Governo Federal a tomar medidas de incentivo como a redução do IPI (Imposto sobre Produtos Industrializados) para alguns materiais de construção e o lançamento de programas de concessão de subsídios como o Programa Minha Casa Minha Vida. Esta última medida, além do cunho social, também veio para aquecer as atividades do setor, mantendo o crescimento econômico.

O Programa Minha Casa Minha Vida deve reduzir o déficit habitacional brasileiro e de acordo com BEZERRA (2012), em 2010 o Governo Federal em parceria com a Caixa Econômica Federal disponibilizou para o programa 14 bilhões de reais. O resultado desta injeção econômica foi a construção de mais de um milhão de residências populares.

Apesar da importância social e econômica desse Programa, sob a vista da sustentabilidade, este cenário imposto é preocupante, pois a construção civil consome grandes quantidades de matérias primas e de energia, além de ser uma das maiores geradoras de resíduos, sendo responsável por uma parcela significativa dos impactos ambientais em todo o mundo. A construção civil é responsável pelo consumo de 20 a 50 % dos recursos naturais extraídos. Por exemplo, a extração de agregados naturais varia de 1 a 8 toneladas/habitante/ano (LEITE, 2001).

A construção civil brasileira tem que buscar outros processos construtivos através de inovação tecnológica para poder reduzir inclusive o desperdício.

O cimento é um ótimo exemplo de inovação tecnológica, pois atualmente parte do produto é composto por escória de alto forno e materiais pozolânicos que normalmente são originados de processos industriais. Dentro deste contexto, deve-se aprimorar a produção de novos materiais para a construção civil provenientes dos entulhos dos aterros sanitários e canteiros de obras que possam ser reprocessados.

O setor já vem investindo no desenvolvimento de novas tecnologias que contemplam projetos de construção sustentável, eficiência energética, uso adequado das águas e de redução da emissão do CO₂, como exemplo, podem ser citadas as edificações verdes, e o desafio é que este tipo de construção seja universal.

A preocupação com a sustentabilidade começa na concepção do projeto, que deve levar em conta fatores como: materiais, resíduos, vida útil da edificação, e até mesmo o custo da manutenção. Isso tem que ficar bem claro dentro das questões do impacto que a construção civil faz dentro do espaço urbano, porque o ciclo de vida útil de uma edificação, dependendo da decisão de projeto que for tomada, pode ser desastrosa para o meio ambiente a médio e longo prazo.

É fundamental para o meio ambiente que se busque a diminuição da geração de resíduos, e uma das alternativas é a escolha de um sistema construtivo mais sustentável. Sob este ponto de vista, a alvenaria estrutural, quando cumprida todas as etapas de projeto e de execução recomendadas para a racionalização, é um sistema construtivo interessante para os tipos de obras em que se pode optar por este sistema. Outra vantagem é que além de não consumir madeiras (não se utiliza forma para concreto), a alvenaria estrutural é mais econômica do que as estruturas de concreto armado. Atualmente, o setor da construção civil que tem foco na construção de moradias para a população de baixa renda, foi aquecido pelo Governo Federal através do Programa Minha Casa, Minha Vida. E para viabilizar a construção de moradias populares dentro das exigências do Programa, quase em sua totalidade, o sistema construtivo adotado é a alvenaria estrutural.

A alvenaria estrutural é... “um processo construtivo que se caracteriza pelo emprego de paredes de alvenaria e laje enrijecedoras, como principal estrutura suporte dos edifícios, dimensionadas segundo métodos de cálculos racionais e de confiabilidade determinável” (FRANCO, 1992).

Este sistema, para ser racional, deve obedecer a uma série de diretrizes de projeto para que na fase de construção gere a menor quantidade de resíduos possível. A

escolha do sistema depende de vários fatores de projeto, e principalmente de uma análise financeira. Após análise do anteprojeto, e de ter optado pelo sistema de estrutura em alvenaria estrutural, o projeto arquitetônico pode ser finalizado respeitando a compatibilização dos projetos de instalações elétricas e hidrosanitárias.

A alvenaria estrutural consiste em blocos estruturais de concreto ou cerâmica assentados com argamassa de cimento e areia. Em alguns casos, dependendo da solicitação de cálculo, é necessário que uma determinada parede tenha sua resistência mecânica aumentada, e isto é atingido através do preenchimento dos alvéolos dos blocos estruturais com barra de aço e micro concreto. Este preenchimento deve estar explícito no projeto juntamente com os parâmetros dimensionados no cálculo estrutural.

Como todo sistema construtivo, a alvenaria estrutural também não está livre da geração de resíduos. Desde a fabricação dos blocos de concreto, do transporte, da execução de um projeto não compatibilizado, da falta de treinamento da mão de obra para a execução do sistema construtivo, e até mesmo dos ensaios de controle tecnológicos dos blocos de concreto, a alvenaria estrutural pode ser o sistema construtivo que mais gere resíduos na construção, devido, justamente, ao grande número de variáveis, mas que por sua vez, quando controlados e racionalizados, viabilizam o sistema no âmbito sustentável e econômico.

2. OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é o estudo da utilização do resíduo da fabricação dos blocos de concreto, no momento da prensagem, para a confecção do micro concreto de preenchimento dos alvéolos dos blocos durante o erguimento da alvenaria estrutural, conforme especificação do projeto de cálculo estrutural.

Para o presente trabalho, adota-se como objeto de estudo o resíduo gerado na fabricação dos blocos de concreto estruturais, material esse que é a base do sistema de alvenaria estrutural. O resíduo é gerado principalmente durante o processo de prensagem dos blocos na fábrica.

O objetivo específico deste trabalho é caracterizar o resíduo e os agregados comumente usados na confecção do micro concreto, avaliar consistência e a resistência à compressão do micro concreto com resíduo e avaliar o índice de absorção do conjunto bloco e micro concreto além da resistência à compressão.

3. JUSTIFICATIVA DO TEMA

O estudo sobre os resíduos provenientes da fabricação dos blocos de concretos estruturais passou a ser pertinente desde o aumento da sua, e na maioria das vezes, estudos semelhantes são feitos com resíduos de construção e demolição, e não de fábrica.

Além disso, poucos estudos relatam a aplicação dos resíduos específicos da prensagem dos blocos na fábrica, uma vez que estes resíduos diferem dos resíduos obtidos das sobras ou quebra dos blocos no estado endurecido.

Por outro lado, o aumento das construções em alvenaria estrutural demanda uma grande quantidade de micro concreto no próprio sistema construtivo, justificando a substituição parcial ou total dos agregados por resíduo que apresentem compatibilidade com esta aplicação, uma vez que os agregados se encontram cada vez mais escassos, principalmente nos centros urbanos.

Com o aumento da demanda, devido ao aquecimento do nicho da habitação popular no setor da construção civil para suprir parte do deficit habitacional, ora incentivado pelo Governo Federal para tentar manter a economia em crescimento ao mesmo tempo que aumenta a geração de empregos ou ora simplesmente por ser um ótimo negócio para as construtoras, a produção de blocos estruturais de concreto aumentou na mesma proporção, e conseqüentemente, a geração dos resíduos provenientes desta fabricação.

A motivação para a escolha deste tema vem do reconhecimento de que, além dos impactos ambientais, a construção civil provoca impactos econômicos e sociais e que a discussão sobre a sustentabilidade do setor contribui para a conscientização de fabricantes, prestadores de serviços e consumidores sobre a necessidade de mudança no sentido de preservar os recursos naturais do planeta.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1. Alvenaria Estrutural

Segundo Sabbatini (1984), alvenaria estrutural é “um componente complexo utilizado na construção e conformado em obra, constituído por tijolos ou blocos unidos entre si por juntas de argamassa, formando um conjunto rígido e coeso”. Franco (1992) conceitua a alvenaria estrutural como um sistema construtivo que tem como principal característica da estrutura as paredes de alvenaria de blocos enrijecidas pelas lajes.

A alvenaria estrutural é uma opção de sistema construtivo que pode ser empregado não só em prédios menores, mas também em prédios mais altos, onde os principais elementos estruturais são as paredes de blocos ao invés de pilares e vigas como nos sistemas de estruturas de concreto armado, metálica ou madeira.

4.1.1. Histórico

Desde a antiguidade, a alvenaria vem sendo empregada como sistema construtivo. A figura 4.1 apresenta o Farol de Alexandria, que pode ser considerado uma das mais bem sucedidas construções em alvenaria da antiguidade. A torre do farol, com altura de 165 metros, foi construída em 280 a.C. na ilha de Faros (uma ilha da península da cidade egípcia de Alexandria), e visava auxiliar a navegação dos barcos que se aproximavam da costa (GOMES, 1983). Feita em alvenaria de tijolos queimados, que por sua vez já eram produzidos desde 3.000 a.C., o Farol de Alexandria, foi destruído por um terremoto em 1.300 d.C. (CAMACHO, 2006).



Figura 4.1: Farol de Alexandria.

Fonte: <http://www.arenaofempires.com/blog/2009/01/09/farol-de-alexandria/>.

Apesar do sistema já ser empregado desde a Idade Antiga nas construções faraônicas, passando pela Idade Média nas construções de grandes castelos e catedrais, como por exemplo, o Castelo de Windsor, localizado na Inglaterra, mostrado na figura 4.2, somente em 1880 as primeiras pesquisas sistemáticas sobre o método construtivo de alvenaria estrutural foram realizadas nos EUA. E baseado nestas pesquisas, em Chicago foi erguido o Edifício Monadnock (figura 4.3) com 16 pavimentos e 65 metros de altura. Algumas de suas paredes, na base, medem 1,80 metros de espessura (CAMACHO, 2006).



Figura 4.2: Castelo Medieval de Windsor,.

Fonte: <http://www.viagempelomundo.com/2011/06/castelo-de-windsor-inglaterra.html>.



Figura 4.3: Edifício Monadnock.

Fonte: <http://www.monadnockbuilding.com/index.html>.

Mas no início do século XX, com o surgimento do concreto armado, a alvenaria como elemento estrutural foi abandonada, e somente na década de 50, após realizações de ensaios e a primeira norma para cálculo de alvenaria estrutural publicada na Inglaterra, é que foram retomadas as construções de prédios relativamente altos na Europa (CAMACHO, 2006).

Apesar deste sistema construtivo já ser bem difundido hoje em dia, no Brasil, somente na década de 60, é que as primeiras construções em habitação popular surgiram, como por exemplo, o condomínio Central Park da Lapa, São Paulo, com prédios de 4 pavimentos construídos em 1966 com blocos de concreto (CAMACHO, 2006), conforme figura 4.4.



Figura 4.4: Condomínio Central Park da Lapa.

Fonte: <http://www.comunidade-da-construcao.com.br/banco-obras/1/alvenaria-estrutural>.

A alvenaria estrutural também pode ser feita utilizando blocos cerâmicos estruturais, esta técnica foi introduzida no Brasil na década de 80 (CAMACHO, 2006).

Atualmente, com o grande volume de obras construídas neste sistema, a certa resistência do mercado da construção em aceitar esta opção de estrutura não existe mais, pois já é de conhecimento no meio que a alvenaria estrutural é um sistema de grande potencialidade. Portanto, este sistema que no Brasil era sinônimo de estrutura para conjuntos habitacionais para população de baixa renda, hoje já é aplicado em obras de alto padrão sem a menor resistência do mercado imobiliário brasileiro.

4.1.2. Diretrizes de projeto

Em geral, de acordo com os gerenciadores de projeto, e de uma forma literal, projeto é um esforço temporário empreendido para alcançar um objetivo específico. Projetos

são executados por pessoas, geralmente têm limitações de recursos e são planejados, executados e controlados (PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE, 2004).

A escolha pelo sistema de alvenaria estrutural deve ser decidida ainda na concepção do projeto estrutural, e este por sua vez, deve seguir as diretrizes impostas pela escolha deste tipo de estrutura.

O desenvolvimento do projeto arquitetônico deve seguir os parâmetros que o sistema de alvenaria estrutural exige. A alvenaria estrutural é aplicada no Brasil principalmente em obras de habitação popular, que em sua maioria, são financiadas pela Caixa Econômica Federal, que por sua vez, conforme recomendação da norma NBR 15961 (ABNT, 2011), exige que: a espessura mínima de uma parede de uma alvenaria não armada seja $1/20$ da sua altura efetiva e não inferior a 14 cm.

Portanto, uma das diretrizes para o desenvolvimento do projeto arquitetônico é a espessura das paredes, que tem influência diretamente proporcional na resistência à compressão das paredes estruturais. Outra diretriz, não menos importante, é a definição da dimensão das paredes do projeto arquitetônico, que se for racionalizada, em relação aos grupos de blocos escolhidos para o desenvolvimento do projeto da alvenaria estrutural, pode gerar uma grande velocidade de produção no canteiro de obras, além de minimizar a geração de resíduos. Isto é possível, pois se os cômodos projetados tiverem as dimensões múltiplas da dimensão do comprimento do bloco, não será necessário o uso dos chamados blocos compensadores. A figura 4.5 mostra o projeto de um cômodo que foi elaborado sem levar em consideração as dimensões dos grupos de blocos, que resultou em 5 blocos de diferentes dimensões inclusive os blocos compensadores. Já a figura 4.6 mostra o projeto do mesmo cômodo, com as dimensões muito próximas, que foi elaborado dando importância à diretriz de dimensão da parede racionalizada com as dimensões dos blocos.

Os blocos compensadores são blocos com medidas especiais, fora do padrão de produção das indústrias de fabricação de blocos estruturais. Quando estes blocos são necessários, o custo de produção da alvenaria estrutural é aumentado. Por se tratar de um material que não é fabricado em larga escala industrial, é necessário encomendar em uma fábrica de pré moldados de concreto ou destruir um bloco inteiro para retirar uma parte a ser usada como bloco compensador. O restante do bloco é perdido e dado como entulho de obra.

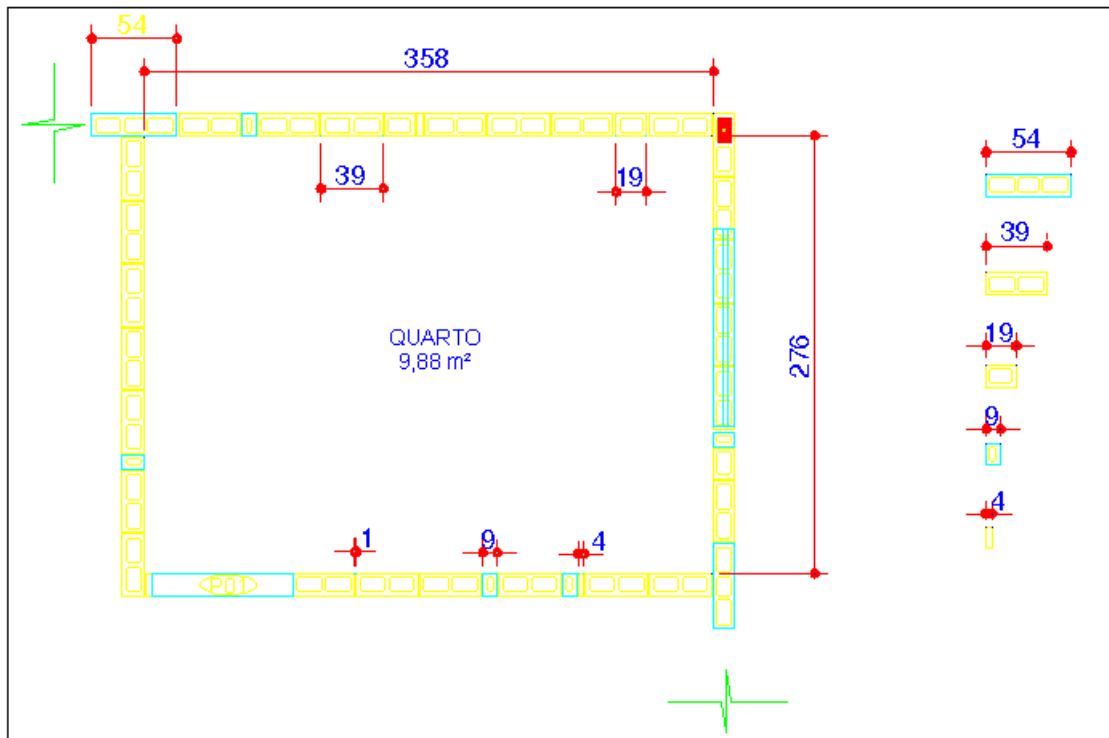


Figura 4.5: Paginação dos blocos não racionalizada.
Fonte: Autor.

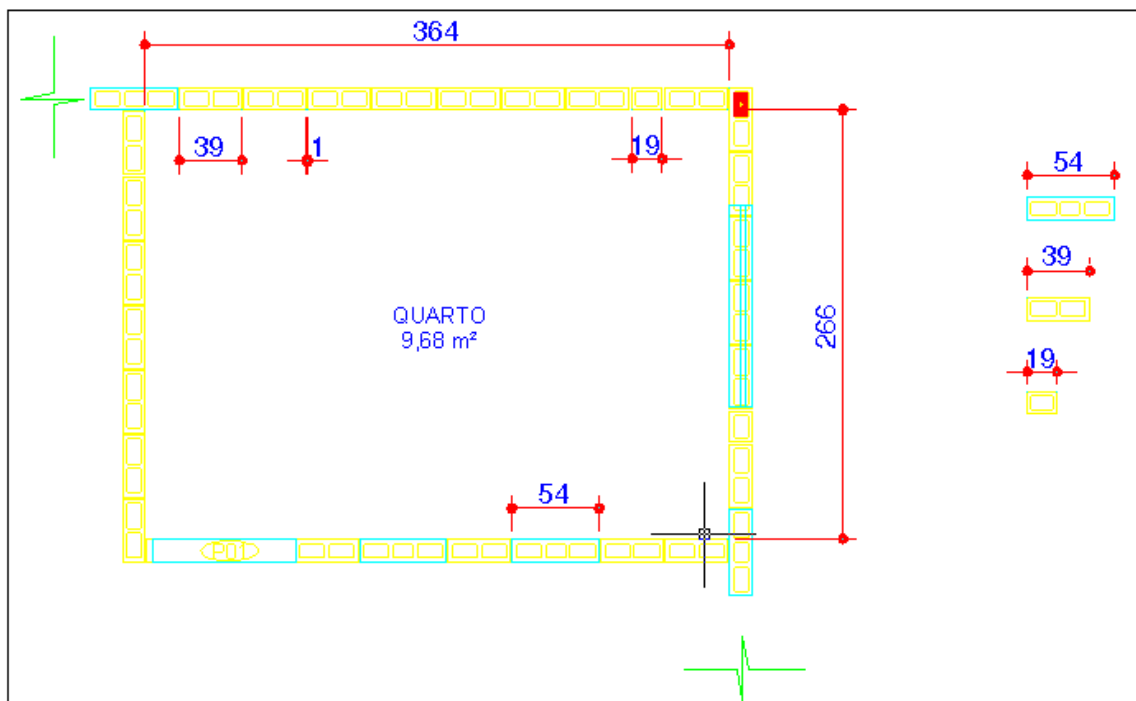


Figura 4.6: Paginação dos blocos racionalizada.
Fonte: Autor.

Partindo para o canteiro de obras com um projeto de alvenaria estrutural que tem suas paginações não racionalizadas, fatalmente ocorrerá: perda da produtividade da mão de obra e geração de resíduos. A figura 4.7 mostra, em detalhes, os blocos compensadores assentados, e a figura 4.8 mostra o gasto de mão de obra para a obtenção do bloco compensador e a geração de resíduo.

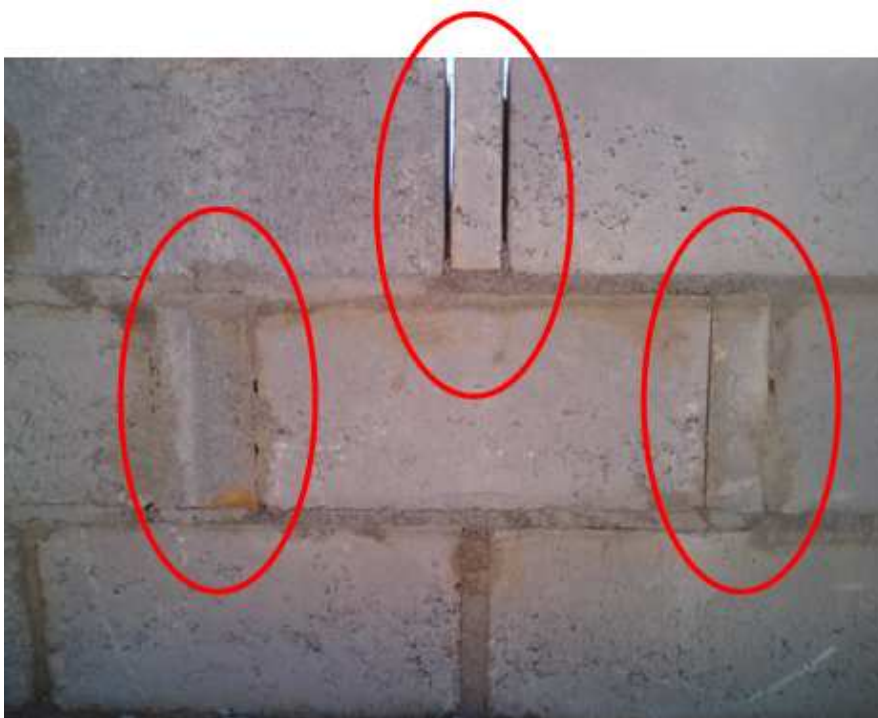


Figura 4.7: Vista de uma parede com paginação não racionalizada e seus blocos compensadores.
Fonte: Autor.



Figura 4.8: Corte de um bloco inteiro para a obtenção de um bloco compensador.
Desperdício de mão de obra e geração de resíduo.
Fonte: Autor.

Lembrando que o objetivo deste trabalho é o estudo dos resíduos gerados na fabricação de blocos de concreto estruturais, é correto afirmar que:

- Um projeto de alvenaria estrutural com as paginações não racionalizadas desperdiça blocos inteiros;
- O desperdício de blocos inteiros faz com que o consumo de blocos por m² de parede seja aumentado;
- O aumento do consumo de blocos por m² de parede faz com que a demanda por blocos de concreto também seja aumentada;
- O aumento da demanda por blocos de concreto estruturais gera o aumento da fabricação de blocos de concreto e, por conseqüência, o aumento dos resíduos.

Portanto, a geração de resíduos está intimamente ligada a um projeto racional de paginação da alvenaria estrutural.

4.1.3. Conceitos Básicos

Segundo a NBR 15961(ABNT, 2011):

“Alvenaria estrutural parcialmente armada de blocos vazados de concreto é aquela em que algumas paredes são construídas, segundo recomendações da alvenaria armada, com blocos vazados de concreto, assentados com argamassa, e que contém armaduras localizadas em algumas cavidades preenchidas com micro concreto, para resistir aos esforços calculados, além daquelas armaduras com finalidade construtiva ou de amarração, sendo as paredes restantes consideradas não armadas”.

4.1.4. Vantagens e Desvantagens do Sistema

É inevitável, quando se estudam as vantagens e desvantagens de um sistema construtivo, a comparação com outro sistema. Para a comparação do sistema de alvenaria estrutural o mais plausível é a comparação com o sistema de estrutura em concreto armado.

A grande vantagem da alvenaria estrutural está no alto potencial de racionalização dos materiais e dos métodos utilizados na construção de edifícios (COELHO, 2009).

Além do menor prazo de execução, o que também gera redução nos custos indiretos, o custo da execução da alvenaria estrutural, em sua totalidade, fica de 20% a 30% mais baixo do que o mesmo projeto em concreto armado (COELHO, 2009).

Em se tratando de execução, outra vantagem da alvenaria estrutural é que ela possibilita o uso de elementos pré moldados associados de forma compatibilizada e

com funções estruturais, por exemplo, as escadas e vergas. Essas últimas além de função estrutural, também promovem o ajuste dimensional das aberturas de portas e janelas.

Com relação às desvantagens da alvenaria estrutural, a principal delas é a baixa resistência aos esforços de tração e às cargas aplicadas perpendicularmente ao seu plano. Relevante também, e não menos importante, é a impossibilidade de alteração do *lay out* das paredes.

4.2. Blocos de Concreto Estruturais

Segundo a NBR 6136 (ABNT, 2008), “bloco vazado é o elemento da alvenaria cuja área líquida é igual ou inferior 75% da área bruta”.

Os blocos de concreto são os componentes mais importantes da alvenaria estrutural, uma vez que eles são os principais responsáveis pela resistência à compressão.

Os blocos de concreto são fabricados de acordo com as seguintes classes:

- Classe AE – para uso geral, como em paredes externas acima ou abaixo do nível do solo, que podem estar expostas à umidade ou intempéries, e que não recebem revestimento de argamassa de cimento;

Classe BE – limitada ao uso acima do nível do solo, em paredes externas com revestimento de argamassa de cimento, para proteção contra intempéries e em paredes não expostas às intempéries.

A escolha das dimensões dos blocos de concreto para serem utilizados em um projeto de alvenaria estrutural ocorre quando se opta por um determinado grupo de blocos com dimensões variadas, família de blocos. A NBR 6136 (ABNT, 2008), cita que a família de blocos é o conjunto de componentes de alvenaria que interagem modularmente entre si e com outros elementos construtivos. Os blocos que compõe a família, segundo suas dimensões, são designados como bloco inteiro (bloco predominante) e os blocos de amarração “L” e “T” (blocos para encontro de paredes).

A figura 4.9 ilustra alguns blocos de concreto para alvenaria estrutural

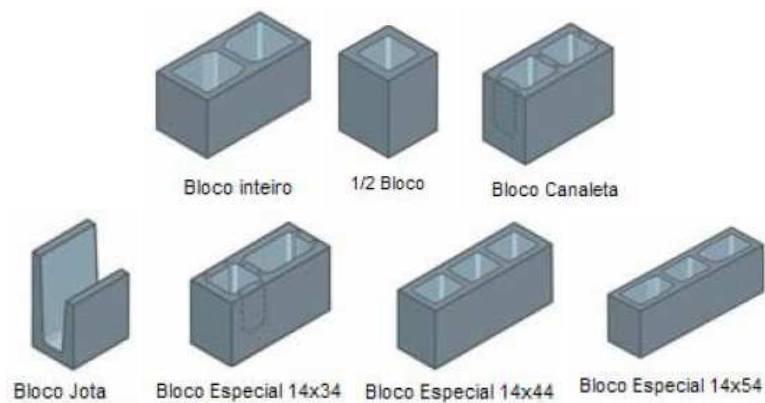


Figura 4.9: Blocos de concreto para alvenaria estrutural.

Fonte: CAMACHO, 2006.

Os blocos de concreto são fabricados de acordo com uma classe de resistência à compressão característica, em uma escala de 4,5 MPa, até 16 MPa conforme a norma NBR 6136 (ABNT, 2008).

Com relação aos requisitos mínimos para a utilização dos blocos de concreto estruturais em projetos de alvenaria estrutural, a norma NBR 15961 (ABNT, 2011), exige que para edificações superiores a dois pavimentos sejam aplicados os blocos de concreto com no mínimo 14 cm de espessura. Já para casas térreas e sobrados os blocos estruturais podem ser de 9 a 11,5 cm.

A NBR 15961 (ABNT, 2011) especifica que a resistência à compressão do prisma (conjunto de dois blocos de concreto estrutural sobrepostos e unidos pela argamassa de assentamento), figura 4.10, deve ser 70% da resistência à compressão do bloco.



Figura 4.10: Ensaio de prisma de blocos de concreto estruturais.

Fonte: <http://www.consultoriaeanalise.com/2011/04/dimensionamento-alvenaria-estrutural.html>.

4.2.1. Indústria de Blocos de Concreto

Segundo MEDEIROS e SABBATINI (1993), o primeiro equipamento bem sucedido desenvolvido comercialmente para produzir blocos de concreto é atribuído a Harmon S. Palmers, no ano de 1882.

Em quase 100 anos de existência, os blocos de concreto deixaram de ser uma alternativa inovadora para tornarem-se um dos componentes mais utilizados na construção civil mundial (MEDEIROS e SABBATINI, 1994).

No Brasil, os blocos de concreto começaram a ser fabricados na década de 50, viabilizados por uma máquina importada dos EUA, sendo consolidada a fabricação no mercado brasileiro somente nos anos 70, devido, principalmente, às divulgações das primeiras obras em alvenaria estrutural armada de blocos de concreto (MEDEIROS e SABBATINI, 1994).

Atualmente, o grande número de fábricas automatizadas de alta produtividade tem incentivado a aceitação de novas ideias incorporadas aos projetos que empregam blocos de concreto como componente principal. A expectativa de cerca de 50% dos fabricantes de bloco de concreto é que suas empresas cresçam até 20% nos próximos 6 meses, segundo pesquisa realizada pela Bloco Brasil em junho de 2011 (ROCHA, et. al., 2011).

O crescimento da construção civil, principalmente no setor voltado para baixa renda, incentiva o uso da alvenaria estrutural em todo o Brasil, pois a rapidez na execução da obra é uma de suas vantagens. O abastecimento de blocos de concreto nas obras em alvenaria estrutural é facilitado, pois atualmente, no Brasil, há várias fábricas de blocos de concreto em todas as regiões. Mas somente agora, com o aquecimento da construção, é que o sistema de alvenaria estrutural está migrando com mais intensidade das regiões sul e sudeste para o restante do país. Algumas construtoras de renome nacional e com *know how* em obras em alvenaria estrutural já desenvolvem vários empreendimentos de grande porte na região nordeste (ROCHA, et. al., 2011).

Segundo ROCHA, et. al. (2011), o Brasil está preparado, em todas as regiões, para a demanda de produção de blocos de concreto, pois os estados brasileiros contêm fábricas com o Selo de Qualidade da ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland), que significa uma garantia de qualidade e conformidade com as normas da ABNT. Atualmente há 53 empresas cadastradas na Associação Brasileira da Indústria de Blocos de Concreto, o que representa uma capacidade de produção de aproximadamente 56 milhões de blocos por mês, divididos por região, conforme figura

4.11, ou uma produção equivalente à 56 mil unidades habitacionais de 50 m², em média por mês.

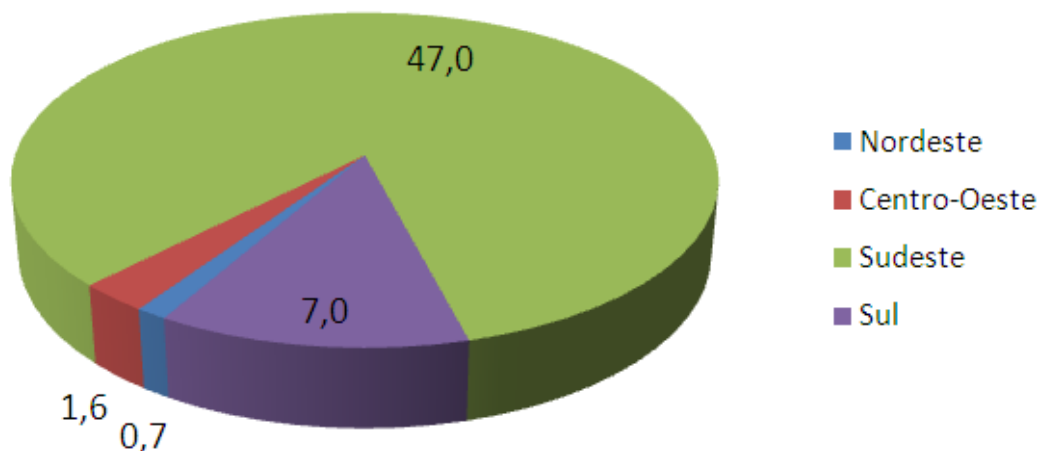


Figura 4.11: Quantidade de blocos (em milhões) fabricados nas regiões brasileiras por mês.

Fonte: ROCHA, et. al., 2011.

Com relação à região norte, nenhum dado foi encontrado referente à produção industrial de blocos de concreto.

4.2.2. Processo de Fabricação dos Blocos de Concreto Estruturais

O processo de fabricação dos blocos de concreto envolve a moldagem de concreto de consistência rija em moldes com as dimensões pré estabelecidas do bloco, compactados e vibrados por máquinas automáticas, depois levados para cura e armazenagem até o momento da entrega. Em muitas fábricas de blocos, algumas das fases do processo de produção são totalmente automatizadas. Estas fases de produção podem ser visualizadas no fluxograma na figura 4.12 (SALVADOR FILHO, 2007).

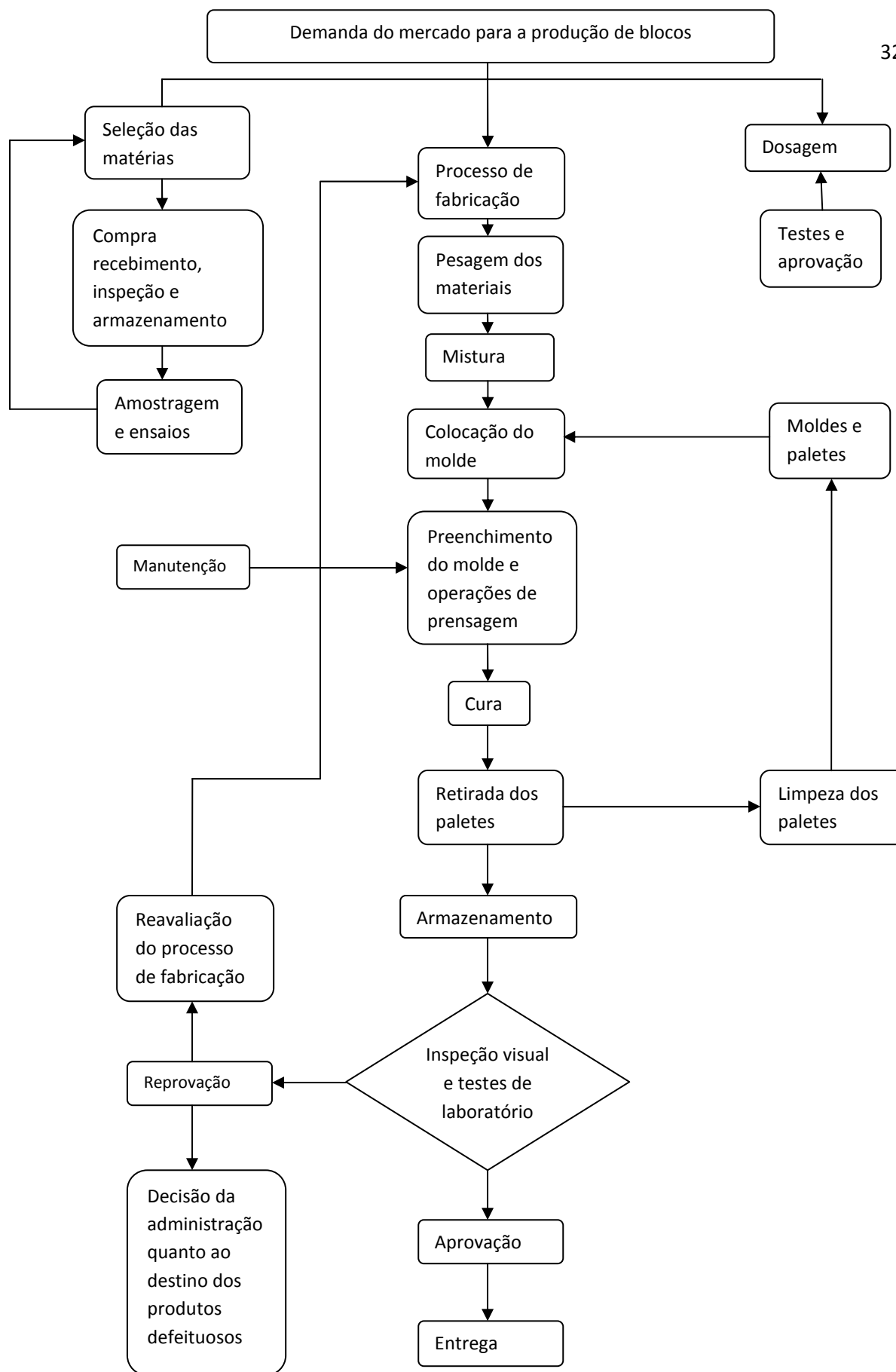


Figura 4.12: Fluxograma típico do processo de fabricação de blocos de concreto.
 Fonte: SALVADOR FILHO, 2007 (adaptação).

4.2.3. Resíduos Gerados pela Produção de Blocos de Concretos Estruturais

BUTTLER (2007) afirma que em fábricas de blocos de concreto, o resíduo gerado é proveniente de elementos não conforme pelo controle de qualidade, final de linhas de produção e sobras de concreto ao final do processo.

No Brasil, informações obtidas em fábricas de blocos de concreto de pequeno porte indicam um volume de resíduo em torno de 0,2m³/dia, representando 2% da produção total. Em uma fábrica de grande porte do interior paulista, o volume de resíduos gerados pode chegar a 7m³/dia, contabilizando 160 m³/mês de resíduo de bloco de concreto, representando 1% da produção total. Desse total, aproximadamente 30m³ seriam representados por blocos de concreto rejeitados pelo controle de qualidade (BUTTLER, 2007).

As fabricas de pequeno porte são a maioria na indústria, onde os equipamentos para a fabricação geralmente são antigos e ultrapassados, o que favorece a geração de resíduos, diferentemente da minoria das fábricas modernas que produzem blocos em alta escala, automatizados e com alto controle de qualidade.

Durante o processo de fabricação dos blocos, a geração do resíduo ocorre em diferentes momentos, ora na linha de produção (blocos no estado fresco) onde o maior volume de resíduo gerado é no momento da prensagem, ora no manuseio, transporte, controle de qualidade e estocagem (blocos no estado endurecido).

Os resíduos na produção de blocos de concreto provenientes dos blocos no estado fresco diferem dos resíduos que provem dos blocos no estado endurecido principalmente na granulometria, onde o resíduo dos blocos no estado fresco têm suas partículas segregadas e dimensões aproximadamente uniformes. Já os resíduos dos blocos no estado endurecido, não possuem nenhuma uniformidade em relação às dimensões das partículas, uma vez que são partes de blocos endurecidos quebrados por algum dos motivos já citados.

4.3. Micro Concreto

A norma NBR 15961 (ABNT, 2011), se refere ao micro concreto como sendo um graute e o especifica como “um componente utilizado para o preenchimento dos espaços vazios de blocos com a finalidade de solidarizar armaduras à alvenaria ou aumentar sua capacidade resistente”.

Segundo MEHTA e MONTEIRO (2008), a propriedade do concreto que os projetistas e engenheiros mais levam em consideração é a resistência à compressão. É importante salientar a importância da correta dosagem e controle da A/C, do adensamento ideal e

das condições de cura, pois todos têm forte influência no desempenho da resistência à compressão do concreto.

Durante o dimensionamento estrutural de um projeto de alvenaria estrutural, eventualmente o projetista se vê obrigado a especificar alguns pontos de preenchimento dos alvéolos dos blocos de concreto com micro concreto visando o aumento da área da seção transversal do bloco preenchido e, conseqüentemente, o aumento da resistência à compressão.

O micro concreto no estado fresco deve ter a fluidez como sua principal propriedade devido à necessidade da massa fresca de escoar pelos alvéolos dos blocos, uma vez que não é possível seu adensamento mecânico. Já a principal propriedade do micro concreto no estado endurecido é a resistência à compressão, que deve ser especificada em projeto pelo calculista estrutural. O micro concreto deve ter a resistência característica especificada maior ou igual a duas vezes a resistência do bloco, conforme a norma NBR 15961 (ABNT, 2011).

O conjunto bloco e micro concreto é considerado um conjunto monolítico no momento de solicitação de tensões, ou seja, o conjunto é considerado uma peça única, onde o micro concreto adere às paredes internas do bloco (RAMALHO e CORREA, 2008). Esse preenchimento de micro concreto propicia o aumento da capacidade de absorção dos esforços de compressão da parede ou, quando necessário, permite que as armaduras, colocadas nos alvéolos dos blocos juntamente com o micro concreto, combatam tensões de tração.

4.3.1. Agregados que compõem o Micro Concreto

Segundo a norma NBR 9935 (ABNT, 2011) agregado pode ser definido como:

“... material granular pétreo, sem forma ou volume definido, quase sempre inerte quimicamente, obtido através de fragmentação natural ou artificial. Suas propriedades e dimensões são perfeitas para serem empregadas em obras de engenharia, desde que não contaminadas”.

A mesma norma ainda descreve agregado como:

“...material natural consolidado na crosta terrestre, formado essencialmente por minerais, variando quanto às suas dimensões, sem forma ou volume definido geralmente inerte de dimensões e propriedades adequadas para a produção de argamassa e concreto”.

A extração dos agregados ocorre através da britagem de pedreiras (pedra britada) e de exploração de material particulado natural (areia).

O principal uso dos agregados na construção civil é para a confecção de concretos e argamassas, mas o seu uso também pode ser encontrado em obras de infraestrutura de estradas e de vias férreas, obras de drenagem, etc.

Segundo RODRIGUES (2011), por serem considerados produtos básicos para a indústria da construção civil, os agregados são extraídos na mesma proporção do aquecimento do setor e, ao mesmo tempo e proporcional, os impactos ambientais vão ocorrendo, tais como:

- Alteração da paisagem;
- Supressão vegetal;
- Alteração dos leitos dos rios;
- Instabilidade de margens e taludes;
- Turbidez de água;
- Lançamento de efluentes.

A preocupação com os impactos ambientais deve ser constante, uma vez que as extrações dos recursos naturais não renováveis estão em crescimento descontrolado.

4.3.1.1. Pedra

Classificada como agregado graúdo, a pedra pode ser considerada natural ou artificial.

As pedras naturais são aquelas que após serem extraídas não precisam ser beneficiadas antes da aplicação na indústria da construção civil:

- Pedregulho;
- Seixo rolado;
- Cascalho.

As pedras artificiais são aquelas que necessitam de algum beneficiamento mecânico e ou térmico antes da aplicação na indústria da construção civil, como por exemplo:

- Pedra britada;
- Argila expandida;
- Escória de alto forno.

A pedra britada é o tipo de pedra mais usada na indústria da construção civil (RODRIGUES, 2011), portanto, dentre as pedras, é a que mais degrada o ambiente durante sua extração.

A extração da pedra britada é feita através de uma usina de mineração, onde a rocha é extraída no estado bruto e depois é beneficiada de acordo com a aplicação. As figuras 4.13 e 4.14 ilustram parte do processo de extração da brita.



Figura 4.13 – Britagem – Etapa do processo de extração de pedra britada.
Fonte: RODRIGUES, 2011.



Figura 4.14 – Classificação – Etapa do processo de extração de pedra britada.
Fonte: <http://www.britadorpedra.com.br/blog/index.php/page/4/>.

Esta extração é muito prejudicial ao meio ambiente, pois ocorrem grandes impactos nos morros e serras, gerando crateras (figura 4.15) além da poluição sonora causada pelas explosões e pelas máquinas de extração e demolição.



Figura 4.15 – Visão aérea de uma degradação ambiental causada pela extração de pedra.

Fonte: <http://unirii.blogspot.com/2007/11/pedreiras-h-algum-benefcio.html>.

4.3.1.2. Areia

Classificada como agregado miúdo, a areia, assim como a pedra, também pode ser considerada natural ou artificial.

As areias naturais são aquelas que são extraídas dos fundos dos rios, minas ou várzeas (RODRIGUES, 2011). Em sua composição mineralógica podem ser encontrado matéria orgânica e materiais pulverulentos. Já as areias artificiais são aquelas que provem de algum outro tipo de extração ou produção que não seja com a finalidade de extrair a areia, por exemplo: areia industrial.

Segundo RODRIGUES (2011), no Brasil, a maior parte desta extração é feita nos leitos dos rios, depósitos lacustres, minas ou dunas. As figuras 4.16, 4.17 e 4.18 ilustram o processo de extração da areia. Além da degradação dos leitos e margens

dos rios a extração de areia contamina também as águas através das graxas e óleos das máquinas.



Figura 4.16 – Dragagem – Etapa do processo de extração da areia.
Fonte: <http://jornalcontato.blogspot.com/2011/03/extracao-de-areia.html>.



Figura 4.17 – Transporte até a área de estocagem – Etapa do processo de extração da areia.

Fonte: RODRIGUES, 2011.



Figura 4.18 – Estocagem – Etapa do processo de extração da areia.

Fonte: RODRIGUES, 2011.

4.4. Resíduos Sólidos

Resíduo Sólido é definido pela norma NBR 10.004 (ABNT, 2004) – Resíduos Sólidos, classificação, como:

“Resíduos nos estados sólidos e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviço e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistema de tratamento de água”.

Pode-se considerar resíduo todo aquele material ou sub produto que foi gerado após a produção ou transformação de matérias primas ou produtos finais, grande parte destes resíduos são sólidos, principalmente os gerados pela construção civil.

O resíduo gerado pela construção civil, seja em âmbito industrial ou no canteiro de obras, tem elevado potencial de ser reciclado e retornar à cadeia produtiva, desde que seja bem coletado, isento de contaminações, e que os estudos e ou algum tipo de tratamento para viabilizar seu uso seja economicamente viável.

Mesmo com estas premissas, a construção civil vem consolidando esta prática sustentável, ora gerando redução de custos ou ora amenizando os impactos ambientais. Esta consolidação se dá por meio de imposições dos governos que criaram leis para regulamentar os descartes dos resíduos e também por conscientização do setor.

Em comparação com os países europeus no Brasil ainda há poucas leis que regulamentam a destinação dos resíduos. Por exemplo, na Holanda, a reutilização de materiais na indústria da construção é controlada pelas leis europeias, ou seja, as autoridades holandesas devem respeitar os regulamentos europeus. A legislação europeia determina o que deve ou não deve ser obrigatoriamente reciclado. Devido à existência de poucos (e cada vez mais raros) aterros, o próprio governo holandês qualifica os resíduos que serão utilizados como material de construção. Por outro lado os governos europeus também tem a consciência de que tanto controle tem um impacto negativo com relação ao custo deste material reciclado, pois os governos investem muitos recursos financeiros para controlar o transporte, o armazenamento, o processamento e reutilização dos resíduos (HENDRIKS; JANSSEN, 2004).

4.4.1. Impactos Ambientais e a Construção Civil

Em todas as fases, a construção civil impacta o meio ambiente. Inicialmente, através das extrações das matérias primas, seguindo pela produção dos materiais de construção, a construção, o uso, manutenção e a demolição.

Por desempenhar um papel estratégico para o crescimento e desenvolvimento econômico brasileiro, com uma significativa participação no PIB, cerca 4,9% (MIDC, 2011), e também por utilizar entre 20% a 50% do total dos recursos naturais consumidos pela sociedade (RIBEIRO; et. al., 2008), a construção civil é um dos setores industriais com a maior responsabilidade em produzir com sustentabilidade para proporcionar ao homem um ambiente equilibrado (SILVA, 2007).

As medidas para diminuir os impactos ambientais causados pela construção civil devem ser constantes e ininterruptas. Pode-se utilizar o conceito de engenharia simultânea, que para este caso o conceito deve ser adaptado como uma criação constante de novos produtos e novos métodos mais sustentáveis, a partir de uma integração no ciclo de vida do produto, das experiências, conhecimentos e recursos do meio ambiente na área da construção civil. O objetivo básico do conceito de engenharia simultânea, para este caso, é desenvolver e fabricar produtos ou técnicas construtivas que satisfaçam as necessidades do consumidor, do meio ambiente e com baixo custo (ÂNGULO, et. al., 2010)

HENDRIKS e JANSSEN (2004), citam como um ótimo exemplo e um dos mais benéficos à natureza a utilização da escória de alto forno que é um sub produto da produção do aço. Após processamento a escória é utilizada como matéria prima do cimento de alto forno, que aqui no Brasil é classificado como CPIII.

O planeta pede urgência na disseminação da sustentabilidade, e a indústria da construção civil em alguns países já identificou estratégias ambientais amigáveis, como, por exemplo, o uso do telhado verde para reduzir o efeito de ilha de calor das cidades e o concreto permeável que permite que as águas pluviais percolem para o solo (BREMNER, 2010).

4.4.2. Classificação dos Resíduos

Antes de se dar destino a algum resíduo, sua classificação se faz necessária para tentar otimizar o aproveitamento, pois uma vez classificado, será possível definir a melhor e mais econômica destinação ao resíduo, além de que, após classificado, também será mais seguro o manuseio, a coleta, o transporte e a disposição final. Todas estas etapas são orientadas pela norma NBR 10.004 (ABNT, 2004). Os

resíduos sólidos, segundo essa norma, devem ser classificados quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública para que possam ser gerenciados adequadamente. Os resíduos são classificados, de acordo com essa norma, como:

Resíduos Classe I – Perigosos

São aqueles que apresentam periculosidade e características como inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade. Exemplos: solventes, lâmpada com vapor de mercúrio, amianto.

Resíduos Classe II – Não Perigosos

São aqueles que não apresentam periculosidade e características como inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade.

Resíduos Classe II A – Não Inertes

São aqueles que não se enquadram nas classificações de resíduos classe I - Perigosos ou de resíduos classe II B – Inertes. Os resíduos classe II A – Não inertes podem ter propriedades, tais como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água. Exemplo: restos de alimentos.

Resíduos Classe II B – Inertes

São quaisquer resíduos que, quando amostrados de uma forma representativa e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou desionizada, à temperatura ambiente não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor, conforme anexo G da NBR 10.004 (ABNT, 2004).

4.4.3. Diferença entre Resíduo da Fabricação de Blocos de Concreto e Resíduo de Construção e Demolição

O presente trabalho trata especificamente do reaproveitamento de resíduos proveniente da fabricação de blocos de concreto no momento da prensagem, então é interessante apontar as principais diferenças entre esses resíduos e os resíduos provenientes da construção e demolição (RDC).

ANGULO (2000), define resíduo como qualquer sobra de material proveniente das construções, novas, reformas, demolições, obras de arte e limpeza de terrenos com presença de solos ou vegetação.

Já o resíduo proveniente da fabricação de blocos de concreto é bem específico. Não há variáveis de contaminação com outros materiais, ao contrário dos RDC, que são heterogêneos e suas frações variam a cada canteiro de obras. Esta característica do RDC dificulta o reaproveitamento do resíduo em relação aos oriundos da fabricação de blocos. Mesmo no interior da fábrica de blocos, onde há poucas variáveis para a contaminação do resíduo, parte deste é contaminado ora por lascas de madeiras provenientes dos paletes de transporte dos blocos, ora por materiais pulverulentos presentes nas botas dos operários.

ANGULO et. al., (2004), afirmam que a maioria dos RDC do Brasil é uma mistura de concreto e alvenaria e que é muito raro o resíduo só de concreto.

De acordo com BUTTLER (2007), os resíduos provenientes das fábricas de blocos de concreto são caracterizados pela sua homogeneidade e pela possibilidade do conhecimento das propriedades mecânicas dos mesmos.

5. METODOLOGIA DA PESQUISA

Além da revisão bibliográfica sobre o tema e seus pré requisitos, foram também realizadas visitas técnicas a fábrica de blocos no intuito de descrever todo o processo de produção e geração dos resíduos. Foram coletadas amostras homogêneas do resíduo para realização dos ensaios de caracterização. Foram coletadas também, para ensaios de caracterização, amostras dos agregados comumente aplicados na confecção do micro concreto, para efeito comparativo. Foram ainda, realizados ensaios de fluidez do micro concreto no estado fresco, de resistência à compressão de corpos de prova de micro concreto, de resistência à compressão e absorção de blocos de concreto preenchidos com micro concreto.

Foram coletadas amostras homogêneas dos seguintes materiais:

- Agregado miúdo;
- Agregado graúdo;
- Resíduo;

De posse das amostras, foram avaliadas nesta pesquisa:

- Caracterização dos agregados;
- Caracterização do resíduo;
- Propriedades do micro concreto no estado fresco;
 - Índice de consistência;
- Propriedades do micro concreto no estado endurecido;
 - Resistência à compressão;
- Propriedades do conjunto bloco-micro concreto;
 - Ensaio de resistência à compressão;
 - Durabilidade.

5.1. Visita à Fábrica de Blocos

A fábrica de blocos onde foram coletadas as amostras de resíduos está localizada no município de Barbacena-MG.

5.1.1. Processo Produtivo dos Blocos

A figura 5.1 apresenta o galpão onde está instalada a linha de produção, estocagem dos agregados e as prateleiras para o acondicionamento dos blocos durante o processo de cura da fábrica de blocos de concreto em Barbacena-MG.



Figura 5.1: Vista geral da Fábrica de Blocos de Concreto – Barbacena-MG
Fonte: Fábrica de Blocos de Concreto, 2011.

As principais visitas à Fábrica de Blocos ocorreram juntamente com o proprietário da mesma, sendo que o mesmo acompanhou e explicou todo o processo de produção dos blocos.

Os materiais componentes do traço do concreto de fabricação dos blocos são:

- a) Brita 0, tipo gnaisse, com dimensões entre 4,8mm a 9,5mm, extraída de uma pedreira localizada no município de Vasconcelos-MG, e transportada até a Fábrica de Blocos em caminhões com capacidade de carga de 20t (figura 5.2).



Figura 5.2: Estoque de brita 0 – Fábrica de Blocos de Concreto – Barbacena-MG

- b) Pedrisco, tipo calcáreo, com dimensão inferior a 4,8mm; extraído de uma pedreira localizada no município de Prados-MG, e transportado até a Fábrica de Blocos em caminhões com capacidade de carga de 18t (figura 5.3).



Figura 5.3: Estoque de pedrisco – Fábrica de Blocos de Concreto – Barbacena-MG

- c) Areia artificial tipo calcárea; com módulo de finura $< 2,4$, extraída de uma pedreira localizada no município de Prados-MG, e transportada até a Fábrica de Blocos em caminhões com capacidade de carga de 18t (figura 5.4).



Figura 5.4: Estoque de areia artificial – Fábrica de Blocos de Concreto – Barbacena-MG

- d) Cimento Portland CP-V ARI; transportado em cargas de 350 sacos por caminhão. Os sacos são de 40kg, e este é a base para a composição do traço;
- e) Aditivo plastificante; Rheomix 610, fornecido em tambores de 200 litros;
- f) Água, proveniente de poço artesiano.

A definição do traço para resistência à compressão dos blocos de concreto é feita após os estudos granulométricos dos agregados (figura 5.5; 5.6 e 5.7) gerando a curva para a melhor definição da granulometria dos agregados (figura 5.8), conforme proposto por FERNANDES (2008).

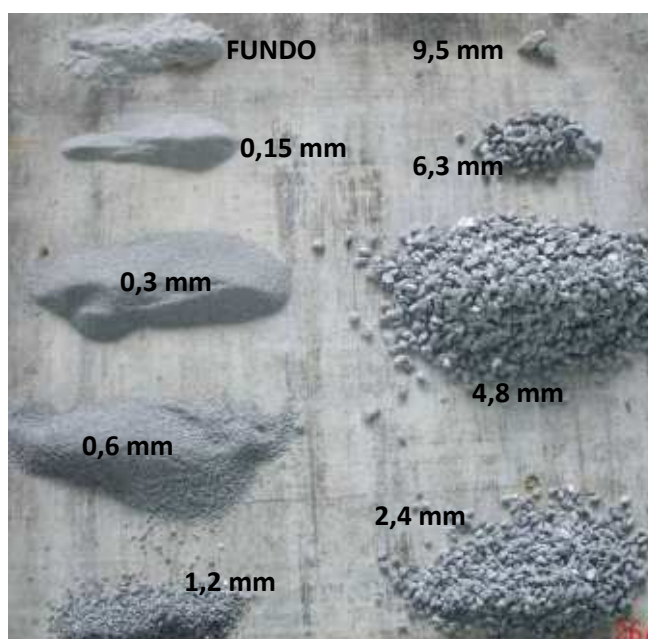


Figura 5.5: Separação granulométrica do pedrisco.
Fonte: Fábrica de Blocos de Concreto, 2011.



Figura 5.6: Separação granulométrica da brita 0.
Fonte: Fábrica de Blocos de Concreto, 2011.

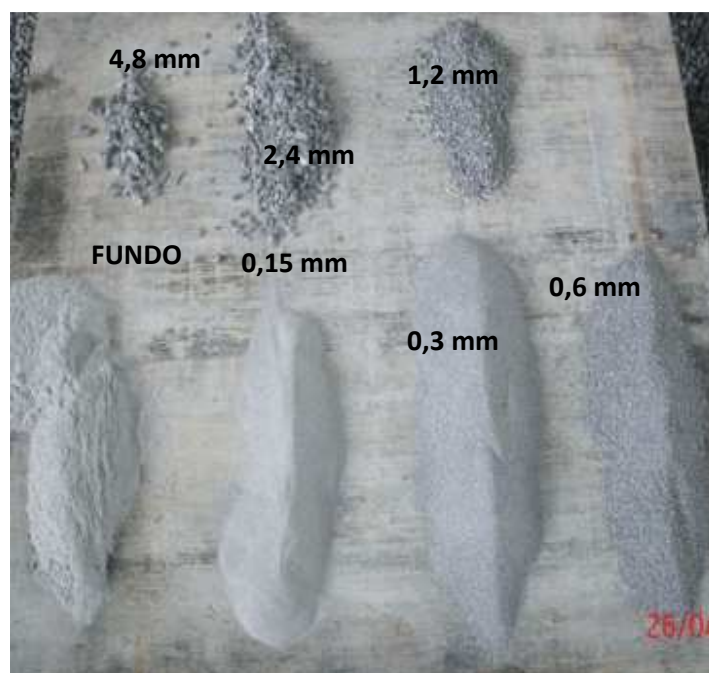


Figura 5.7: Separação granulométrica da areia.
Fonte: Fábrica de Blocos de Concreto, 2011.

A figura 5.8 apresenta a curva granulométrica sugerida (vermelha), após os ensaios granulométricos, onde as linhas cheias são os limites recomendados por FERNANDES (2008) para a fabricação dos blocos de concreto, e as linhas tracejadas são os limites recomendados para a fabricação de peças de concreto para pavimento.

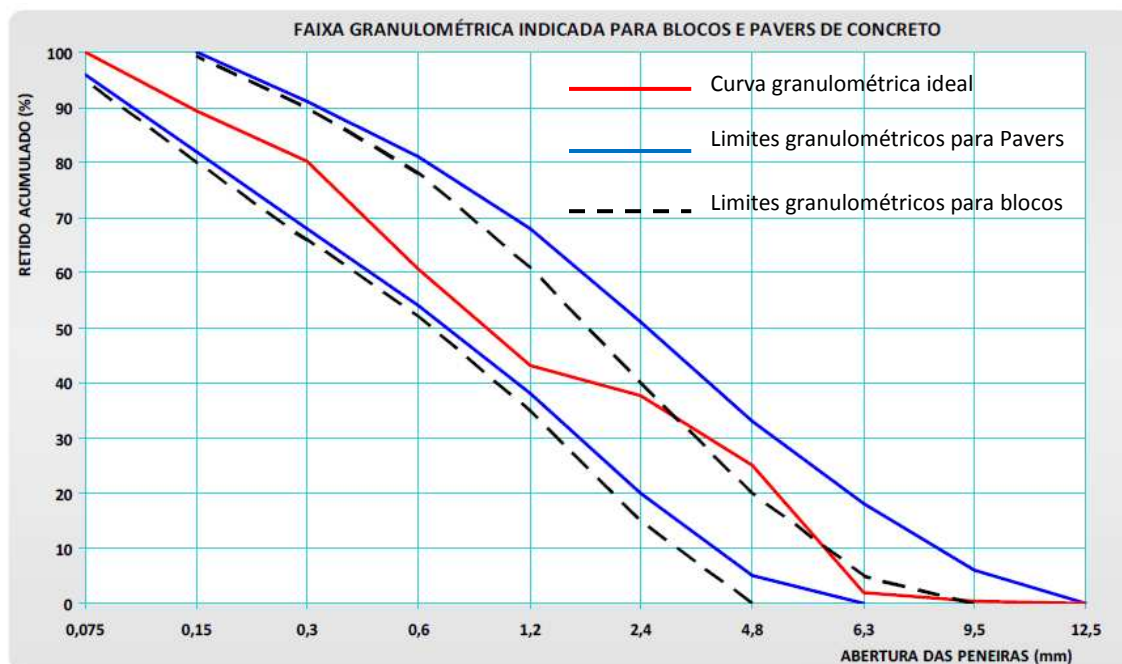


Figura 5.8: Curva granulométrica dos agregados proposta por FERNANDES (2008).
Fonte: FERNANDES (2008).

Baseados nos estudos granulométricos, a fábrica adotou o seguinte traço, em massa, para a moldagem de blocos de concreto estruturais:

- Areia - 60%;
- Pedrisco - 40%;

O traço adotado busca uma melhor distribuição granulométrica (melhor empacotamento) das partículas considerando os materiais disponíveis, visando ganho de resistência mecânica, e mantendo um bom acabamento para os blocos.

Com as proporções dos agregados obtidos, a resistência do bloco é definida e alternada de acordo com a quantidade de cimento e a relação A/C.

Na própria fábrica é feito o ensaio de teor de umidade da areia para a correção da A/C (figura 5.9).

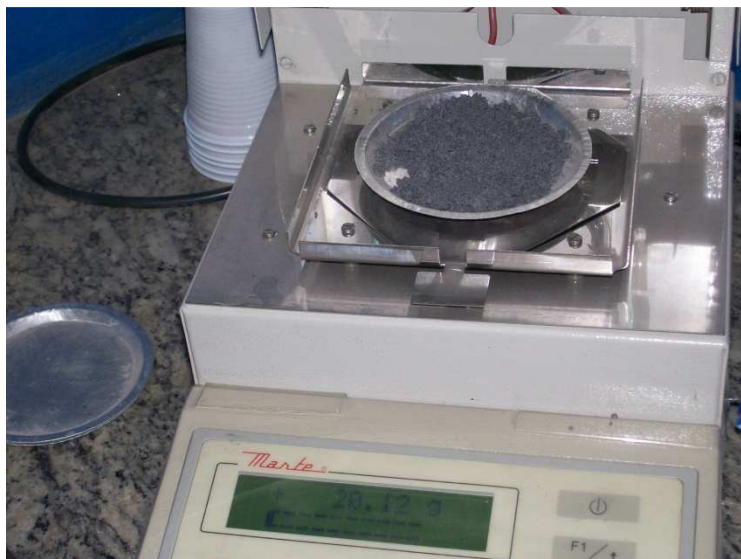


Figura 5.9: Balança analítica utilizada na determinação do teor de umidade da areia – Fábrica de Blocos de Concreto.

Os ensaios para verificação das proporções dos agregados são feitos mensalmente, já os ensaios das resistências à compressão dos blocos de concreto estruturais são feitos diariamente. A produção dos blocos de concreto inicia-se pela dosagem dos agregados, que são medidas em massa, conforme mostra a figura 5.10.



Figura 5.10: Pesagem dos agregados.

Os agregados são lançados na esteira de condução dos agregados (figura 5.11) juntamente com o cimento. A esteira transporta os materiais até o cocho de homogeneização (figura 5.12). Durante aproximadamente um minuto, a mistura (agregados e cimento) é homogeneizada. Após a homogeneização, a primeira água é

adicionada utilizando-se um dispositivo dosador (figura 5.13) simples, mas eficiente. Após mais um minuto de homogeneização, o restante da água é adicionado juntamente com o aditivo plastificante. A mistura é lançada e transportada em outra esteira até à prensa (figura 5.14) onde é vibrada e prensada (figura 5.15).



Figura 5.11: Esteira de transporte dos materiais.



Figura 5.12: Final da esteira de transporte de materiais e cocho de homogeneização.

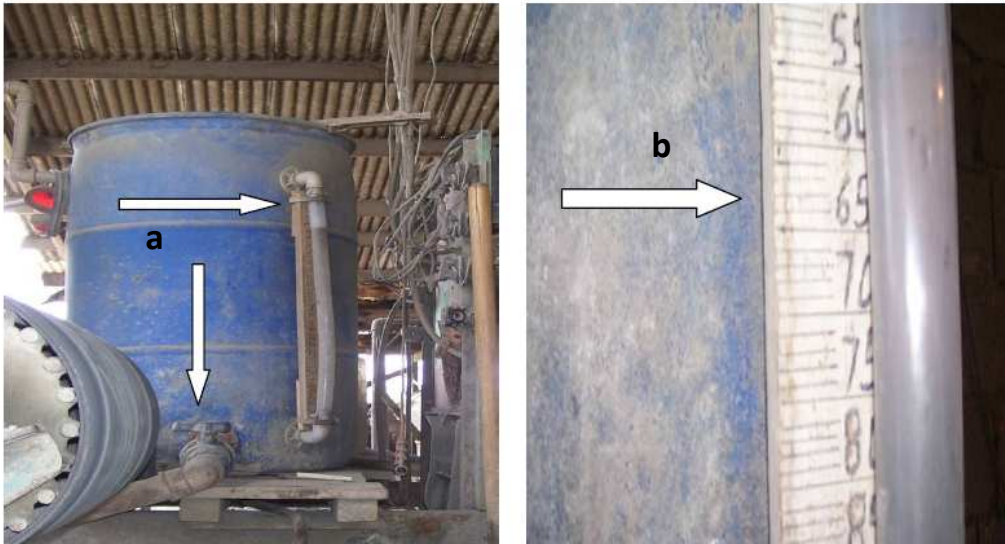


Figura 5.13: Vista geral do dispositivo dosador de água.
(a) Registro de fecho rápido e nível de mangueira, (b) detalhe da graduação do nível de mangueira.



Figura 5.14: Esteira que encaminha a mistura à prensa.



Figura 5.15: Prensa hidráulica e placa vibratória.

Após a prensagem (figura 5.16) os blocos moldados saem em pares sobre uma placa de madeira, (figura 5.17) e vão para as prateleiras para a realização da cura (figura 5.18).

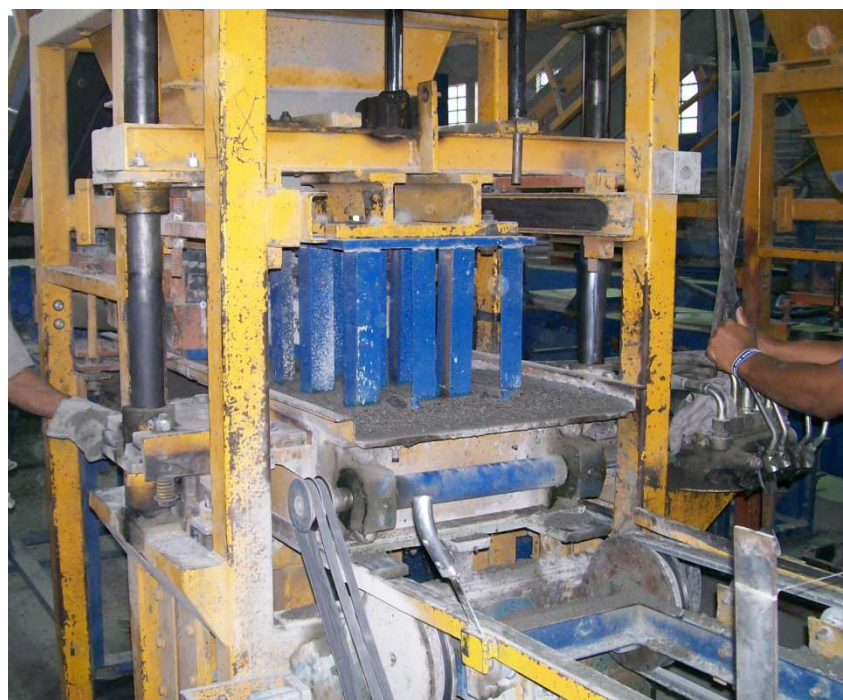


Figura 5.16: Prensagem e moldagem dos blocos.



Figura 5.17: Blocos moldados e prontos para o acondicionamento nas prateleiras para cura.



Figura 5.18: Blocos acondicionados nas prateleiras de cura.

Como parte do procedimento de cura, uma vez nas prateleiras, os blocos são vaporizados e cobertos com lona plástica durante 15 horas para minimizar a perda da umidade. Após as 15 primeiras horas de cura, os blocos são transportados para a área de estocagem (figura 5.19) onde permanecerão por, no mínimo, sete dias, tempo necessário para atingir a resistência mecânica mínima para o transporte sem perdas excessivas por quebra.



Figura 5.19: Blocos estocados, paletizados e embalados, prontos para o transporte.

5.2. Caracterização Visual do Resíduo

Na visita a Fabrica de Blocos de Concreto ficou evidenciado que uma grande parte dos resíduos gerados é composta por sobras de concreto ao final da linha de produção de blocos, principalmente no momento da vibração e prensagem (figura 5.20). Outra parcela é constituída por materiais desperdiçados no transporte das esteiras e dos blocos defeituosos, como mostram as figuras 5.21 e 5.22.



Figura 5.20: Resíduo gerado no processo de prensagem dos blocos.



Figura 5.21: Blocos defeituosos que serão descartados.



Figura 5.22: Resíduo de blocos defeituosos descartados.

O resíduo analisado nesta pesquisa (figura 5.23) foi coletado de acordo com a norma NBR 10007 – Amostragem de Resíduos Sólidos (ABNT, 2004), onde prevê a execução de um plano de amostragem que foi feito da seguinte forma:

- Avaliação do local de estocagem do resíduo e forma de armazenamento – resíduo estocado dentro do galpão da fábrica de blocos e em pilha de aproximadamente 8m³;
- Pontos de amostragem – foram coletadas 3 amostras de 36 litros (0,036m³), que foram retiradas de forma aleatória da pilha de 8m³ de resíduo.
- Recipiente, local e tempo de armazenamento – As amostra foram armazenadas em sacos plásticos tipo linhagem, lacrados e identificados, e foram encaminhadas para o Laboratório de Concreto da UFMG para realização dos ensaios.

Com relação ao aspecto visual, o resíduo se mostra como um material granular com partículas de dimensões pequenas e variadas similares à uma mistura de pó de pedra com pedrisco. O material se encontrava seco e com coloração acinzentada.



Figura 5.23: Aspecto visual da amostra do resíduo de blocos de concreto.

5.3. Caracterização Física do Resíduo

Os ensaios de caracterização do resíduo foram realizados no Laboratório de Concreto da Escola de Engenharia da UFMG, de acordo com a norma NBR – 7211 (ABNT, 2005) - Agregados para concreto - Especificação. Esta norma foi utilizada em função do resíduo apresentar características granulares similares aos agregados para concreto, considerando-se a possível substituição dos agregados pelo resíduo. A caracterização do resíduo é necessária para fornecer dados para as próximas etapas do estudo que são a produção do micro concreto de preenchimentos dos alvéolos dos blocos de concreto estruturais na execução dos erguimentos das paredes estruturais.

ANGULO et. al., (2004) afirmam que quanto mais precisa e completa é a caracterização do resíduo mais fáceis e mais precisas serão as definições sobre qual o destino ideal deste resíduo.

A figura 5.24 mostra os limites granulométricos estabelecidos para os agregados miúdos, conforme a NBR 7211 (ABNT, 2005) e a figura 5.25 ilustra os respectivos módulos de finura da norma.

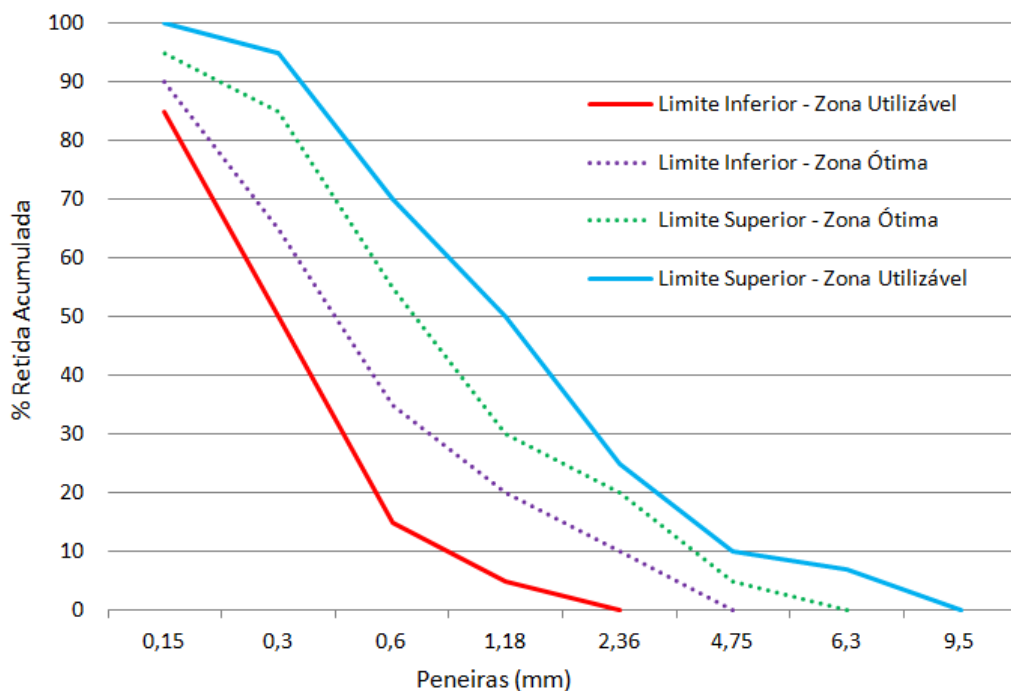


Figura 5.24: Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo (NBR7211/2005).

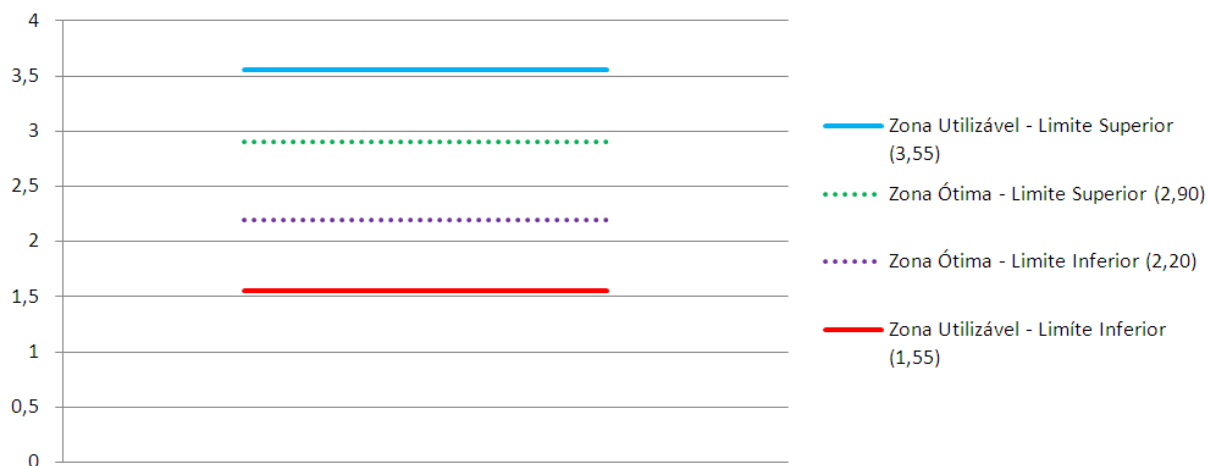


Figura 5.25: Módulo de finura para os limites granulométricos da NBR7211/2005.

5.4. Caracterização dos Agregados usados no Micro Concreto

Os agregados têm como principais aplicações a composição de traços de concreto e argamassa.

Como nos ensaios de caracterização dos resíduos, os ensaios de caracterização dos agregados também foram realizados no Laboratório de Concreto da Escola de Engenharia da UFMG. Os agregados para o estudo foram fornecidos por uma

construtora que executa obras em alvenaria estrutural também em Barbacena-MG, agregados estes que são os mesmos que compõe o micro concreto fabricado na obra. Além das amostras dos agregados esta empresa também forneceu os traços utilizados para a fabricação do micro concreto de preenchimento dos alvéolos dos blocos de concreto no momento do erguimento das paredes em alvenaria estrutural. A figura 5.26 a 5.30 apresentam alguns equipamentos utilizados para a caracterização física dos agregados e do resíduo.



Figura 5.26: Granulometria – conjunto de peneiras 4,8 a 32 mm e agitador mecânico (peneirador).



Figura 5.27: Granulometria – conjunto de peneiras 0,15 a 4,8 mm e agitador mecânico.



Figura 5.28: Material pulverulento - Balança eletrônica

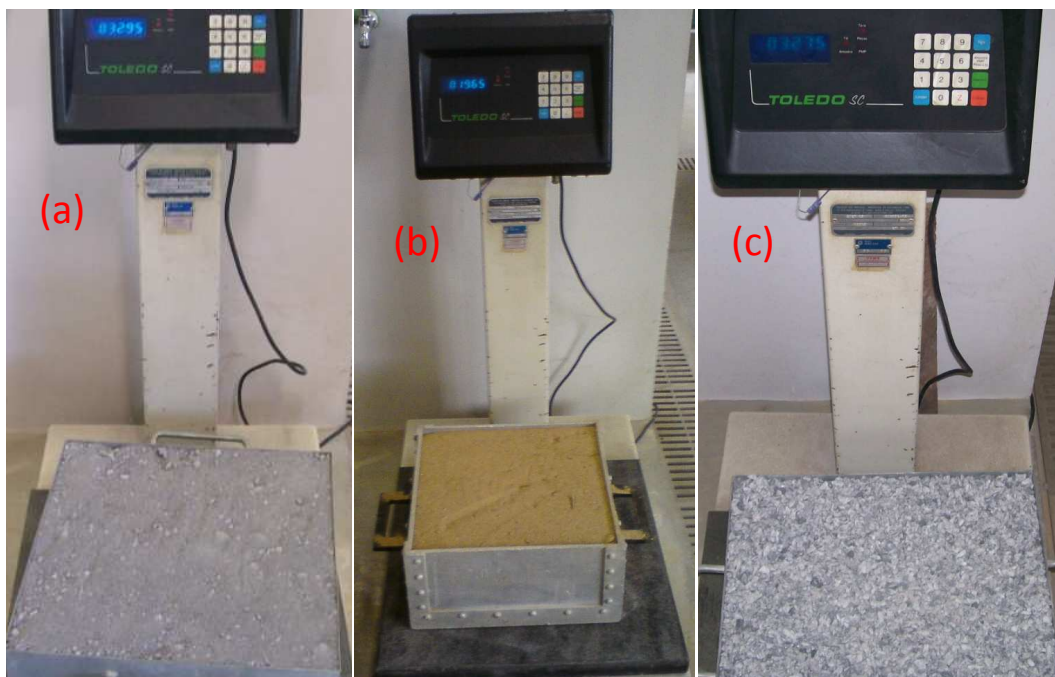


Figura 5.29: Massa unitária no estado solto.
(a) Resíduo, (b) areia e (c) brita.

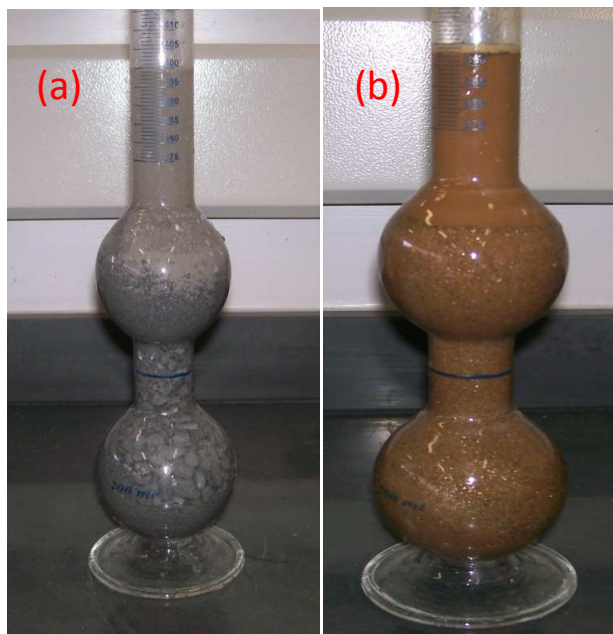


Figura 5.30: Massa específica (Frasco de Chapman).
(a) Resíduo; (b) areia.

5.5. Dosagens dos Micros Concretos

Como o objetivo do estudo é o micro concreto de preenchimento dos alvéolos dos blocos de concreto da alvenaria estrutural, o traço padrão baseou-se nas informações do canteiro de obra onde se executam prédios em alvenaria estrutural. Essa obra forneceu os agregados para o estudo.

Para a formulação do traço padrão, a obra em questão realizou vários ensaios de resistência à compressão do micro concreto composto com agregados que são utilizados na obra. A resistência à compressão almejada de 12 MPa foi alcançada com a composição abaixo:

- 1000g de cimento CIII – 32;
- 820g de areia natural de graduação fina;
- 840g de brita nº 0;
- Água mínima a adicionar 500g e a máxima 600g.

A variação da relação A/C é para flexibilizar e dar segurança à resistência no momento do preparo do traço, uma vez que o fck de 12MPa é atingido com A/C=0,6.

Como os resultados da granulometria apontaram uma semelhança entre a areia e o resíduo e com a intenção de avaliar somente os resultados da substituição de um pelo outro, neste estudo não foi usado nenhum tipo de aditivo químico.

Para o estudo, inicialmente foram realizados traços de micro concreto com a substituição de 100% da areia pelo resíduo e outro com a substituição de 50%. Os traços, padrão e com resíduo, foram elaborados com a A/C de 0,5 e 0,6.

As composições dos traços definidos e estudados foram os seguintes:

- **Traço A1:** Cimento / Areia (100%) / Brita 0 / A/C = 0,6;
- **Traço B1:** Cimento / Resíduo (100%) / Brita 0 / A/C = 0,6;
- **Traço C1:** Cimento / Areia (50%) / Resíduo (50%) / Brita 0 / A/C = 0,6.

- **Traço A2:** Cimento / Areia (100%) / Brita 0 / A/C = 0,5;
- **Traço B2:** Cimento / Resíduo (100%) / Brita 0 / A/C = 0,5;
- **Traço C2:** Cimento / Areia (50%) / Resíduo (50%) / Brita 0 / A/C = 0,5.

5.6. Ensaios de Fluidiez do Micro Concreto no Estado Fresco

Como uma das principais características do micro concreto de preenchimento dos alvéolos dos blocos de concreto é a fluidez, esta propriedade deve ser estudada. Para a verificação da fluidez do micro concreto foram feitos ensaios do índice de consistência na mesa de consistência (figura 5.31), de acordo com a NBR 13276 (ABNT, 2005).



Figura 5.31: Mesa de Consistência.

Fonte: <http://www.solocap.com.br/cimento.pdf>.

5.7. Moldagem e Cura dos Corpos de Prova de Micro Concreto

Foram moldados 6 corpos de prova cilíndricos (5 x 10) cm para cada traço de concreto, totalizando 36 corpos de prova. Os ensaios de resistência à compressão foram realizados para a idade de 28 dias. A moldagem e cura dos corpos de prova foram executadas considerando a NBR 7215 (ABNT, 2008). Após a desmoldagem, os corpos de prova foram mantidos em câmara úmida até a data de ruptura.

5.8. Ensaio dos Micros Concretos e Blocos com Alvéolos Preenchidos

5.8.1. Resistência à Compressão de Corpos de Prova de Micro Concreto

O ensaio de resistência à compressão do concreto é primordial, pois é a sua principal característica.

Os ensaios de resistência à compressão ocorreram aos 28 dias de idade dos corpos de prova e foram efetuados conforme a NBR 13279: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à compressão (ABNT, 2005).



Figura 5.32: Corpos de prova de micro concreto já preparados com o capeamento de enxofre para o ensaio de resistência à compressão.

A figura 5.32 apresenta o aspecto dos corpos de prova após capeamento e a figura 5.33 ilustra a prensa utilizada para a ruptura dos corpos de prova dos micros concretos. Os ensaios foram realizados no laboratório da construtora que forneceu as amostras dos agregados. A prensa utilizada é do tipo hidráulica manual com manômetro, seu acionamento é feito por alavanca manual para proporcionar a pressão conforme o ensaio. A capacidade máxima de pressão proporcionada é de 120t e a leitura da pressão aplicada se dá através do manômetro analógico .



. Figura 5.33: Prensa do ensaio de resistência à compressão dos corpos de prova de micro concreto e bloco.

5.8.2. Resistência à Compressão de Blocos de Concreto Preenchidos com Micro Concreto

Seis blocos de concreto estruturais foram preenchidos com micro concreto, com dimensões de 34 cm de comprimento, 19 cm de altura e 14 cm de largura, este bloco foi escolhido, pois além de ser um dos mais utilizados na alvenaria, suas dimensões favorecem o manuseio. Três blocos foram preenchidos com micro concreto convencional (traço padrão) e três foram preenchidos com o micro concreto com resíduo (sem areia), para serem submetidos aos ensaios de resistência à compressão aos 28 dias:

- **Traço A2:** Cimento / Areia (100%) / Brita 0 / A/C = 0,5;
- **Traço B2:** Cimento / Resíduo (100%) / Brita 0 / A/C = 0,5

Os traços com A/C = 0,6 não foram utilizados neste ensaio, pois na prática, durante a execução das paredes em alvenaria estrutural, o preenchimento dos alvéolos dos blocos de concreto é feito utilizando o traço com A/C = 0,5. Esta constatação foi feita por meio de visita à obra e acompanhamento desde a confecção do traço (para verificar as dosagens) até a aplicação do micro concreto nos alvéolos dos blocos (para verificar a fluidez). Descartaram-se, então, para este ensaio, os traços com A/C = 0,6. A figura 5.34 apresenta o traço padrão executado na obra com A/C = 0,5 e a figura 5.35 mostra o alvéolo do bloco de concreto sendo preenchido com micro concreto.



Figura 5.34: Traço padrão com A/C = 0,5 confeccionado na obra.



Figura 5.35: a) Vista superior do bloco a ser preenchido com micro concreto. b) Vista superior do bloco de concreto no momento do preenchimento com micro concreto.

Ainda na obra, a constatação de que a fluidez está ideal é feita por meio da verificação do total preenchimento dos alvéolos dos blocos. Para isso é feita a abertura de uma janela de inspeção na base da parede, exatamente no bloco onde será lançado o micro concreto (figura 5.36). O total preenchimento desta janela é a constatação de que os alvéolos dos blocos foram completamente preenchidos e que portanto a fluidez está ideal (figura 5.37).



Figura 5.36: Janela de inspeção aberta na base da parede.



Figura 5.37: Janela de inspeção totalmente preenchida com micro concreto.

Este ensaio tem o objetivo de verificar a eficiência da interação entre o micro concreto e o bloco de concreto, uma vez que uma das aplicações do micro concreto é o preenchimento dos alvéolos dos blocos de concreto no momento do erguimento da parede em alvenaria estrutural.

A figura 5.38 mostra o enchimento do alvéolo do bloco de concreto com micro concreto para o ensaio de resistência à compressão do conjunto, aos 28 dias. A figura 5.39 mostra o ensaio de resistência à compressão do conjunto.



Figura 5.38: Blocos de concreto sendo preenchidos com micro concreto preparados para o ensaio de resistência à compressão.



Figura 5.39: Ensaio de resistência à compressão dos blocos de concreto preenchidos com micro concreto, aos 28 dias de cura.

5.8.3. Absorção dos Blocos de Concreto Preenchidos com Micro Concreto

O ensaio de absorção por imersão tem como objetivo avaliar os blocos de concreto preenchidos com o micro concreto quanto à absorção. É importante comparar a capacidade impermeável do traço com resíduo em relação ao traço padrão. Apesar de este ensaio ser do conjunto e não só do bloco de concreto, foi utilizado como referência as recomendações da norma NBR 13118 – Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Determinação da absorção de água, do teor de umidade e da área líquida (ABNT, 1991).

Seis blocos de concreto estruturais foram preenchidos de micro concreto (figura 5.40). Os blocos possuem dimensões de 34 cm de comprimento, 19 cm de altura e 14 cm de largura. Três blocos foram preenchidos com micro concreto convencional (traço padrão A2) e três foram preenchidos com o micro concreto com 100% de resíduo (traço B2). Os corpos de prova foram submetidos aos ensaios de absorção aos os 28 dias.



Figura 5.40: Blocos de concreto preenchidos com micro concreto e preparados para o ensaio de absorção.

Após os 28 dias de cura, os blocos de concreto preenchidos com micro concreto foram mantidos em estufa por 24 horas.

Após a secagem em estufa, os blocos foram pesados e o resultado desta pesagem, é chamado de massa seca (m_1) segundo a NBR 13118 (ABNT, 1991), Para serem saturados, os blocos secos em estufa foram imersos em água por um período de 24 horas, conforme ilustrado na figura 5.41.



Figura 5.41: Blocos de concreto preenchidos com micro concreto mantidos por 24 horas submersos em água.

Após 24 horas, os blocos saturados foram novamente pesados e o resultado desta pesagem é chamado de massa saturada (m_2), também segundo a NBR 13118 (ABNT, 1991). A figura 5.42 apresenta a pesagem do conjunto bloco e micro concreto após 24 horas de imersão em água.

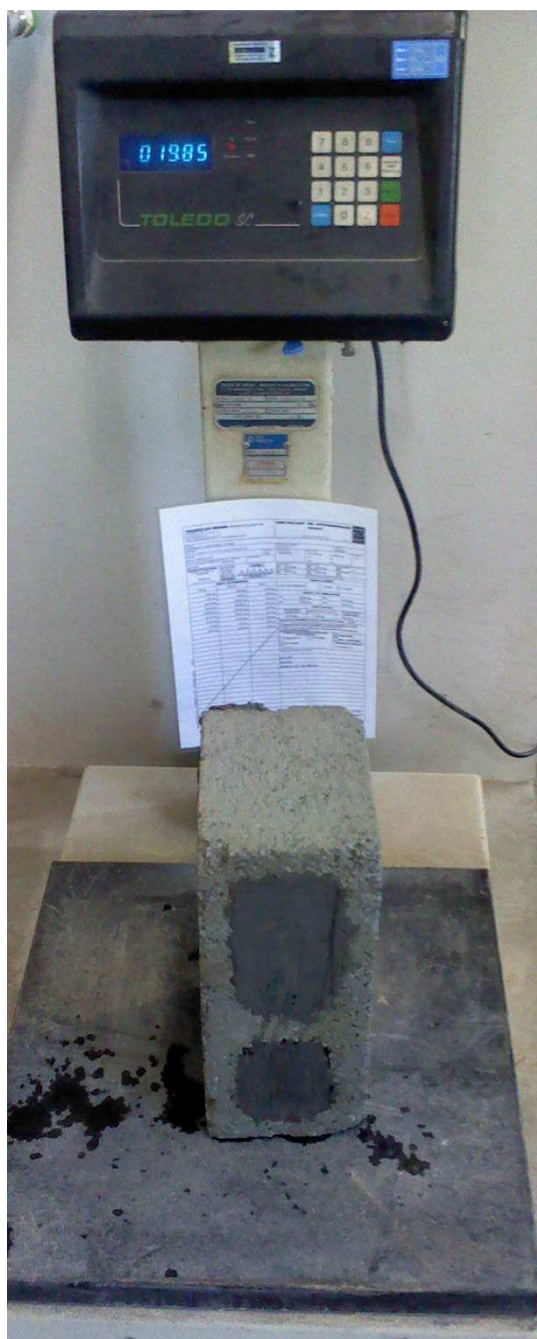


Figura 5.42: Bloco de concreto preenchidos com micro concreto pesado após saturação.

A norma NBR 13118 (ABNT, 1991) indica que o valor da absorção deve ser expresso em porcentagem, e calculado pela fórmula:

$$a\% = \frac{m2 - m1}{m1} \times 100$$

onde:

a = absorção;

m_2 = massa saturada do bloco de concreto;

m_1 = massa seca do bloco de concreto.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1. Caracterização Física do Resíduo

As figuras 6.1 e 6.2 mostram a granulometria do resíduo após peneiramento. A tabela 6.1 mostra os resultados obtidos no ensaio de granulometria e a figura 6.3 ilustra esses resultados na forma de gráficos. A figura 6.4 apresenta a curva granulométrica do resíduo comparada aos limites estabelecidos pela norma NBR 7211 para agregado miúdo, e a figura 6.5 apresenta o resultado do módulo de finura do resíduo.

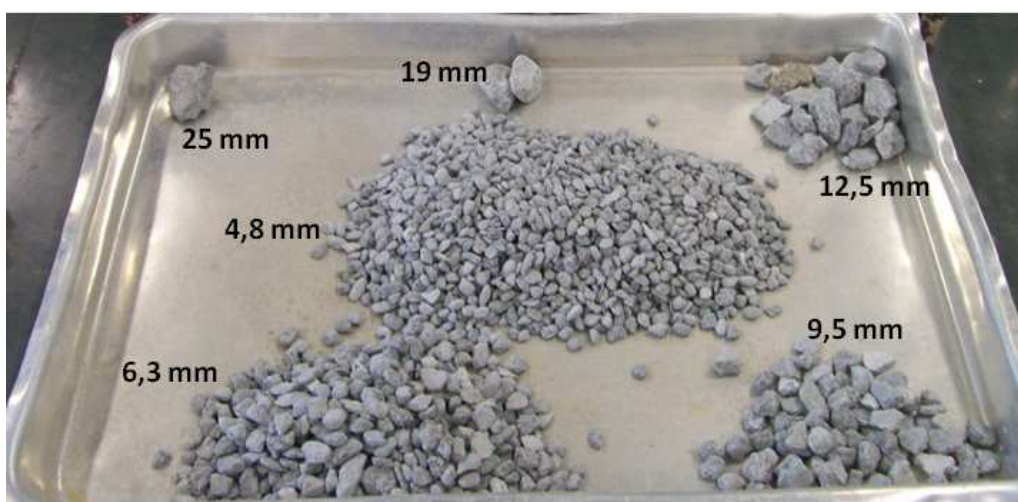


Figura 6.1: Resíduo retido nas peneiras de 4,8mm até 25mm.

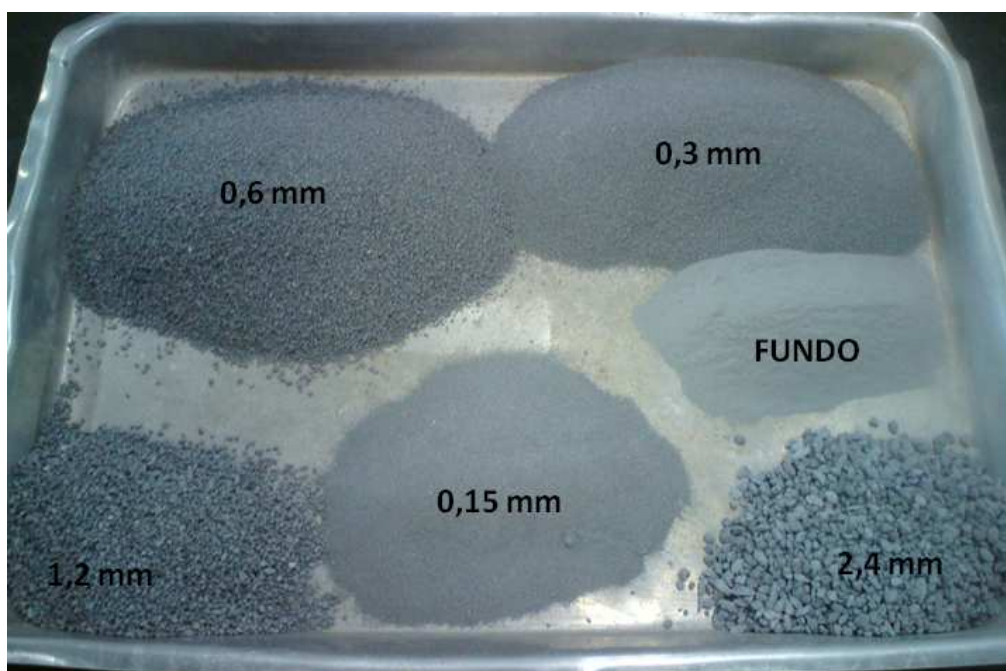


Figura 6.2: Resíduo retido nas peneiras de 0,15mm até 2,4mm.

Tabela 6.1: Propriedades Físicas do Resíduo.

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA							
MATERIAL: RESÍDUO							
AMOSTRA: 1			AMOSTRA: 2			AMOSTRA MÉDIA	
PENEIRAS (mm)	MATERIAL RETIDO (g)	% RETIDA	PENEIRAS (mm)	MATERIAL RETIDO (g)	% RETIDA	% RETIDA	% RETIDA ACUMULADA
76		-	76		-	-	
50		-	50		-	-	
38		-	38		-	-	
32		-	32		-	-	
(25)	15,60	0,3	(25)	0,00	0,0	0	0
19	22,60	0,5	19	47,20	1,0	1	1
(12,5)	84,10	1,7	(12,5)	95,40	1,9	2	3
9,5	97,30	2,0	9,5	108,20	2,2	2	5
(6,3)	302,30	6,1	(6,3)	443,30	8,9	7	12
4,8	652,70	13,1	4,8	686,20	13,8	13	25
2,4	467,30	9,4	2,4	440,42	8,9	9	34
1,2	400,01	8,0	1,2	377,00	7,6	8	42
0,6	1.430,90	28,6	0,6	1.348,60	27,1	28	70
0,3	975,70	19,5	0,3	919,58	18,4	19	89
0,15	333,90	6,7	0,15	314,70	6,3	7	96
FUNDO	205,40	4,1	FUNDO	193,59	3,9	4	100
TOTAL	4987,81	100,0	TOTAL	4974,19	100,0	100	

MASSA UNITÁRIA NO ESTADO SOLTO = 1.647,5 kg/m³

MASSA ESPECÍFICA = 2,49 g/cm³

MATERIAL PULVERULENTO = 2,40 %

TORRÕES DE ARGILA E MATERIAIS FRIÁVEIS = 0,0 %

DIMENSÃO MÁXIMA CARACTERÍSTICA = 9,5 mm

MÓDULO DE FINURA = 3,62

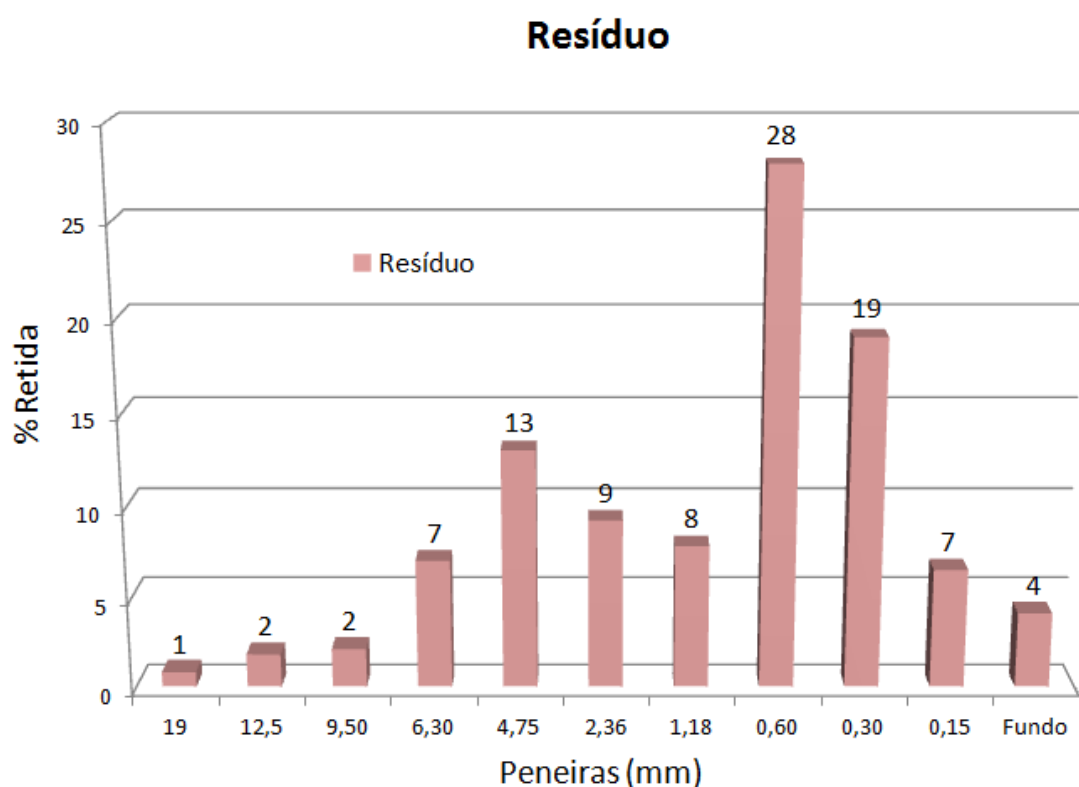


Figura 6.3: Porcentagem de resíduo retido nas peneiras.

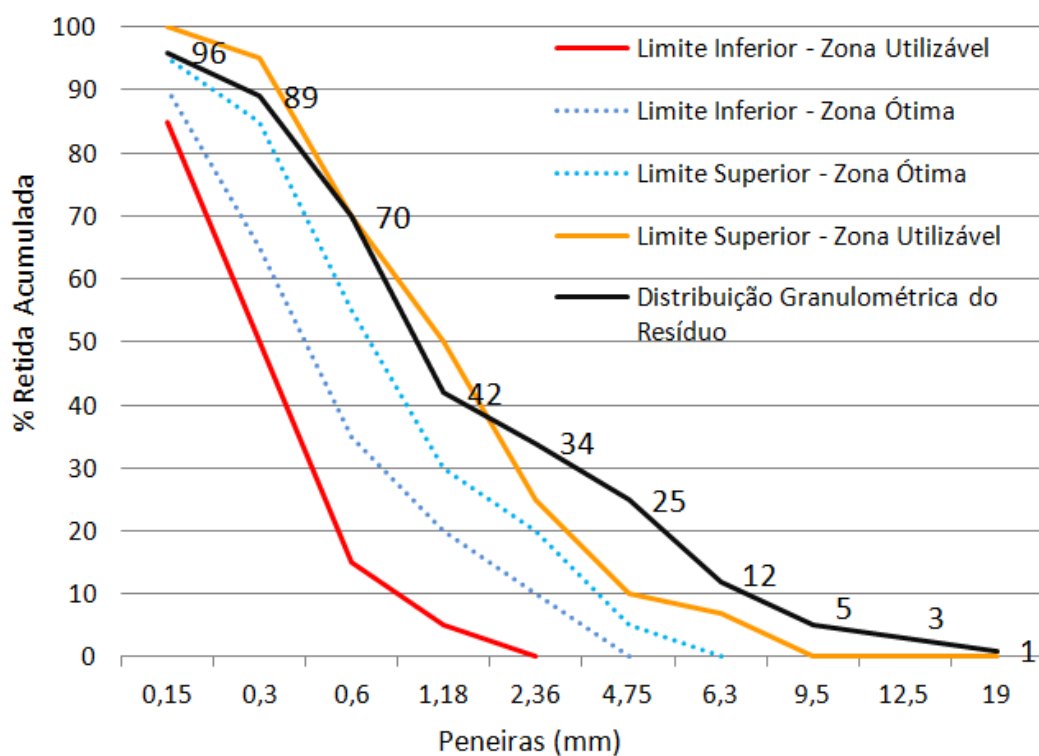


Figura 6.4: Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo (NBR7211) e curva granulométrica do resíduo.

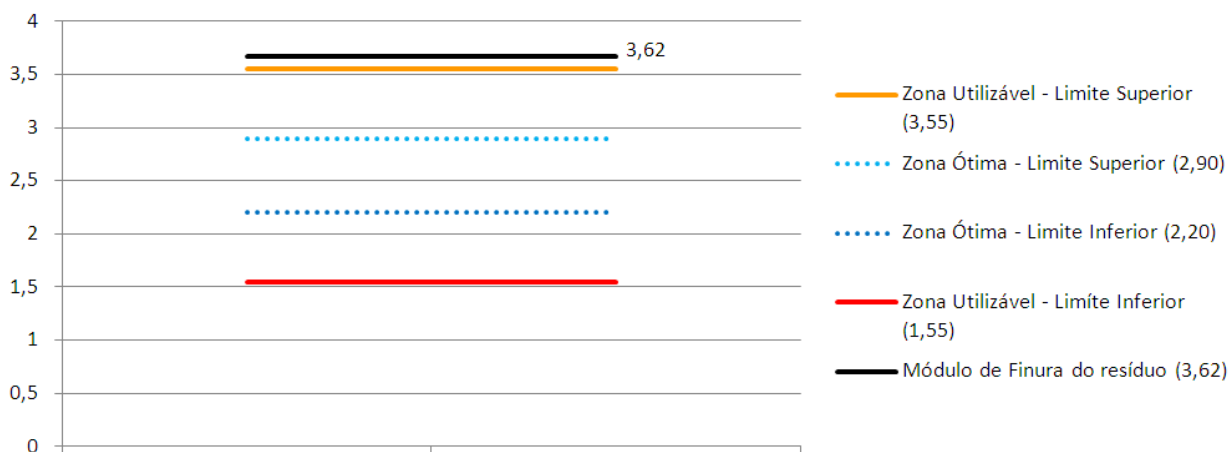


Figura 6.5: Módulo de finura para os limites granulométricos da NBR7211 e módulo de finura do resíduo.

Analisando os resultados da granulometria do resíduo em comparação com a norma NBR 7211 para agregado miúdo, pode-se observar que o resíduo não se enquadrou totalmente dentro dos limites granulométricos estabelecido pela norma. Somente as partículas abaixo da # 2,4 (66%) atenderam os limites.

Assim como a curva granulométrica, o resultado do módulo de finura também ficou um pouco acima do limite estabelecido pela norma e apesar de uma pequena parte das partículas (25%) serem maiores que 4,8mm, o resultado do módulo de finura ficou bem próximo do limite superior.

Com relação aos limites máximos aceitáveis de substâncias nocivas ao agregado miúdo, o resíduo se apresentou dentro dos limites, tanto para material pulverulento quanto para torrões de argila e materiais friáveis.

6.2. Caracterização dos Agregados

6.2.1. Areia

A figura 6.6 apresenta a granulometria da areia utilizada no micro concreto e a figura 6.7 mostra a constatação de que a areia está própria para o uso, pois não apresenta níveis consideráveis de material orgânico conforme a norma NBR 7211 para agregado miúdo. A tabela 6.2 mostra os resultados obtidos no ensaio de granulometria e a figura 6.8 ilustra esses resultados na forma de gráficos. A figura 6.9 apresenta a curva granulométrica comparada aos limites estabelecidos pela NBR 7211 para agregado miúdo e a figura 6.10 apresenta o resultado do módulo de finura da areia.

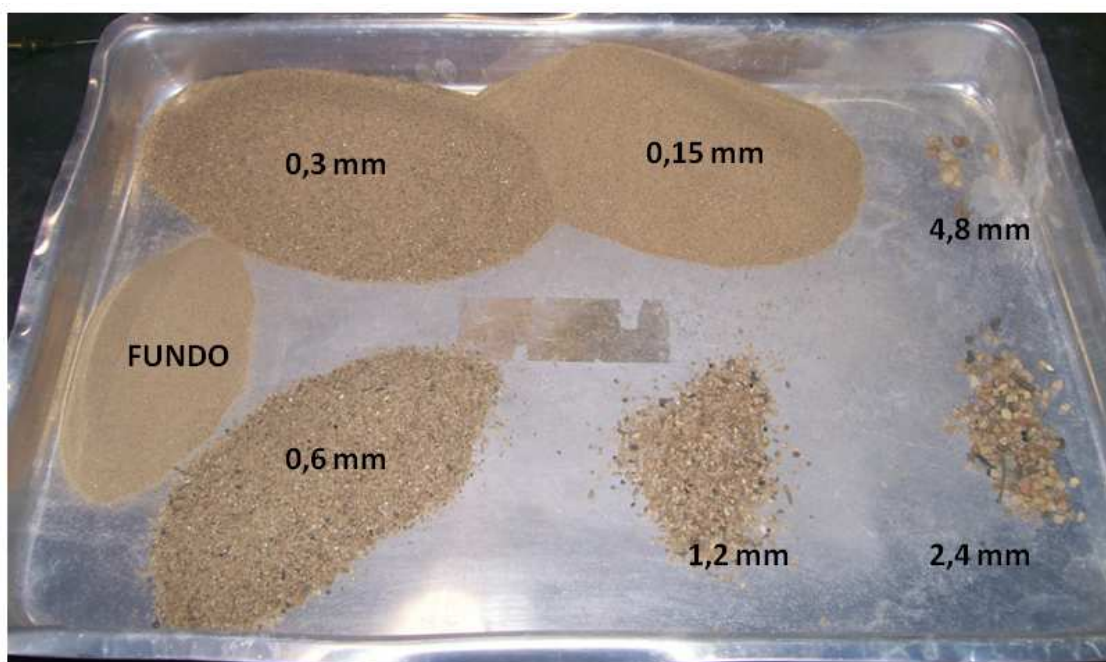


Figura 6.6: Areia retida nas peneiras de 4,8mm até 0,15mm.



Figura 6.7: Ensaio colorimétrico para obtenção da matéria orgânica do agregado miúdo.

Tabela 6.2: Propriedades Físicas da Areia.

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA							
MATERIAL: AREIA FINA							
AMOSTRA: 1			AMOSTRA: 2			AMOSTRA MÉDIA	
PENEIRAS (mm)	MATERIAL RETIDO (g)	% RETIDA	PENEIRAS (mm)	MATERIAL RETIDO (g)	% RETIDA	% RETIDA	% RETIDA ACUMULADA
4,8	2,5	0,3	4,8	2,6	0,3	0	0
2,4	10,6	1,1	2,4	12,7	1,3	1	1
1,2	22,1	2,2	1,2	20,2	2,0	2	3
0,6	129,6	13,0	0,6	113,6	11,4	12	15
0,3	438,6	43,9	0,3	451,6	45,2	45	60
0,15	329,0	32,7	0,15	332,8	33,2	33	93
FUNDO	67,6	6,8	FUNDO	66,5	6,6	7	100
TOTAL	1.000,00	100,0	TOTAL	1.000,00	100,0	100	

MASSA UNITÁRIA NO ESTADO SOLTO = 1.310 kg/m³

MASSA ESPECÍFICA = 2,59 g/cm³

MATERIAL PULVERULENTO = 2,2 %

TORRÕES DE ARGILA E MATERIAIS FRIÁVEIS = 2,95 %

DIMENSÃO MÁXIMA CARACTERÍSTICA = 1,2 mm

MÓDULO DE FINURA = 1,72

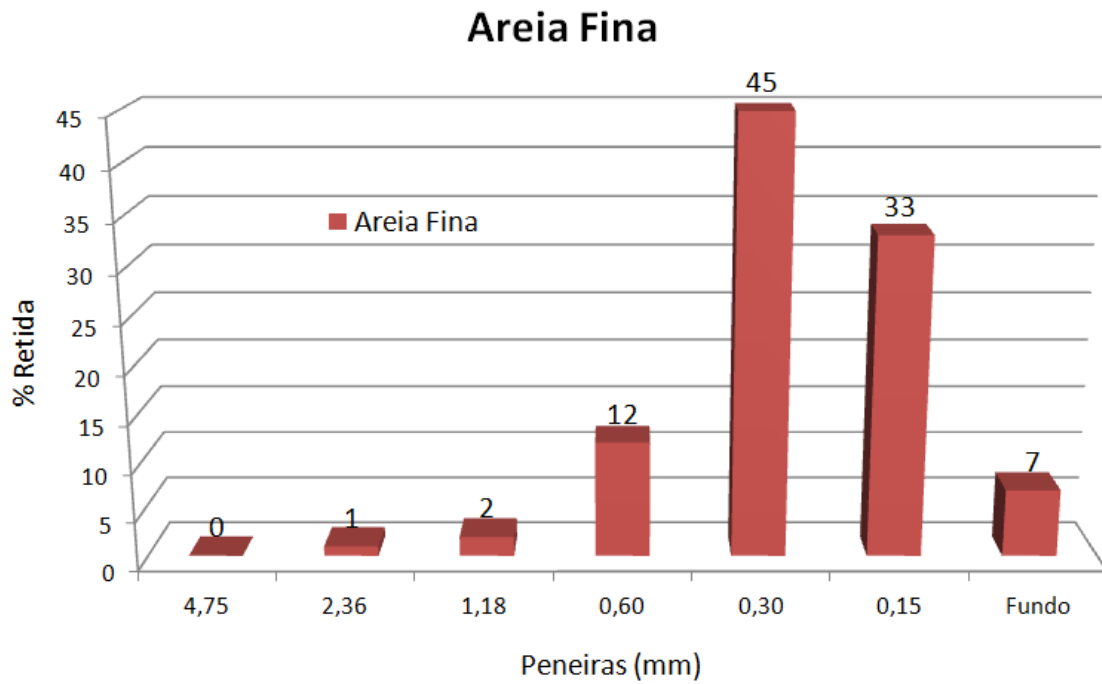


Figura 6.8: Porcentagem de areia retida nas peneiras.

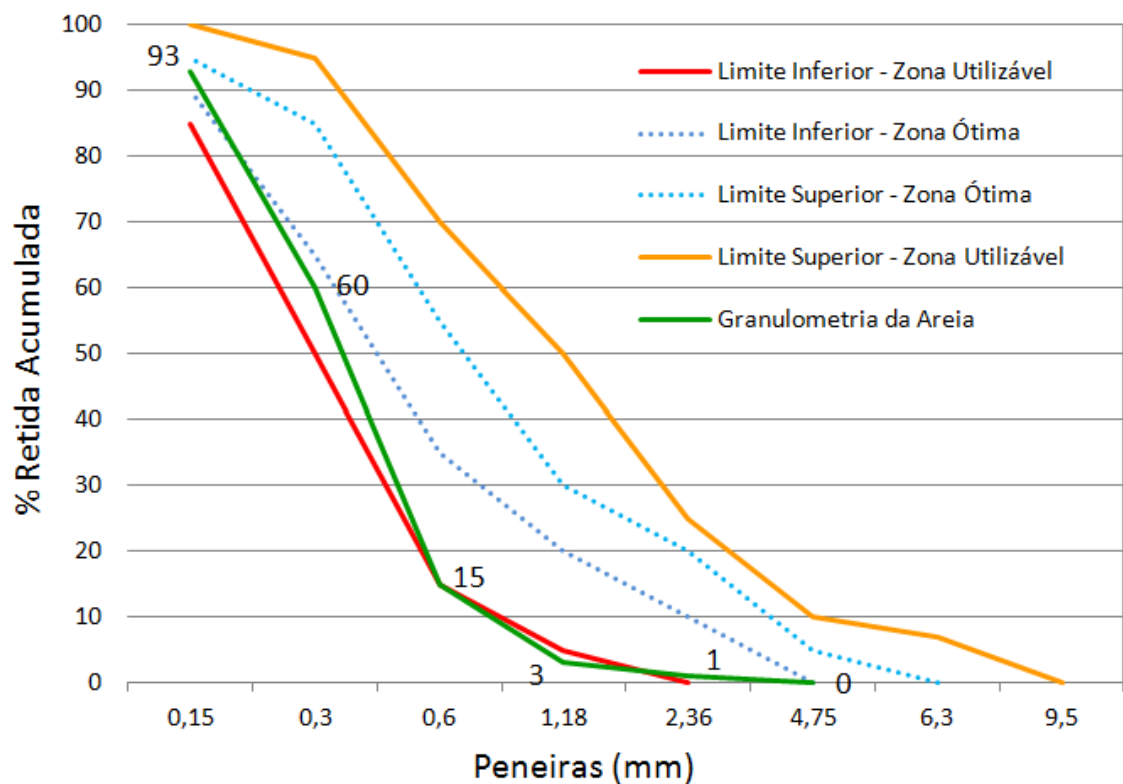


Figura 6.9: Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo (NBR7211) e curva granulométrica da areia fina.

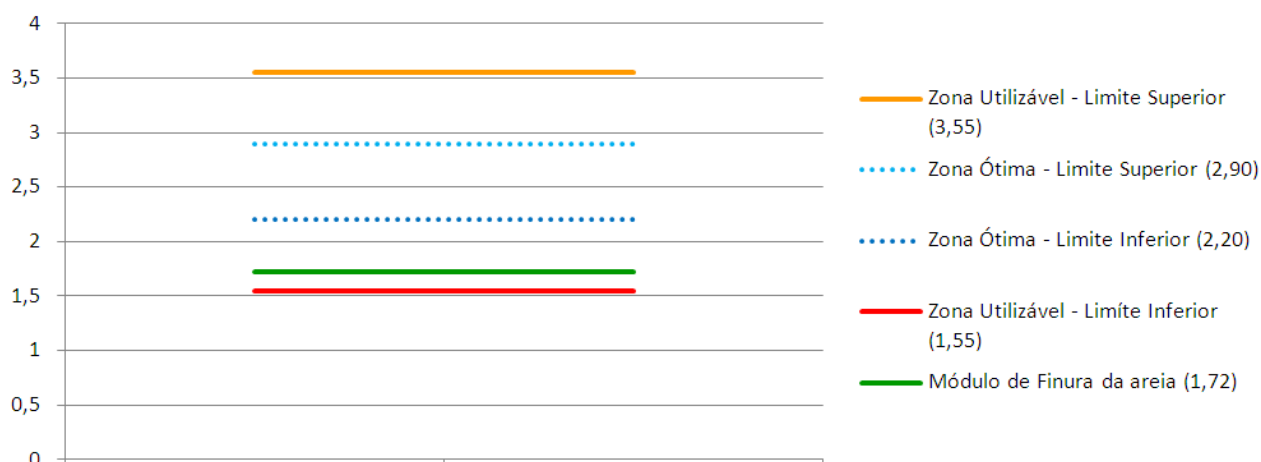


Figura 6.10: Limites para o módulo de finura do agregado miúdo e o resultado do módulo de finura encontrado (1,72) da areia.

Comparando os resultados das granulometrias do resíduo e da areia, e analisando os parâmetros estabelecidos pela NBR 7211 (ABNT, 2005) para agregado miúdo, é possível descrever que:

- A curva de distribuição granulométrica do resíduo se encontra bem próxima do limite superior da zona utilizável estabelecido pela NBR 7211 (ABNT, 2005). 58% do material se encontra dentro dos limites utilizáveis como agregado miúdo;
- A maior parte do resíduo (75%) é composto de partículas menores que 4,8mm e a maioria é composta de tamanhos de 0,6mm (28% do total da amostra);
- A curva de distribuição granulométrica da areia ficou dentro dos limites utilizáveis estabelecidos da NBR 7211 (ABNT, 2005), mas muito próximo do limite utilizável inferior;
- A maior parte da areia (85%) é composta de partículas menores que 0,6mm e a maioria é composta de 0,3mm (45% do total da amostra);
- A massa unitária do resíduo ($1.647,5 \text{ kg/m}^3$) é 25% maior do que a massa unitária da areia ($1.310,0 \text{ kg/m}^3$). Esse resultado se deve ao resíduo ser composto por agregados envoltos em pasta de cimento endurecido;
- A massa específica do resíduo ($2,49 \text{ g/cm}^3$) é 4% menor do que a massa específica da areia ($2,59 \text{ g/cm}^3$). A superfície do resíduo é irregular e com micro e macro poros,

devido à pasta de cimento endurecido em seu envolto, provavelmente elevando sua porosidade.

- O módulo de finura do resíduo (3,62) se encontra fora dos limites utilizáveis estabelecidos pela NBR 7211 (ABNT, 2005), apesar de bem próximo do limite superior utilizável. Em comparação com o módulo de finura da areia (1,72), o módulo de finura do resíduo é 113% maior.

6.2.2. Brita

A tabela 6.3 mostra os resultados obtidos no ensaio de granulometria da brita, a figura 6.11 mostra o percentual de brita retida nas peneiras, e figura 6.12 apresenta a curva granulométrica comparada aos limites estabelecidos pela norma NBR-7211 para agregado graúdo.

Tabela 6.3: Propriedades Físicas da Brita.

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA							
MATERIAL: BRITA 0							
AMOSTRA: 1			AMOSTRA: 2			AMOSTRA MÉDIA	
PENEIRAS (mmMM)	MATERIAL RETIDO (g)	% RETIDA	PENEIRAS (mm)	MATERIAL RETIDO (g)	% RETIDA	% RETIDA	% RETIDA ACUMULADA
9,5	0,00	0,0	9,5	0,00	0,0	0	0
6,3	2.675,32	53,6	6,3	2.475,78	49,6	52	52
4,8	1.647,02	33,0	4,8	1.818,60	36,5	35	87
2,4	593,57	11,9	2,4	639,34	12,8	12	99
1,2	25,90	0,5	1,2	15,10	0,3	0	99
0,6	3,73	0,1	0,6	4,28	0,1	0	99
0,3	2,26	0,1	0,3	3,03	0,1	0	99
0,15	6,04	0,1	0,15	5,27	0,1	0	99
FUNDO	32,35	0,7	FUNDO	26,28	0,5	1	100
TOTAL	4.986,19	100,0	TOTAL	4.987,68	100,0	100	

MASSA UNITÁRIA NO ESTADO SOLTO = 1637,5 kg/m³

MASSA ESPECÍFICA = 2,66 g/cm³

DIMENSÃO MÁXIMA CARACTERÍSTICA = 9,5 mm

MÓDULO DE FINURA = 5,82

Brita 0

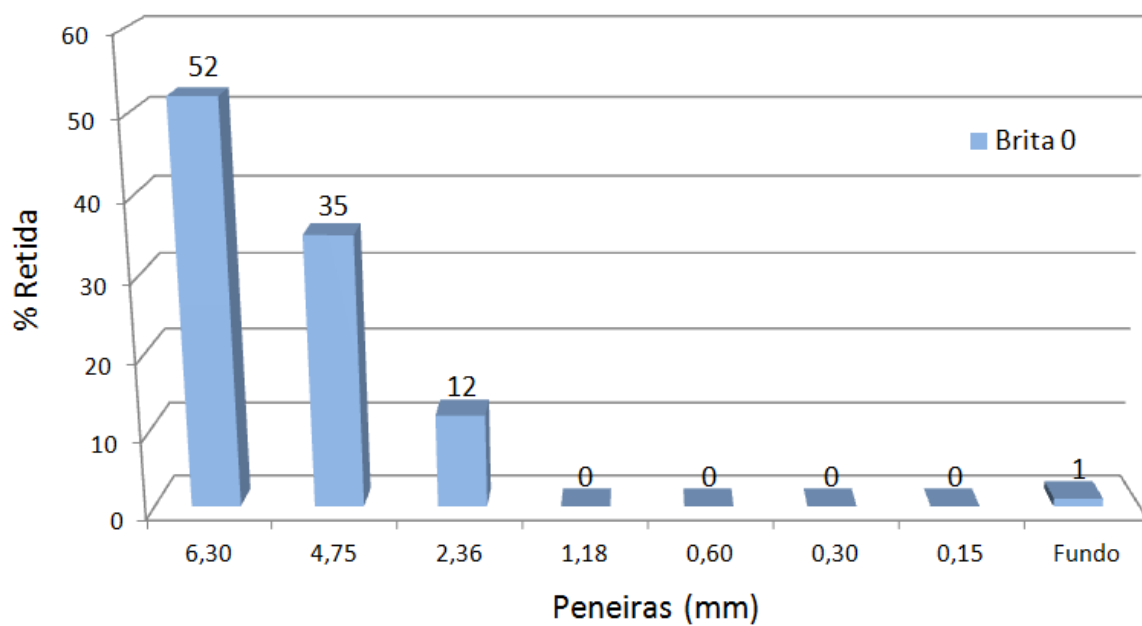


Figura 6.11: Porcentagem de brita retida nas peneiras.

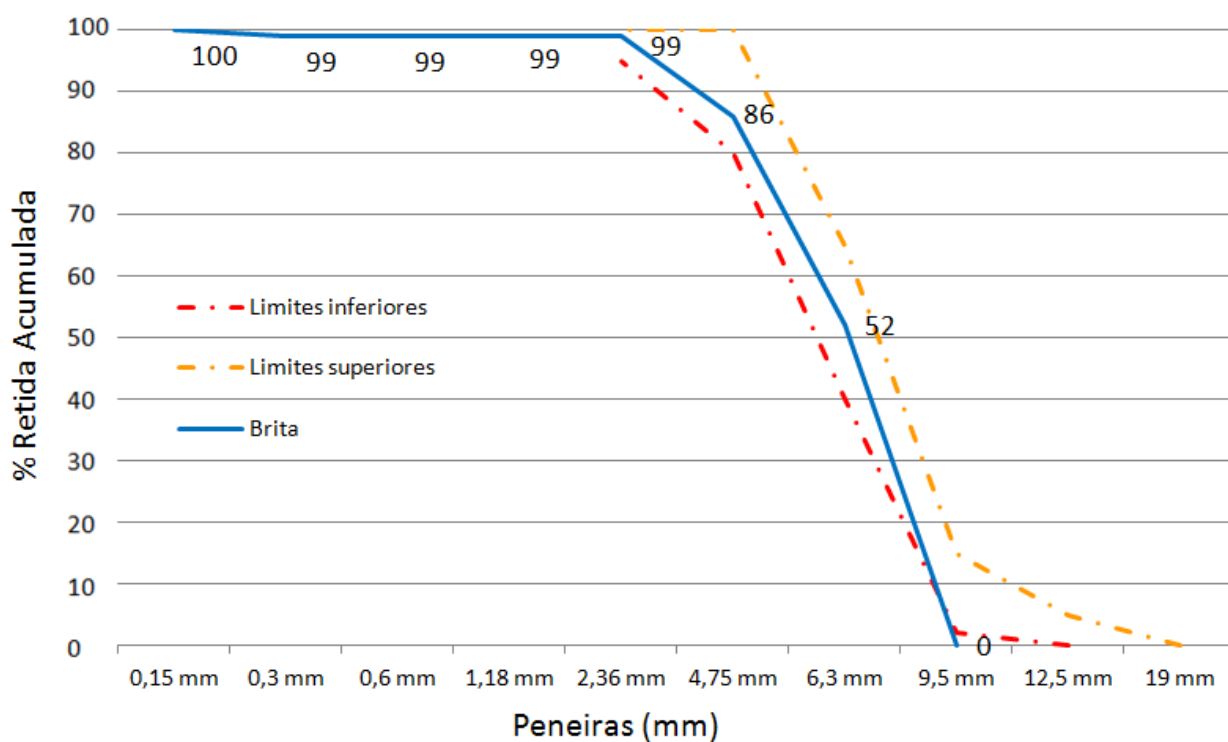


Figura 6.12: Limites da distribuição granulométrica do agregado graúdo (NBR7211) e curva granulométrica da brita.

Comparando os resultados das granulometrias do resíduo e da brita, e analisando os parâmetros para agregado graúdo estabelecidos pela norma NBR 7211 (ABNT, 2005) para agregado graúdo, é possível descrever que:

- A curva de distribuição granulométrica do resíduo se encontra fora dos limites utilizáveis estabelecidos pela NBR 7211 (ABNT, 2005), conforme a figura 6.4;
- A curva de distribuição granulométrica da brita se encontra dentro dos limites utilizáveis estabelecidos da NBR 7211 (ABNT, 2005);
- A maior parte do resíduo (75%) é composto de partículas menores que 4,8mm e a maioria é composta de 0,6mm (28% do total da amostra);
- A maior parte da brita (87%) é composta de partículas maiores que 4,8mm e a maioria é composta de 6,3mm (52% do total da amostra);

Apesar da dimensão máxima característica (DMC) do resíduo e da brita serem iguais a distribuição granulométrica é bastante diferente.

6.3. Discussões dos Resultados das Caracterizações do Resíduo, da Areia e da Brita

Para determinar qual a porcentagem e qual o tipo de agregado deverá ser substituído pelo resíduo da fabricação de blocos de concreto, é necessário como ponto de partida de preparação das especificações dos traços e posterior moldagem e rompimento de corpos de prova para verificação da resistência à compressão, a comparação dos resultados obtidos nos ensaios de granulometria e caracterização física dos agregados com os resultados do resíduo. As figuras 6.13 a 6.17 mostram as comparações.

A figura 6.13, mostra a grande variação granulométrica do resíduo em relação à homogeneidade granulométrica tanto da areia quanto da brita. O resíduo e a areia assemelham-se no maior percentual de algumas determinadas dimensões de partículas. A areia tem maior parte de suas partículas concentradas nas dimensões entre 0,15mm e 0,30mm e o resíduo tem em sua maioria as dimensões entre 0,3 e 0,6mm. Já a brita, no aspecto granulométrico, difere da areia e do resíduo.

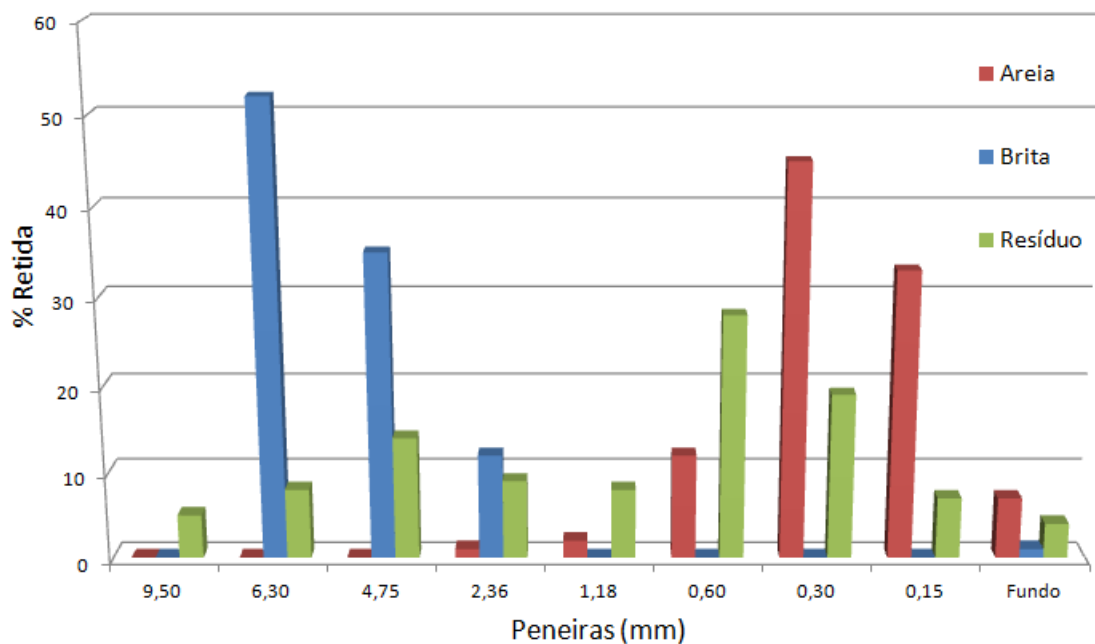


Figura 6.13: Comparativo das porcentagens de areia, brita e resíduo retidas nas peneiras.

A figura 6.14 mostra a semelhança entre as curvas granulométricas da areia e do resíduo. A curva granulométrica da brita difere totalmente das curvas da areia e do resíduo. Este fato é devido à brita ser britada, sendo o tamanho e os percentuais em cada peneiras pré-definidos no processo. Diferentemente, a areia apresenta maior distribuição granulométrica em função de ser obtida em seu tamanho natural. Já o resíduo apresenta grande variação de tamanho devido à sua origem, sendo a composição de aglomerados de cimento e agregados, formando no processo de fabricação dos blocos de concreto, conforme os traços de concreto adotados e o processo de prensagem dos blocos.

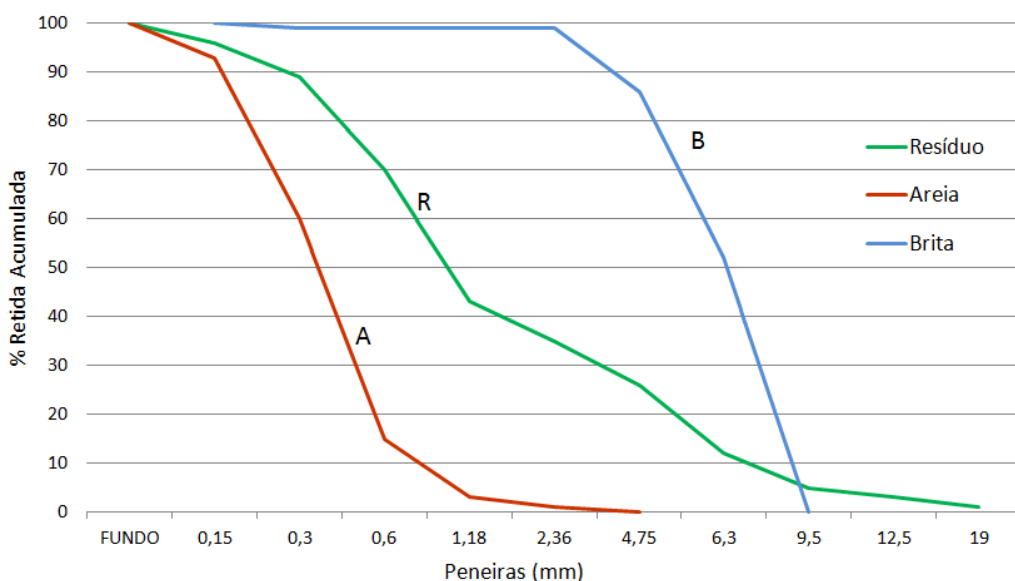


Figura 6.14: Comparativo das curvas granulométricas do resíduo, da areia e da brita.

Com relação às massas unitárias, conforme mostra a figura 6.15, o resíduo se assemelha à brita com as massas unitárias praticamente iguais. Já a massa unitária da areia é um pouco menor.

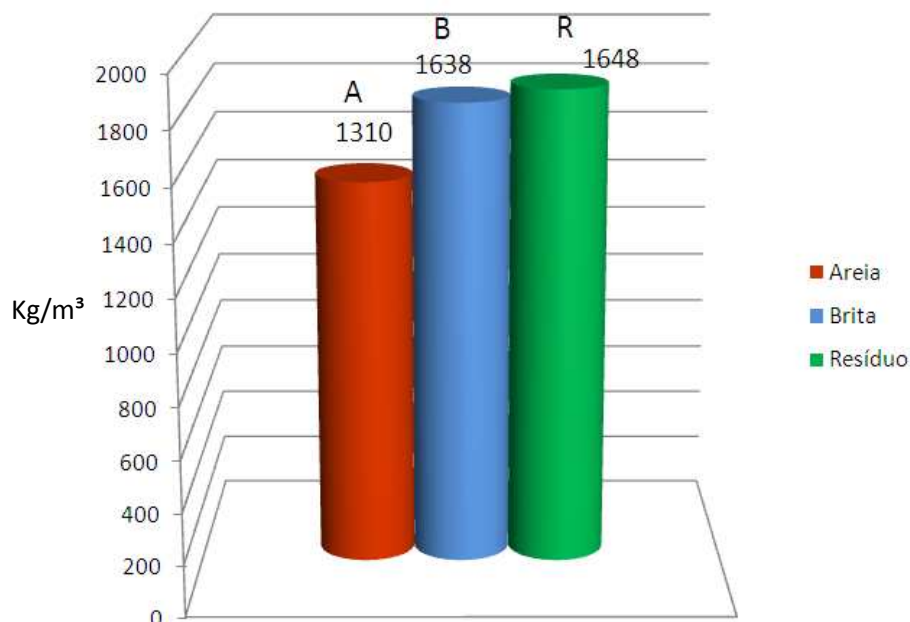


Figura 6.15: Comparativo das massas unitárias do resíduo, da areia e da brita.

Com relação às massas específicas, conforme mostra a figura 6.16, os materiais de assemelham-se, tendo a brita, a maior massa específica, e o resíduo a menor, provavelmente devido à porosidade da pasta de cimento que envolve os agregados que constituem o concreto do resíduo da fabricação dos blocos.

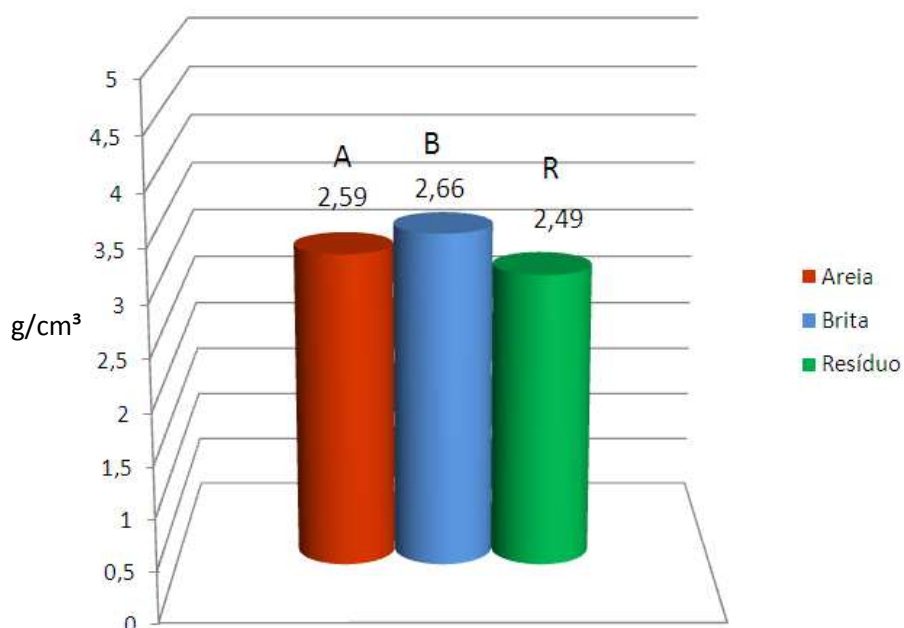


Figura 6.16: Comparativo das massas específicas do resíduo, da areia e da brita.

De acordo com a figura 6.17, verifica-se a os módulos de finura são heterogêneos. O modulo de finura do resíduo não está próximo nem da brita e nem da areia, está em um ponto intermediário entre os agregados graúdos e miúdos.

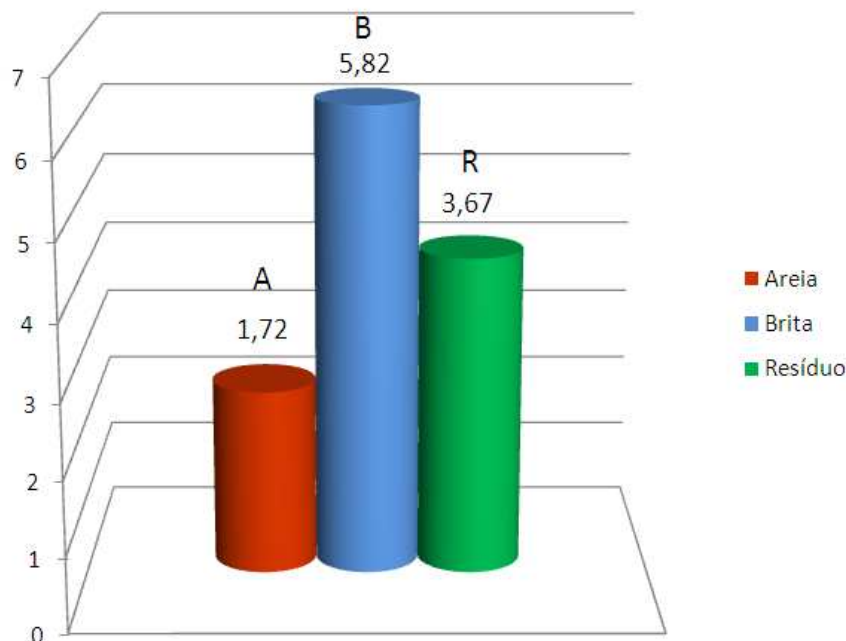


Figura 6.17: Comparativo dos módulos de finuras do resíduo, da areia e da brita.

Em resumo, após as análises dos resultados comparativos dos ensaios de caracterização física, e levando-se em conta o objetivo do trabalho que é a produção de um micro concreto, que tem duas das suas principais características a fluidez e a plasticidade, o ponto de partida para a análise da resistência à compressão é a substituição da areia pelo resíduo da fabricação dos blocos de concreto estruturais, pois a areia foi a que mais se assemelhou com o resíduo no que diz respeito à dimensão das partículas, apesar da considerável diferença entre os módulos de finura de ambos.

Baseado nas análises dos resultados obtidos, optou-se por estudar o micro concreto dosado com a substituição da areia pelo resíduo. Como 75% do resíduo assemelha-se com a areia, ou seja 75% passante na peneira 4,8mm, foi decidido peneirar e descartar os 25% retidos na peneira 4,8mm e refazer os ensaios granulométricos do resíduo somente com as partículas menores que 4,8mm.

6.3.1. Caracterização do Resíduo Peneirado passante na # 4,8mm

Foram preparadas duas vias de amostra do resíduo para o peneiramento na # 4,8mm, e os materiais passantes foram submetidos a novos ensaios de granulometria e caracterização. A tabela 6.4 mostra os resultados obtidos no ensaio de granulometria do resíduo peneirado, a figura 6.18 mostra o percentual do resíduo peneirado retido nas peneiras. A figura 6.19 apresenta a curva granulométrica e a figura 6.20 mostra o módulo de finura comparado aos limites estabelecidos pela NBR-7211 para agregado miúdo.

Tabela 6.4: Propriedades Físicas do Resíduo Peneirado.

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA							
MATERIAL: RESÍDUO PASSANTE NA PENEIRA # 4,8mm							
AMOSTRA: 3			AMOSTRA: 4			AMOSTRA MÉDIA	
PENEIRAS (mm)	MATERIAL RETIDO (g)	% RETIDA	PENEIRAS (mm)	MATERIAL RETIDO (g)	% RETIDA	% RETIDA	% RETIDA ACUMULADA
4,8	-	-	4,8	-	-	0	0
2,4	613,44	12,3	2,4	568,81	11,4	12	12
1,2	523,67	10,5	1,2	464,03	9,3	10	22
0,6	1.870,24	37,4	0,6	1.980,86	39,7	38	60
0,3	1.276,75	25,6	0,3	1.212,46	24,3	25	85
0,15	438,88	8,8	0,15	469,02	9,4	9	94
FUNDO	269,31	5,4	FUNDO	294,38	5,9	6	100
TOTAL	4.992,29	100,0	TOTAL	4.989,56	100,0	100	

MASSA UNITÁRIA EM ESTADO SOLTO = 1.580,0 kg/m³

MASSA ESPECÍFICA = 2,54 g/cm³

DIMENSÃO MÁXIMA CARACTERÍSTICA = 4,8 mm

MÓDULO DE FINURA = 2,73

Resíduo Passante na # 4,8mm

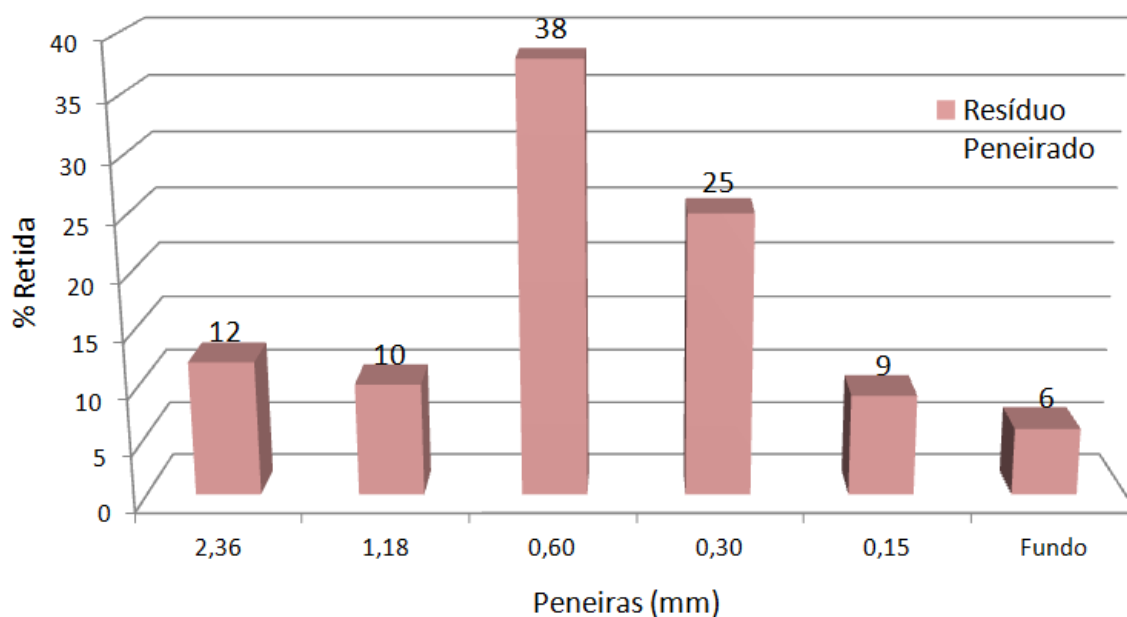


Figura 6.18: Porcentagem de resíduo passante na # 4,8mm e retido nas demais peneiras.

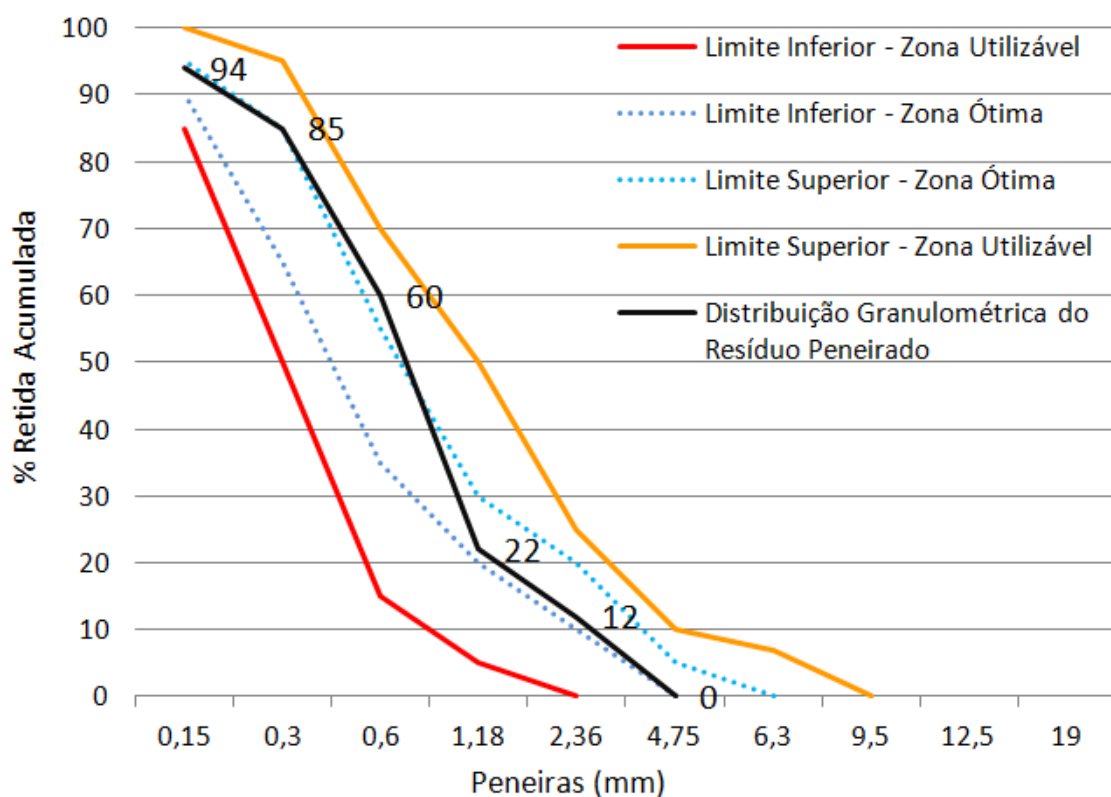


Figura 6.19: Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo (NBR7211) e curva granulométrica do resíduo passante na # 4,8mm e retido nas demais peneiras.

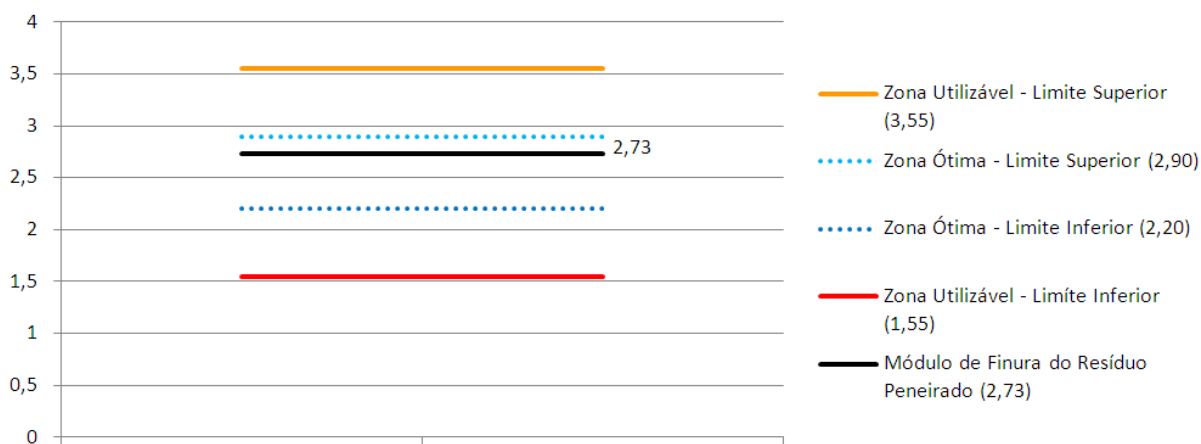


Figura 6.20: Limites para o módulo de finura do agregado miúdo (NBR7211) e o módulo de finura (2,73) do resíduo passante na # 4,8.

Com os resultados da granulometria das amostras de resíduo peneirado na # 4,8mm, é possível verificar que o material se encaixou perfeitamente como um agregado miúdo, uma vez que tanto a distribuição granulométrica quanto o módulo de finura ficaram dentro das faixas ótimas estabelecidas pela NBR 7211.

As figuras 6.21 a 6.25 mostram as comparações entre os resultados dos ensaios da granulometria e caracterização física da areia e do resíduo peneirado. E os resultados comprovaram a similaridade alcançada com o peneiramento do resíduo.

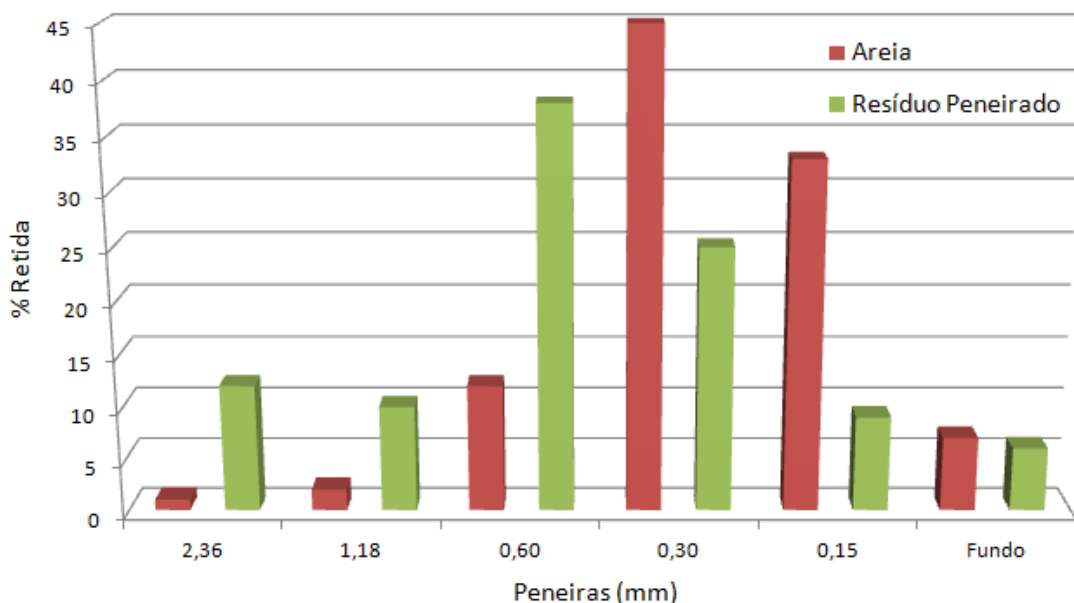


Figura 6.21: Comparativo das porcentagens de areia e resíduo peneirado retidas nas peneiras.

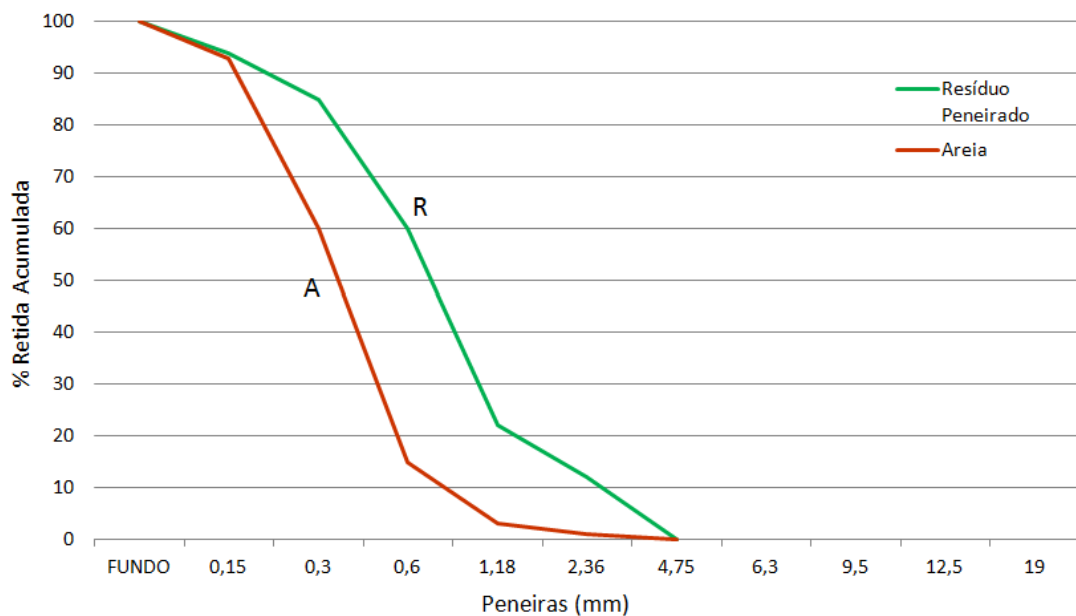


Figura 6.22: Comparativo das curvas granulométricas do resíduo peneirado e da areia.

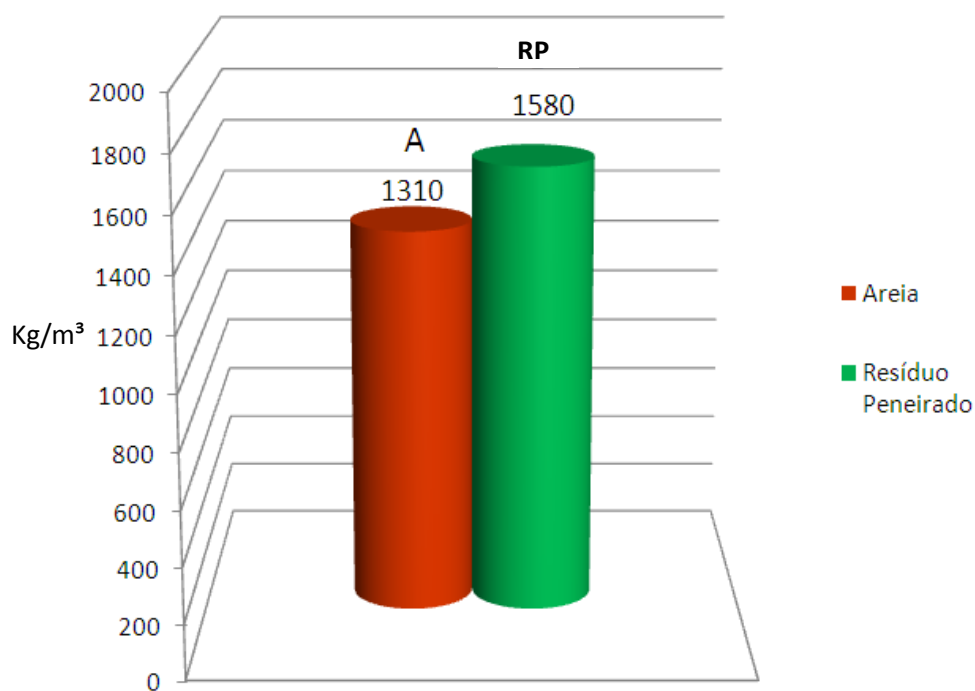


Figura 6.23: Comparativo das massas unitárias do resíduo peneirado e da areia.

Ocorreu uma redução da massa unitária do resíduo de 1648 kg/m³ para 1580 kg/m³ após o peneiramento e, conseqüentemente, a separação dos maiores grãos, constituídos de brita redistribuindo também os espaços vazios no caixote do ensaio de massa unitária.

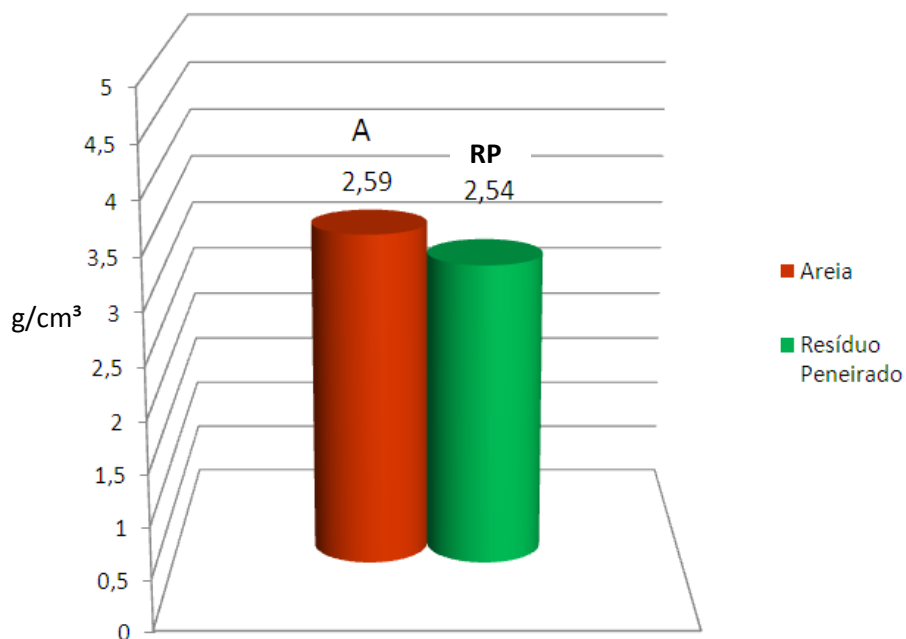


Figura 6.24: Comparativo das massas específicas do resíduo peneirado e da areia.

Com relação às massas específicas, ocorreu a aproximação dos dois materiais com a redução do tamanho dos grãos do resíduo.

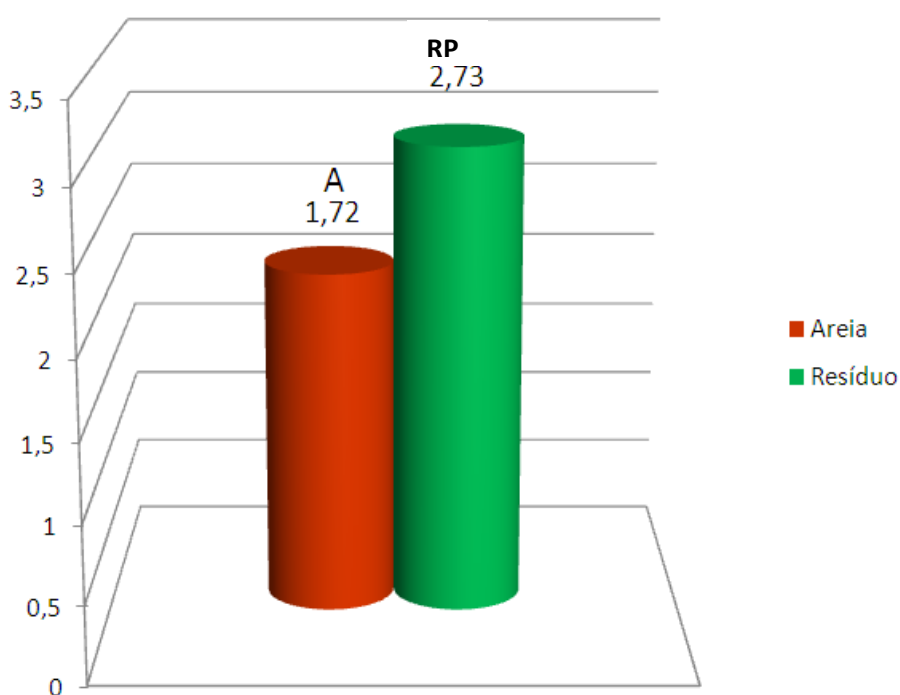


Figura 6.25: Comparativo dos módulos de finuras do resíduo peneirado e da areia.

O módulo de finura do resíduo peneirado se encaixou dentro da faixa ótima dos limites estabelecidos para norma NBR 7211. A areia pode ser considerada um agregado miúdo fino e o resíduo um agregado miúdo um pouco mais grosso.

6.4. Dosagens dos Micros Concretos

O traço padrão (em massa) que referencia o presente estudo tem a seguinte composição:

- 1000g de cimento CP III – 32;
- 820g de areia natural de graduação fina;
- 840g de brita nº 0;
- 500g a 600g de água.

O traço padrão será tratado como traço A1 (600g de água) e como A2 (500g de água).

Analisando os resultados obtidos das massas específicas dos agregados e do resíduo, a areia apresentou um valor maior, ou seja, para um mesmo volume a menor massa será de resíduo, portanto os traços de micro concreto compostos com o resíduo dos blocos de concreto ficaram com a seguinte composição:

O traço composto com 100% de resíduo em substituição da areia será tratado como traço B1 (600g de água) e como B2 (500g de água).

- 1000g de cimento CP III – 32;
- 800g de resíduo peneirado;
- 840g de brita nº 0;
- 500g a 600g de água.

O traço composto com 50% de resíduo em substituição da areia será tratado como traço C1 (600g de água) e como C2 (500g de água).

- 1000g de cimento CP III – 32;
- 410g de areia natural de graduação fina;
- 400g de resíduo peneirado;
- 840g de brita nº 0;
- 500g a 600g de água.

6.5. Fluidez do Micro Concreto no Estado Fresco

A figura 6.26 apresenta o micro concreto padrão (traço A1). As figuras 7.27 a 7.32 mostram os ensaios de fluidez do micro concreto e a tabela 6.5 apresenta a relação entre os traços e os resultados de consistência.



Figura 6.26: Micro concreto, traço padrão.

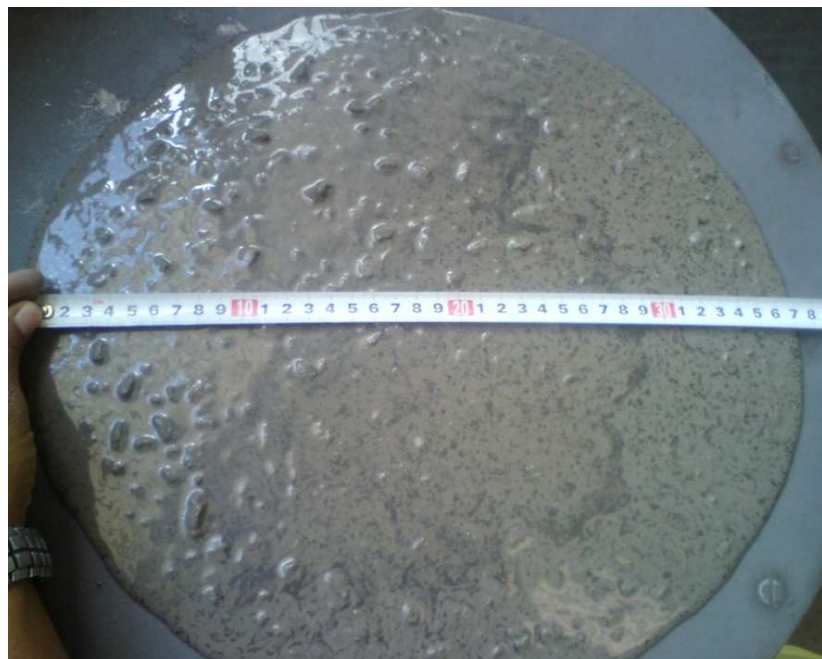


Figura 6.27: Ensaio de consistência do micro concreto, espalhamento (37cm), traço A1.



Figura 6.28: Ensaio de consistência do micro concreto, espalhamento (31cm), traço B1.



Figura 6.29: Ensaio de consistência do micro concreto, espalhamento (31cm), traço C1.



Figura 6.30: Ensaio de consistência do micro concreto, espalhamento (29cm), traço A2.



Figura 6.31: Ensaio de consistência do micro concreto, espalhamento (29cm), traço B2.



Figura 6.32: Ensaio de consistência do micro concreto, espalhamento (29cm), traço C2.

Tabela 6.5: Composições dos traços dos micros concretos e resultados dos ensaios de consistência.

CÓDIGO DO TRAÇO	TRAÇOS	CIMENTO (g)	AREIA (g)	BRITA (g)	RESÍDUO (g)	ÁGUA (g)	RELAÇÃO A/C	ESPALHAMENTO (cm)
A	TRAÇO PADRÃO (100% DE AREIA)	600	492	504	0	360	0,6	37
B	TRAÇO (0% DE AREIA E 100% DE RESÍDUO)	600	0	504	480	360	0,6	31
C	TRAÇO (50% DE AREIA E 50% DE RESÍDUO)	600	246	504	240	360	0,6	31

CÓDIGO DO TRAÇO	TRAÇOS	CIMENTO (g)	AREIA (g)	BRITA (g)	RESÍDUO (g)	ÁGUA (g)	RELAÇÃO A/C	ESPALHAMENTO (cm)
A	TRAÇO PADRÃO (100% DE AREIA)	600	492	504	0	300	0,5	29
B	TRAÇO (0% DE AREIA E 100% DE RESÍDUO)	600	0	504	480	300	0,5	29
C	TRAÇO (50% DE AREIA E 50% DE RESÍDUO)	600	246	504	240	300	0,5	29

Para o traço com a $A/C = 0,6$ houve uma redução de 16% na fluidez, mas com a $A/C = 0,5$ não houve perda da consistência. Acredita-se que o fator forma e a textura (rugosidade) do grão tem influência nesta propriedade até um determinado limite da A/C . Conforme se diminui a A/C , a influência destes fatores se reduz, chegando ao ponto de não influenciar na propriedade de consistência a uma $A/C = 0,5$.

6.6. Resistência à Compressão dos Corpos de Prova de Micro Concreto

Os resultados dos ensaios de resistência à compressão aos 28 dias dos corpos de prova de micro concreto estão relacionados nas tabelas 6.6 a 6.11. e consolidados na tabela 6.12.

Tabela 6.6: Resultados dos ensaios de resistência à compressão dos micros concretos, traço A1.

		Carga (kgf)	Área do CP (cm ²)	Tensão de Ruptura (MPa)	Média (MPa)
TRAÇO PADRÃO A1 (100% DE AREIA)	P1	2000	19,63	10,19	13,75
	P2	1800	19,63	9,17	
	P3	3400	19,63	17,32	
	P4	3000	19,63	15,28	
	P5	2800	19,63	14,26	
	P6	3200	19,63	16,30	

Tabela 6.7: Resultados dos ensaios de resistência à compressão dos micros concretos, traço B1.

		Carga (kgf)	Área do CP (cm ²)	Tensão de Ruptura (MPa)	Média (MPa)
TRAÇO B1 (0% DE AREIA E 100% DE RESÍDUO)	P1	2600	19,63	13,24	13,41
	P2	2600	19,63	13,24	
	P3	2200	19,63	11,20	
	P4	3000	19,63	15,28	
	P5	2800	19,63	14,26	
	P6	2600	19,63	13,24	

Tabela 6.8: Resultados dos ensaios de resistência à compressão dos micros concretos, traço C1.

		Carga (kgf)	Área do CP (cm ²)	Tensão de Ruptura (MPa)	Média (MPa)
TRAÇO C1 (50% DE AREIA E 50% DE RESÍDUO)	P1	2000	19,63	10,19	13,41
	P2	3600	19,63	18,33	
	P3	1800	19,63	9,17	
	P4	1600	19,63	8,15	
	P5	3000	19,63	15,28	
	P6	3800	19,63	19,35	

Tabela 6.9: Resultados dos ensaios de resistência à compressão dos micros concretos, traço A2.

		Carga (kgf)	Área do CP (cm ²)	Tensão de Ruptura (MPa)	Média (MPa)
TRAÇO PADRÃO A2 (100% DE AREIA)	P1	4200	19,63	21,39	19,10
	P2	4000	19,63	20,37	
	P3	3200	19,63	16,30	
	P4	3500	19,63	17,83	
	P5	3800	19,63	19,35	
	P6	3800	19,63	19,35	

Tabela 6.10: Resultados dos ensaios de resistência à compressão dos micros concretos, traço B2.

		Carga (kgf)	Área do CP (cm ²)	Tensão de Ruptura (MPa)	Média (MPa)
TRAÇO B2 (0% DE AREIA E 100% DE RESÍDUO)	P1	3000	19,63	15,28	18,42
	P2	4000	19,63	20,37	
	P3	3800	19,63	19,35	
	P4	3600	19,63	18,33	
	P5	3400	19,63	17,32	
	P6	3900	19,63	19,86	

Tabela 6.11: Resultados dos ensaios de resistência à compressão dos micros concretos, traço C2.

		Carga (kgf)	Área do CP (cm ²)	Tensão de Ruptura (MPa)	Média (MPa)
TRAÇO C2 (50% DE AREIA E 50% DE RESÍDUO)	P1	3800	19,63	19,35	16,47
	P2	2600	19,63	13,24	
	P3	3200	19,63	16,30	
	P4	3000	19,63	15,28	
	P5	3400	19,63	17,32	
	P6	3400	19,63	17,32	

Tabela 6.12: Consolidação dos resultados dos ensaios de resistência à compressão dos micros concretos.

CÓDIGO DO TRAÇO	TRAÇOS	CIMENTO (g)	AREIA (g)	BRITA (g)	RESÍDUO (g)	ÁGUA (g)	RELAÇÃO A/C	ESPALHAMENTO (cm)	Tensão Média de Ruptura (MPa)
A	TRAÇO PADRÃO (100% DE AREIA)	600	492	504	0	360	0,6	37	13,75
B	TRAÇO (0% DE AREIA E 100% DE RESÍDUO)	600	0	504	480	360	0,6	31	13,41
C	TRAÇO (50% DE AREIA E 50% DE RESÍDUO)	600	246	504	240	360	0,6	31	13,41

CÓDIGO DO TRAÇO	TRAÇOS	CIMENTO (g)	AREIA (g)	BRITA (g)	RESÍDUO (g)	ÁGUA (g)	RELAÇÃO A/C	ESPALHAMENTO (cm)	Tensão Média de Ruptura (MPa)
A	TRAÇO PADRÃO (100% DE AREIA)	600	492	504	0	300	0,5	29	19,10
B	TRAÇO (0% DE AREIA E 100% DE RESÍDUO)	600	0	504	480	300	0,5	29	18,42
C	TRAÇO (50% DE AREIA E 50% DE RESÍDUO)	600	246	504	240	300	0,5	29	16,47

Baseado nos valores das resistências à compressão axial dos micros concretos apresentados na tabela 6.12, pode-se dizer que, houve uma pequena perda da resistência mecânica, quase irrisória (3%) do micro concreto feito com 100% de resíduo em relação ao micro concreto feito com o traço padrão, para ambas A/C. Os resultados também demonstram que a substituição da areia pelo resíduo pode ser em 100%, pois a substituição parcial da areia gerou um micro concreto com a resistência igual a do micro concreto com a substituição em 100%, para a A/C = 0,6. Já para os micros concretos com a A/C = 0,5, o micro concreto com a substituição parcial da areia pelo resíduo apresentou uma queda da resistência mecânica na ordem de 10%, em relação ao micro concreto com a substituição em 100%.

A diminuição da A/C de 0,6 para 0,5, gerou um ganho de resistência mecânica em torno de 38% para os micros concretos confeccionado com o traço padrão e com o traço em substituição da areia em 100% pelo resíduo. Já o micro concreto com 50% de resíduo com A/C = 0,5 o ganho de resistência mecânica foi menor.

A figura 6.33 apresenta micros concretos nos ensaios de resistência à compressão axial.

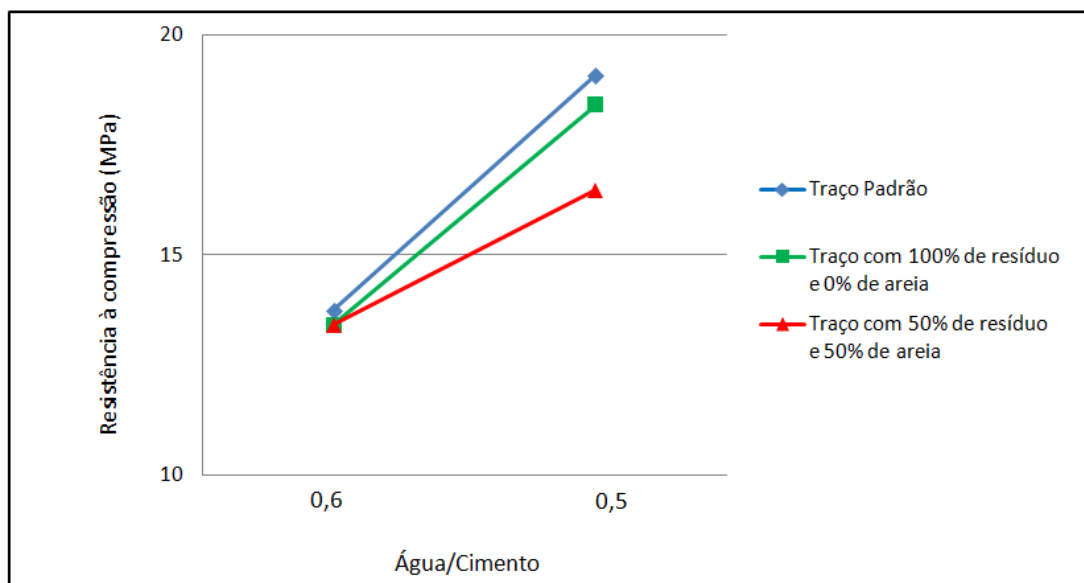


Figura 6.33: Resistência à compressão x relação água cimento.

A figura 6.33 mostra os micros concretos, onde os resultados apresentaram um aumento da resistência à compressão dos traços padrão e traços com resíduo. Observa-se também que os resultados para os micros concretos com a mesma A/C sofreram variações pequenas, para A/C = 0,6.

Observa-se ainda que para a $A/C=0,6$, a redução da resistência é de 2,5% tanto para o traço com 50% de resíduo em substituição à areia quanto no com 100% de resíduo, em relação ao traço padrão. Já $A/C=0,5$ houve uma redução considerável da resistência no traço com 50% de resíduo em substituição à areia, mas no traço com 100% de resíduo a resistência diminuiu somente 3,5% em relação ao traço padrão.

A NBR 15961 parte 1 (ABNT, 2011) não especifica qual deve ser a resistência do micro concreto de preenchimento dos alvéolos, mas sabe-se que não deve ser menor do que a resistência do concreto de fabricação do bloco. A área líquida de um bloco de concreto estrutural é 50% da área bruta, então um bloco de concreto que tem resistência à compressão de 6 MPa (em relação a área bruta), foi moldado com um concreto de resistência à compressão de 12 MPa. Portanto, a resistência do micro concreto de preenchimento dos alvéolos dos blocos deve ter a resistência à compressão igual ou superior à resistência à compressão do bloco (em relação à área bruta)

6.7. Resistência à Compressão de Blocos de Concreto Preenchidos com Micro Concreto

Conforme observado nos resultados dos ensaios de resistência à compressão dos corpos de prova de micro concreto, o traço com o resíduo que obteve o melhor resultado foi o traço com 100% de resíduo em substituição à areia e com a $A/C = 0,5$, além de que este traço obteve a mesma fluidez do traço padrão utilizado na obra. Sendo assim este foi o traço escolhido para o preenchimento dos alvéolos dos blocos de concreto para o ensaio de resistência à compressão. Os resultados dos ensaios são apresentados na forma consolidada na tabela 6.13.

Tabela 6.13: Consolidação dos resultados dos ensaios de resistência à compressão dos blocos de concreto preenchidos com micros concretos.

TRAÇOS		Área do Bloco (cm ²)	Carga de Ruptura (kgf)	Tensão média de Ruptura (MPa)
Bloco 34	TRAÇO PADRÃO, A2 (100% DE AREIA)	476	77600	16,44
			79100	
			78100	
Bloco 34	TRAÇO B2 (0% DE AREIA E 100% DE RESÍDUO)	476	73400	15,46
			72600	
			74800	

Houve uma pequena redução, 6%, da resistência do conjunto bloco/micro concreto com resíduo em relação ao conjunto com o traço padrão.

Como os ensaios de resistência à compressão somente dos corpos de prova moldados com os micros concretos apresentaram uma redução de 3,5% do confeccionado com resíduo em relação ao elaborado com o traço padrão, a redução da resistência do conjunto bloco/micro concreto (6%) pode ser explicada, provavelmente pela variação da resistência do concreto de fabricação do bloco. Por ser composta por duas fases (bloco e micro concreto), este conjunto tem maior variação em relação ao micro concreto.

6.8. Absorção dos Blocos de Concreto Preenchidos com Micro Concreto

Os resultados dos ensaios de absorção realizados nos blocos de concreto preenchidos com micro concreto são apresentados na tabela 6.14.

Tabela 6.14: Resultados dos ensaios de absorção dos blocos de concreto preenchidos com micros concretos.

TRAÇOS		MASSA SECA (g)	MASSA ÚMIDA (g)	Absorção (%)	Absorção Média(%)
BLOCO 34	TRAÇO PADRÃO (100% DE AREIA)	1880	1970	4,79	4,93
		1790	1862	4,02	
		1820	1929	5,99	
BLOCO 34	TRAÇO (0% DE AREIA E 100% DE RESÍDUO)	1890	1980	4,76	4,46
		1930	2015	4,40	
		1905	1985	4,20	

A figura 6.34 indica a posição em que foram serrados os blocos e as figuras 6.35 e 6.36 mostram as seções transversais dos conjuntos bloco e micro concreto após serrados. Ocorreu uma pequena variação entre as absorções, sendo que o conjunto com o traço com resíduo apresentou uma absorção 10% menor do que a do conjunto com o traço padrão.

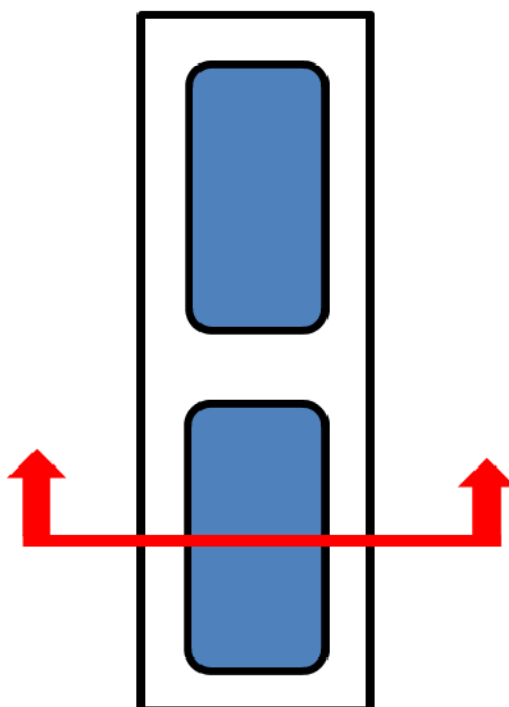


Figura 6.34: Indicação da posição do corte dos blocos e o posicionamento da vista.



Figura 6.35: Aspecto visual do interior do bloco de concreto preenchido com micro concreto, traço A2, após saturado em água por 24 horas e cerrado.



Figura 6.36: Aspecto visual do interior do bloco de concreto preenchido com micro concreto, traço B2, após saturado em água por 24 horas e cerrado.

A figura 6.36 apresenta uma região com uma coloração mais clara, coloração típica de área seca ou com baixa umidade. Esta região estava na parte superior do bloco durante a imersão, ou seja, área de menor pressão. Provavelmente, esta menor absorção possa ser explicada pela melhor distribuição granulométrica do resíduo em relação à areia, conforme já apresentado na figura 6.21.

Na distribuição granulométrica da areia 85% dos grãos ficaram em apenas três faixas granulométricas (#0,30; #0,15 e fundo), já a granulometria do resíduo 88% dos grãos ficaram melhor distribuídos em cinco faixas granulométricas (#1,18; #0,60; #0,30; #0,15 e fundo). Esta homogeneidade proporciona o melhor empacotamento entre as partículas dos agregados diminuindo assim os vazios.

Apesar da massa específica do resíduo ser um pouco menor que da areia, a massa unitária do resíduo é maior que da areia, provavelmente devido à melhor distribuição granulométrica do resíduo após peneiramento.

A absorção é uma importante propriedade do concreto, mas para o micro concreto de preenchimento dos alvéolos dos blocos de concreto da alvenaria estrutural esta propriedade não é considerável, pois o preenchimento dos blocos são feitos de forma espaçada em uma parede, ou seja, entre blocos e blocos de micro concreto há vários blocos sem nenhum preenchimento.

7. CONCLUSÕES

A coleta do resíduo na fábrica de blocos de concreto não demandou nenhuma ação de seleção, pois durante o processo de fabricação não há nenhum outro material, além dos que já são usados no concreto, que possa vir a contaminar o resíduo.

Visualmente, o resíduo se mostrou como um material de granulometria pequena e variada assemelhando-se com uma mistura de pó de pedra com pedrisco, com 75% de suas partículas menores do que 4,8mm de diâmetro.

As análises das caracterizações da areia e do resíduo mostraram que o resíduo peneirado se enquadrou perfeitamente dentro dos limites da curva granulométrica para agregado miúdo, estabelecidos pela norma NBR 7211, assim como a areia. O mesmo aconteceu com o módulo de finura. Ambos os materiais se enquadraram dentro dos limites da norma, a areia se enquadra próxima ao limite inferior e o resíduo próximo ao limite superior da faixa granulométrica referente à zona ótima.

Apesar do peneiramento do resíduo, onde foram separados os grãos constituídos de brita, houve redução de sua massa unitária, o resíduo manteve este parâmetro maior em relação à areia.

Em relação às massas específicas, a areia e o resíduo peneirado se assemelharam, com o resíduo tendo um valor somente 2% mais baixo em relação à areia. Provavelmente, devido à porosidade da pasta de cimento que envolve os agregados que constituem o concreto do resíduo da fabricação dos blocos.

Os micros concretos dosados com $A/C = 0,6$ e contendo resíduos em sua composição tiveram uma menor fluidez (16%) em relação ao traço padrão, mas ainda sim acima do necessário para o total preenchimento dos alvéolos dos blocos de concreto. Para os micros concretos dosados com $A/C = 0,5$ (relação esta que na prática é utilizada na obra de referência do presente estudo), os resultados dos ensaios de consistência foram iguais. Acredita-se que o fator forma do grão tem influência nesta propriedade até um determinado limite da A/C . Conforme se diminui a A/C a influência do fator forma também diminui, chegando ao ponto de não influenciar na propriedade de consistência a uma $A/C = 0,5$.

Os ensaios de resistência a compressão do micro concreto com $A/C = 0,5$ e com 100% de resíduo apresentou uma pequena perda da resistência mecânica, quase irrisória (3%) em relação ao micro concreto feito com o traço padrão. Já o micro concreto com a substituição parcial apresentou uma perda de 13% em relação ao traço padrão. Para os micros concretos com a $A/C = 0,6$, tanto para o micro concreto

com a substituição parcial quanto para o com substituição em 100% apresentaram uma pequena queda da resistência mecânica na ordem de 2%. É fato que esta $A/C=0,6$ enfraqueceu o traço padrão, mas provavelmente para os traços com resíduos ao mesmo tempo em que os enfraqueceram ocorreram também hidratações das partículas de cimento não hidratadas presentes no resíduo, o que contribuiu para a pequena diferença entre as resistências mecânicas.

Os ensaios de resistência à compressão tanto os micros concreto dosados com $A/C = 0,6$ quanto os dosados com $A/C = 0,5$, apresentaram pequena perda da resistência mecânica em relação ao com o traço padrão, mas ainda acima da resistência mínima necessária para a aplicação nos alvéolos dos blocos de concreto de 6MPa.

Na avaliação da resistência a compressão do conjunto bloco/micro concreto, os preenchidos com micro concreto com resíduo apresentou uma pequena redução (6%) em relação ao conjunto com o traço padrão. Apesar de pequena, esta queda é maior do que a queda dos resultados dos ensaios de resistência à compressão dos micros concretos com resíduos estudados isoladamente, isso pode ser explicado, provavelmente pela variação da resistência do concreto de fabricação do bloco. Por ser composta por duas fases (bloco e micro concreto), este conjunto tem maior variação em relação ao micro concreto.

No que diz respeito à propriedade de absorção, o micro concreto com resíduo apresentou um menor percentual de absorção (10%) em relação ao micro concreto padrão. Por meio do ensaio de absorção, o bloco de concreto preenchido com micro concreto com resíduo, apresentou uma região com uma coloração mais clara, coloração típica de área seca ou com baixa umidade. Esta região estava na parte superior do bloco durante a imersão, ou seja, área de menor pressão.

Avaliando os resultados e paralelamente verificando a real necessidade de resistência e fluidez do micro concreto de preenchimento dos alvéolos dos blocos de concreto durante o erguimento da parede na alvenaria estrutural, conclui-se que é viável a substituição parcial ou total da areia pelo resíduo gerado na fabricação dos blocos de concreto no momento da prensagem, desde que o resíduo seja passado pela # 4,8mm. O presente estudo baseou-se em um traço de micro concreto com resistência à compressão de 12MPa com $A/C=0,6$ para ser aplicado em alvenarias de blocos de concreto estruturais de 6MPa de resistência à compressão, portanto os traços expostos neste trabalho só devem ser aplicados em alvenarias estruturais dimensionadas com blocos de concretos estruturais que suportem tensões inferiores à 6MPa.

Em se tratando de sustentabilidade o presente trabalho dá sua parcela de contribuição para a continuidade da consolidação desta prática, ora reduzindo os impactos ambientais gerados pelo descarte sem controle deste tipo de resíduo, ora diminuindo o consumo de matérias primas naturais e também reduzindo os custos de uma obra. Os fabricantes de blocos de concreto podem ter mais uma fonte de receita se optarem por comercializar o resíduo como agregado para a fabricação de micro concreto.

Os benefícios citados acima são potencializados pelo momento da construção civil no Brasil. O crescimento populacional somado à necessidade do governo em acelerar o crescimento do PIB e reduzir o déficit habitacional, fazem com que a construção civil esteja em uma fase de superaquecimento. O Governo Federal injetou recursos financeiros para financiar as construções de moradias através do Programa Minha Casa Minha Vida, construções estas que em quase sua totalidade são em alvenaria estrutural, o que gera o aumento da demanda por blocos de concreto e por consequência o aumento da geração de resíduos proveniente da fabricação destes blocos. A necessidade do correto gerenciamento deste resíduo faz com que este trabalho seja muito útil e interessante, pois além dos benefícios já citados acima, a gestão de resíduos é um dos requisitos obrigatórios que a Caixa Econômica Federal exige para a certificação do Selo Azul. Esta certificação é dada às empresas construtoras que utilizam soluções sustentáveis como o uso racional dos recursos naturais. Além do benefício ao meio ambiente o outro incentivo das construtoras para a busca do Selo Azul é que a empresa poderá estampar a logomarca deste certificado gerando um diferencial comercial, pois a imagem perante o público pode gerar valor e preferência de compra.

8. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Considerando o resíduo utilizado foi somente o proveniente da fabricação dos blocos de concreto, sugere-se estudar os resíduos gerados da quebra dos blocos de concreto no canteiro de obras.

Estudar outros traços com o objetivo de se alcançar resistências à compressão maiores do que as resistências apresentadas e por consequência ampliar a aplicação do micro concreto.

Estudar o concreto com a substituição da brita pelo resíduo.

Estudar a influência do resíduo no módulo de elasticidade do concreto.

Estudar o micro concreto com resíduo com aditivos plastificantes visando à diminuição da A/C, uma vez que foram consideráveis os ganhos de resistência mecânica quando esta relação foi diminuída.

Estudar o micro concreto com resíduos em alvenarias estruturais. (Ensaio mecânicos das alvenarias).

9. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ABDALA, R. A.; SANTOS, D. O.; PEREIRA, C. S. C.; MACHADO, D. V. L. M.; SANTANA, D. D.; LIMA, M. S. **Construção Civil: Cenários e Perspectivas**. Indicador Consultores Associados, Belo Horizonte, p. 2-8, 2011.

ALVES, M.S. **Estudo das Características e da Viabilidade do Uso de Resíduos Gerados no Polimento de Rochas Graníticas como Adição em Concretos**. 2008. 133p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

ANGULO, S. C. **Variabilidade de agregados graúdos de resíduos de construção e demolição reciclados**. 2000. 155p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

ANGULO, S. C.; ULSEN, C.; CARRIJO, P. M.; SILVA, R. M.; JOHN, V. M.; KAHN, H. Characterization of Brazilian construction and demolition waste coarse recycled aggregate. **International RILEM Conference on the Use of Recycled Materials in Buildings and Structures**. Barcelona, 2004. P. 87-96.

ANGULO, S. C.; ZORDAN, S.E.; JOHN V.M. **Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem de Resíduos na Construção Civil**. 2010. Artigo – PCC – Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica. Universidade de São Paulo.

ARENA OF EMPIRES. **Farol de Alexandria**. Disponível em: <<http://www.arenaofempires.com/blog/2009/01/09/farol-de-alexandria/>>. Acesso em: 21 janeiro 2012

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738: Concreto – Procedimento para molagem e cura de corpos de prova**. Rio de Janeiro, 2008.

_____. **NBR 6023: Informação e documentação: Referências - Elaboração**. Rio de Janeiro, 2002.

_____. **NBR 6136: Bloco vazado de concreto simples para alvenaria - Requisitos**. Rio de Janeiro, 2008.

_____. **NBR 7211: Agregados para concreto - Especificação**. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR 9935: Agregados - Terminologia**. Rio de Janeiro, 2011.

_____. **NBR 10004: Resíduos sólidos - Classificação**. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR 10007: Amostragem de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR 12655: Concreto de cimento Portland - Preparo, controle e recebimento - Procedimento**. Rio de Janeiro, 1996.

_____. **NBR 13118: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Métodos de ensaio.** Rio de Janeiro, 2011.

_____. **NBR 13276: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da Mistura e Determinação do Índice de consistência.** Rio de Janeiro, 2005.

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

_____. **NBR 15961 (1): Alvenaria Estrutural – Blocos de Concreto – Parte 1: Projeto.** Rio de Janeiro, 2011.

_____. **NBR 15961(2): Alvenaria Estrutural – Blocos de Concreto – Parte 2: Execução e controle de obras.** Rio de Janeiro, 2011.

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

_____. **NBR NM 52: Agregado Miúdo - Determinação da massa Específica e da Massa Específica Aparente.** Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR NM 68: Determinação da consistência pelo espalhamento na mesa de Graff.** Rio de Janeiro, 1998.

BEZERRA, S. **Minha Casa, Minha Vida: 1Milhão de Moradias Construídas.** Câmara Brasileira da Indústria da Construção. Notícia. Disponível em: < <http://www.cbic.org.br/sala-de-imprensa/noticia/minha-casa-minha-vida-1-milhao-de-moradias-construidas>>. Acesso em: 29 agosto 2012.

BREMNER, T. W. **The Future of Construction Materials in a Sustainable World. Second International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies.** Ancona, 2010. P. 59-68.

BUTTLER, A. M. **Uso de agregados reciclados de concreto em blocos de alvenaria estrutural.** 2007. 499p. Tese (Doutorado em Estrutura) - Escola de Engenharia de São Carlos/USP. São Paulo. 2007.

CAMACHO, J. S. **Projeto de edifícios de alvenaria estrutural.** Ilha Solteira. Universidade Estadual Paulista. São Paulo, 2006. (Notas de aula da disciplina Alvenaria Estrutural do curso de Pós Graduação em Engenharia Civil).

CARNEIRO, A.P.; CASSA, J.C.S.; BRUM, I.A.S. **Reciclagem de entulho para a produção de materiais de construção.** Projeto Entulho Bom. EDUFBA; Caixa Econômica Federal. Salvador. 312 p. 1ª edição. 2001.

CASTELO MEDIEVAL DE WINDSOR. **Castelo de Windsor: maravilhoso! – Inglaterra. Disponível em:** < <http://www.viagempelomundo.com/2011/06/castelo-de-windsor-inglaterra.html> >. Acesso em : 30 agosto 2012.

COELHO, R. A. **Alvenaria estrutural não armada para edifícios.** Belo Horizonte. Notas de Aula do Curso de Extensão em Dimensionamento de

Edifícios em Alvenaria Estrutural Não Armada. Krozai Aprimoramento Profissional – CREA-MG. Belo Horizonte, 2009.

CONDOMÍNIO CENTRAL PARK DA LAPA. **Banco de Obras – Alvenaria Estrutural. Disponível em:** < <http://www.comunidadeconstrucao.com.br/banco-obras/1/alvenaria-estrutural>>. Acesso em: 06 outubro 2011.

DRAGAGEM – ETAPA DO PROCESSO DE EXTRAÇÃO DA AREIA – **Jornal Contato. Disponível em:** < <http://jornalcontato.blogspot.com/2011/03/extracao-de-areia.html>>. Acesso em: 07 outubro 2012.

ENSAIO DE PRISMA DE BLOCOS DE CONCRETO ESTRUTURAIS. **Parâmetros para Dimensionamento de Alvenaria Estrutural. Disponível em:** < <http://www.consultoriaeanalise.com/2011/04/dimensionamento-alvenaria-estrutural.html>>. Acesso em: 02 setembro 2012.

FAROL DE ALEXANDRIA. **Maravilhas do Mundo Antigo. Disponível em:** < <http://www.arenaofempire.com/blog/2009/01/09/farol-de-alexandria/> >. Acesso em : 30 agosto 2012.

FERNANDES, I. D. **Blocos e Pavers: Produção e Controle de Qualidade.** 1ª Edição – Editora Treino Assessoria e Treinamentos Empresariais Ltda. São Paulo, 2008.

FRANCO, L. S. **Aplicação de diretrizes de racionalização construtiva para a evolução tecnológica dos processos construtivos em alvenaria estrutural não armada.** 1992. 319p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo. 1992.

GOMES, N. S. **A Resistência das Paredes em Alvenaria.** 1983. 190p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo. 1983.

HENDRIKS, C. F.; JANSSEN, G. M. T. Reuse and recycling of building materials. **International RILEM Conference on the Use of Recycled Materials in Buildings and Structures.** Barcelona, 2004. P. 316-321.

LEITE, M. B. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição.** 2001. 270p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2001.

MEDEIROS, J. S.; SABBATINI, F.H. **Alvenaria estrutural não armada de blocos de concreto: Produção de componentes e parâmetros de projeto.** Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP – Universidade de São Paulo. São Paulo, 1993.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estruturas, propriedades e materiais.** 2ª Edição. São Paulo: IBRACON, 2008.

MESA DE CONSISTÊNCIA. **Cimento – Consistência/Finura/Cal livre. Disponível em:** < <http://www.solocap.com.br/cimento.pdf>>. Acesso em : 19 junho 2012.

MIDC - **Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior.** Disponível em:

< <http://www.desenvolvimento.gov.br/sitio/interna/index.php?area=2> >. Acesso em : 23 agosto 2012.

MIDC – Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior
MONADNOCK BUILDING. **Monadnock Building.** Disponível em:
<<http://www.monadnockbuilding.com/index.html>>. Acesso em : 06 outubro 2011.

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE, PMBOK – **Guia do Conjunto de Conhecimentos em Gerenciamento de Projetos**, 2004.

RAMALHO, M. A.; CORREA, M. R. S. **Projeto de Edifícios de Alvenaria Estrutural**. 1ª Edição – Editora PINI. São Paulo, 2008.

RIBEIRO, S.; BATTISTELLE, R.A.G; TENÓRIO, J.A.S. **Inventário dos resíduos da construção civil na região metropolitana de São Paulo**. VI Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental – ABES-RS e PUCRS/FENG (SIQA). Porto Alegre, 2008.

ROCHA, S.; PRADA, R.; SOUZA, M. **Cresce a Construção de Edifícios de Alvenaria com Blocos de Concreto**. Mandarim Comunicação, 2011. Disponível em: < <http://www.blocobrasil.com.br/noticias-detalle.asp?cod=438>>. Acesso em: 06 janeiro 2012.

ROCHA, S. **Mercado de Blocos de Concreto Segue com Otimismo em Alta**. Mandarim Comunicação, 2011. Disponível em: < <http://www.blocobrasil.com.br/noticias-detalle.asp?cod=416>> Acesso em 02 setembro 2012.

RODRIGUES, E. **Agregados**. Livro para a Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola. Curso de Arquitetura e Urbanismo da UFRRJ – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <<http://www.ufrrj.br/institutos/it/dau/profs/edmundoo/Agregados.pdf>>. Acesso em: 17 novembro 2011.

SABBATINI, F. H. **O processo construtivo de alvenaria estrutural sílico-calcárea**. 1984. 298p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1984.

CLASSIFICAÇÃO – ETAPA DO PROCESSO DE EXTRAÇÃO DE PEDRA BRITADA. **Bentonite moinho e máquina Britador Bentonite Venda, Bentonita Fornecedor Plant Britador.** Disponível em: < <http://www.britadorpedra.com.br/blog/index.php/page/4/>>. Acesso em: 07 janeiro 2012.

SALVADOR FILHO, J. A. A. **Blocos de concreto para alvenaria em construções industrializadas**. 2007. 246p. Tese (Doutorado em Engenharia de Estrutura) - Escola de Engenharia de São Carlos/USP. São Carlos. 2007.

SILVA, A. F. F. **Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil de Acordo com a Resolução CONAMA Nº 307/02 – Estudo de Caso para um Conjunto de Obras de Pequeno Porte**. 2007. 102p. Dissertação (Mestrado em

Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

VASCONCELLOS, A. C.; FRANÇA, J. L. **Manual para Normatização de Publicações Técnico-Científicas**. 8ª Edição – Editora UFMG. Belo Horizonte 2007.

VASCONCELOS, J. R. **O Problema Habitacional no Brasil: Déficit, Financiamento e Perspectivas**. Texto para Discussão nº410 - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Brasília, 1996.

VISÃO AÉREA DE UMA DEGRADAÇÃO AMBIENTAL CAUSADA PELA EXTRAÇÃO DE PEDRA. **Pedreiras... Há algum Benefício???** – Unir II - União pela Ribeira. Disponível em:<
<http://unirii.blogspot.com/2007/11/pedreiras-h-algum-beneficio.html> >. Acesso em: 07 janeiro 2012.