

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

ALEXANDRE DOS SANTOS TAUBE

**CARACTERIZAÇÃO DE BLOCOS ESTRUTURAIS DE CONCRETO COM
AGREGADOS RECICLADOS**

DISSERTAÇÃO

CURITIBA

2019

ALEXANDRE DOS SANTOS TAUBE

**CARACTERIZAÇÃO DE BLOCOS ESTRUTURAIS DE CONCRETO COM
AGREGADOS RECICLADOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil – Materiais e Componentes de Construção.

Orientador: Prof. Dr. Adalberto Matoski

CURITIBA

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

Taube, Alexandre dos Santos

Caracterização de blocos estruturais de concreto com agregados reciclados recurso eletrônico / Alexandre dos Santos Taube.-- 2019.

1 arquivo de texto (84 f.): PDF; 1,23 MB.

Modo de acesso: World Wide Web.

Título extraído da tela de título (visualizado em 02 dez. 2019).

Texto em português com resumo em inglês.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. 2019.

Bibliografia: p. 78-84.

1. Engenharia civil - Dissertações. 2. Materiais de construção. 3. Blocos de concreto. 4. Resíduos como material de construção. 5. Agregados (Materiais de construção) - Normas. I. Matoski, Adalberto, orient. II. Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, inst. III. Título.

CDD: Ed. 22 -- 624

Biblioteca Ecoville da UTFPR, Câmpus Curitiba
Bibliotecária: Lucia Ferreira Littiere - CRB 9/1271

TERMO DE APROVAÇÃO DE DISSERTAÇÃO Nº 176

A Dissertação de Mestrado intitulada Modelo de Produção de Blocos Estruturais de Concreto com Agregados Reciclados, defendida em sessão pública pelo(a) candidato(a) **Alexandre dos Santos Taube**, no dia 30 de agosto de 2019, foi julgada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil área de concentração Construção Civil, e aprovada em sua forma final, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil .

BANCA EXAMINADORA:

Prof(a). Dr(a). Adalberto Matoski - Presidente - UTFPR

Prof(a). Dr(a). Lidiane Fernanda Jochem - UTFPR

Prof(a). Dr(a). Laila Valduga Artigas - UFPR

A via original deste documento encontra-se arquivada na Secretaria do Programa, contendo a assinatura da Coordenação após a entrega da versão corrigida do trabalho.

Curitiba, 30 de agosto de 2019.

Carimbo e Assinatura do(a) Coordenador(a) do Programa

Dedico este trabalho à minha família e amigos,
que sempre estiveram ao meu lado e me
apoiaram em todas as causas, independente
das condições.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente meu irmão Gabriel Taube, que me ajudou e me apoiou durante todo o processo de moldagem dos blocos desta pesquisa.

Agradeço meu amigo André Silveira, que também me ajudou no processo de moldagem dos blocos, e em especial a minha amiga Bianca Alves de Souza, quem além de me ajudar neste processo, colaborou também com o desenvolvimento do trabalho escrito.

Agradeço meu sócio Alexandre Casagrande que me apoiou e possibilitou que eu tivesse o tempo necessário para desenvolvimento desta pesquisa.

Agradeço também meu amigo Lucas Ramos pelas orientações referentes aos métodos de dosagem e métodos de ensaios de blocos de concreto.

Obrigado a você, minha amiga Tayna Lima, por me ajudar no desenvolvimento do trabalho escrito.

Agradeço meus colegas e amigos mestrandos e doutorandos que me auxiliaram durante essa jornada.

Agradeço também todos os colaboradores da UTFPR que de alguma forma me auxiliaram no desenvolvimento desta pesquisa, em especial o meu orientador Adalberto Matoski pelo suporte dado e o professor Arthur Medeiros pela ajuda no processo de aquisição do cimento utilizado nesta pesquisa.

“Se vi mais longe, foi porque estava sobre os ombros de gigantes.”

Sir Isaac Newton

RESUMO

TAUBE, Alexandre dos Santos. Caracterização de blocos estruturais de concreto com agregados reciclados. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

O setor da construção civil é um dos grandes responsáveis pelos resíduos gerados pela sociedade. O gerenciamento e a destinação correta dos Resíduos da Construção Civil (RCC's) tem se tornado uma tarefa cada dia mais árdua. Da mesma forma, a obtenção de matéria-prima adequada para produção de concreto é cada vez mais escassa. Tanto a reciclagem e reutilização dos resíduos de construção e demolição quanto a utilização de agregados reciclados estão se tornando práticas cada dia mais comuns. Diversas pesquisas vêm surgindo nos últimos tempos visando abrir novos mercados para utilização desses materiais reciclados. Neste contexto, o presente estudo analisou blocos de concreto estruturais classe A produzidos com agregados provenientes de RCC's reciclados. Os agregados provenientes de resíduo de concreto foram caracterizados e se diferenciaram dos agregados naturais quanto a sua granulometria mais fina, maior absorção de água, menor massa específica e menor massa unitária. Foram testados cinco traços com diferentes proporções de substituição dos agregados convencionais: 20%, 40%, 60%, 80% e 100%. Estes traços foram definidos em massa e de acordo com a granulometria dos materiais utilizados. Os blocos moldados com cada traço foram ensaiados de acordo com a NBR 15116, e os resultados foram comparados com o traço referência e com a NBR 6136. Os blocos com agregados reciclados apresentaram um aumento na absorção de água, redução na massa específica e redução na resistência à compressão. Estas variações se mostraram proporcionais às taxas de substituição de agregados. De acordo com a análise estatística dos resultados dos ensaios, apenas os blocos moldados com substituição de 20% de agregados reciclados não demonstraram diminuição significativa nas propriedades físicas e mecânicas, quando comparados ao traço referência. Estes blocos também foram os únicos, além dos moldados com o traço referência, a atender os requisitos de resistência à compressão e absorção de água definidos pela NBR 6136.

Palavras-chave: Bloco de concreto, agregado reciclado, agregado de resíduo de concreto.

ABSTRACT

TAUBE, Alexandre dos Santos. Characterization of structural concrete blocks with recycled aggregates. Dissertation (Master) - Postgraduate Program in Civil Engineering, Federal University of Technology – Paraná, Curitiba, 2019.

The construction sector is one of the biggest contributors to the waste generated by society. The correct disposal and management of construction waste is becoming an increasingly arduous task. In the same way, adequate raw material for concrete production is scarcer each day. Both recycling and reuse of construction and demolition wastes as well as the use of recycled aggregates are becoming more and more common practices. Several researches have been emerging recently aiming to open new markets for these recycled materials. In this context, the present study analyzed class A structural concrete blocks produced with aggregates from recycled construction waste. The aggregates derived from concrete waste were characterized and differed from the natural aggregates in their finer grain size, higher water absorption, lower specific mass and lower unit mass. Five mix ratios with different replacement ratios of conventional aggregates were tested: 20%, 40%, 60%, 80% and 100%. These mix ratios were defined by mass and according to the granulometry of the materials used. Blocks molded with each mix ratio were tested according to the NBR 15116 standard, and the results were compared with the reference ratio and the NBR 6136 standard. The blocks with recycled aggregates showed increased water absorption, reduction in specific mass and reduction in compressive strength. These variations were proportional to the aggregate replacement ratios. According to the statistical analysis of the tests results, only the blocks molded with 20% of recycled aggregates showed no significant decrease in physical and mechanical properties when compared to the reference mix ratio. These blocks were also the only ones, apart from those molded with the reference ratio, to meet the compressive strength and water absorption requirements defined by the NBR 6136 standard.

Key-words: Concrete block, recycled aggregate, concrete waste aggregate.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Número de usinas de reciclagem de RCC inauguradas ao longo dos anos no Brasil	22
Figura 2 – Zonas de transição de concreto com agregado reciclado.	27
Figura 3 – Sequência básica de funcionamento de uma vibro-prensa automática	31
Figura 4 – Fluxograma dos procedimentos experimentais.....	36
Figura 5 – Vibro-prensa utilizada para moldagem dos blocos.....	42
Figura 6 – Composição granulométrica dos agregados miúdos.....	47
Figura 7 – Composição granulométrica dos agregados graúdos.....	49
Figura 8 – Comparação da curva granulométrica dos traços com os limites recomendados por Fernandes (2015)	54
Figura 9 – Ponto de pelota – umidade ótima para moldagem dos blocos.....	55
Figura 10 – Blocos produzidos com o traço referência	57
Figura 11 – Blocos em processo de cura ao ar	57
Figura 12 – Média das massas dos blocos de cada traço	60
Figura 13 – Média das massas específicas dos blocos de cada traço	60
Figura 14 – <i>Boxplot</i> da massa dos blocos de cada traço	63
Figura 15 – Médias de absorção de água por imersão dos blocos.....	65
Figura 16 – Blocos sendo regularizados com argamassa.....	67
Figura 17 – Blocos regularizados para ensaio de resistência à compressão	68
Figura 18 – Ensaio de resistência à compressão.....	68
Figura 19 – Evolução da resistência mecânica à compressão dos blocos.....	69
Figura 20 – Resistência mecânica à compressão dos blocos aos 28 dias	71
Figura 21 – <i>Boxplot</i> da resistência mecânica à compressão de cada traço	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Quantidade total de RCC's coletados no Brasil em 2017	19
Tabela 2 - Usinas de reciclagem de RCC's do país	23
Tabela 3 - Taxas de absorção de agregados reciclados em função do tipo de componente	26
Tabela 4 - Requisitos para agregado reciclado destinado ao preparo de concreto sem função estrutural.....	33
Tabela 5 - Propriedades do cimento CP V-ARI utilizado na pesquisa	34
Tabela 6 - Ensaio de caracterização efetuados nos agregados.....	37
Tabela 7 - Limites granulométricos do agregado miúdo	38
Tabela 8 - Limites granulométricos do agregado graúdo.....	38
Tabela 9 - Limites recomendados do percentual retido acumulado do conjunto de agregados para a produção de blocos	39
Tabela 10 - Traços analisados	40
Tabela 11 - Ensaio efetuados nos blocos produzidos.....	43
Tabela 12 - Resultados dos ensaios de granulometria dos agregados miúdos	45
Tabela 13 - Resultados dos ensaios de granulometria dos agregados graúdo.....	48
Tabela 14 - Resultados dos ensaios de massa dos agregados.....	50
Tabela 15 - Resultados dos ensaios de absorção de água e umidade dos agregados.....	50
Tabela 16 - Correção da quantidade de água de acordo com a quantidade em massa de cada agregado	51
Tabela 17 - Proporção em massa de agregados para cada traço.....	52
Tabela 18 - Distribuição granulométrica da mistura de agregados de cada traço	53
Tabela 19 - Quantidade de material utilizada em cada traço	56
Tabela 20 – Resultados da análise dimensional dos blocos	58
Tabela 21 - Análise de massa dos blocos.....	59
Tabela 22 - ANOVA para os resultados de massa dos blocos	61
Tabela 23 - Comparações realizadas pelo teste Tukey (massa dos blocos).....	62
Tabela 24 - Resultados dos ensaios de absorção de água por imersão dos blocos.....	64
Tabela 25 - ANOVA para os resultados de absorção de água por imersão dos blocos.....	66
Tabela 26 - Comparações realizadas pelo teste Tukey (absorção de água por imersão).....	66
Tabela 27 - Evolução da resistência mecânica à compressão dos blocos	69
Tabela 28 - Resultados dos ensaios de resistência mecânica à compressão dos blocos aos 28 dias	70
Tabela 29 - ANOVA para os resultados de resistência à compressão dos blocos aos 28 dias.	72
Tabela 30 - Comparações realizadas pelo teste Tukey (resistência à compressão).....	72

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais

ARC – Agregado de Resíduo de Concreto

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

CP – Cimento Portland

DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral

NBR – Norma Brasileira

NM – Norma Mercosul

UTPFR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

RCC – Resíduo da Construção Civil

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	OBJETIVO	17
1.1.1	Objetivos específicos.....	17
1.2	JUSTIFICATIVA.....	17
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1	GERAÇÃO DE RCC	19
2.2	CONSUMO DE AGREGADOS NATURAIS	19
2.3	RECICLAGEM DE RCC.....	20
2.4	UTILIZAÇÃO DE RCC COMO AGREGADO NA PRODUÇÃO DE CONCRETO	24
2.4.1	Granulometria	24
2.4.2	Forma e textura dos agregados	25
2.4.3	Absorção de água.....	25
2.4.4	Resistência mecânica à compressão de concretos com agregados reciclados.....	26
2.5	CONCRETOS SECOS.....	27
2.5.1	Dosagem de concretos secos.....	28
2.5.2	Materiais empregados na produção de concretos secos	29
2.5.3	Equipamentos empregados na produção de peças de concreto seco.....	30
2.5.4	Cura de peças de concreto seco.....	31
2.6	BLOCOS COM AGREGADOS RECICLADOS	32
2.7	NORMATIZAÇÃO.....	32
3	METODOLOGIA	34
3.1	MATERIAIS.....	34
3.1.1	Cimento	34
3.1.2	Agregados naturais.....	35
3.1.3	Agregados reciclados	35
3.1.4	Aditivo	35
3.2	MÉTODOS	35
3.2.1	Caracterização dos agregados.....	36
3.2.2	Determinação dos traços.....	38
3.2.2.1	Relação entre Agregados.....	39

3.2.2.2	Relação Cimento/Agregados	40
3.2.2.3	Substituição por Agregados Reciclados	40
3.2.2.4	Quantidade de água	40
3.2.2.5	Quantidade de aditivo	41
3.2.3	Produção do concreto	41
3.2.4	Moldagem dos blocos.....	41
3.2.5	Cura dos blocos.....	42
3.2.6	Ensaio dos blocos	42
3.2.7	Análise estatística.....	43
4	RESULTADOS.....	45
4.1	CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS	45
4.1.1	Distribuição granulométrica dos agregados miúdos	45
4.1.2	Distribuição granulométrica dos agregados graúdos	48
4.1.3	Massa específica e massa unitária.....	49
4.1.4	Absorção de água e umidade	50
4.2	DETERMINAÇÃO DOS TRAÇOS	52
4.2.1	Relação entre agregados	52
4.2.2	Determinação da umidade e do tempo de vibro-compactação	54
4.3	DETERMINAÇÃO DOS TRAÇOS	56
4.4	MOLDAGEM DOS BLOCOS	56
4.5	ENSAIOS DOS BLOCOS.....	58
4.5.1	Análise dimensional	58
4.5.2	Peso e densidade	59
4.5.3	Absorção de água por imersão.....	63
4.5.4	Resistência à compressão	67
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	74
5.1	CONCLUSÃO DO ESTUDO.....	74
5.2	SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS.....	75
5.2.1	Testar outras proporções de substituição.....	75
5.2.2	Repetir o processo em uma fábrica de blocos.....	75
5.2.3	Substituir a areia artificial por outro material.....	76
5.2.4	Alterar o tipo de aditivo utilizado	76
5.2.5	Realizar ensaio de retração por secagem.....	76
5.2.6	Alterar os traços para produção de blocos Classe B	76

1 INTRODUÇÃO

O setor da construção civil é de suma importância para a economia brasileira. O Brasil possui mais de 120 mil empresas no ramo da construção, e emprega formalmente quase dois milhões de pessoas (IBGE, 2017). Mas o impacto positivo no produto interno bruto vem acompanhado de uma grande geração de resíduos, cujo impacto ambiental é muitas vezes negligenciado. Em 2017 foram gerados no país aproximadamente 45 milhões de toneladas de resíduos pela indústria da construção civil (ABRELPE, 2017).

Observa-se no cenário internacional uma clara demonstração da crescente conscientização ambiental. No Brasil, o pensamento voltado à proteção do meio ambiente e à sustentabilidade também já se encontra profundamente estabelecido. Os processos construtivos, assim como as construções em si, estão se modificando com o intuito de atender esta nova cultura. Enquanto os modelos de construção tradicional possuem um enfoque voltado para a qualidade, custo e cumprimento de prazos, o conceito de construção sustentável busca agregar, para além das características tradicionais, a minimização do consumo de recursos, da degradação ambiental, entre outros (DANTAS et al., 2015).

Como tentativa de amenizar a situação decorrente do grande volume de resíduos gerados pela indústria da construção civil, o governo brasileiro criou uma série de medidas. Em 2002, foi criado pelo CONAMA, Conselho Nacional do Meio Ambiente, a Resolução nº 307, estabelecendo assim, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos provenientes da construção civil (DONAT et al., 2008).

A cobrança para que o setor da construção civil incorpore práticas mais sustentáveis no desenvolvimento de suas atividades não é exercida apenas por órgãos fiscalizadores, mas também por parte de um mercado cada vez mais exigente e esclarecido com relação às questões ambientais. Neste cenário a reciclagem e reutilização de resíduos da construção civil (RCC) é uma alternativa ao desperdício do setor (PELISSARI, 2016).

Dentre as várias possibilidades de emprego dos resíduos da construção podemos citar: camadas de base e sub-base para pavimentação, coberturas primárias de vias, fabricação de argamassas de assentamento e revestimento, fabricação de concretos, fabricação de pré-moldados, camadas drenantes, etc (BRASILEIRO et al, 2015).

Diversos estudos vêm sendo desenvolvidos no sentido de obter um melhor entendimento sobre o comportamento deste material reciclado. Vários destes estudos buscam promover a utilização dos agregados reciclados na produção de concretos, analisando a influência do uso deste material em determinadas propriedades do concreto produzido (XIAO et al., 2013; BEHERA et al., 2014; SILVA, DE BRITO e DHIR, 2014; NEPOMUCENO, ISIDORO e CATARINO, 2018; ZHENG et al., 2018).

1.1 OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo caracterizar blocos estruturais feitos com agregados provenientes de resíduo de concreto (ARC's) para que atendam os requisitos estipulados pela NBR 6136 (ABNT, 2016) para blocos de classe A.

1.1.1 Objetivos específicos

Os objetivos específicos desta pesquisa são:

- Determinar as características dos agregados provenientes de resíduo de concreto (ARC's) para produção de blocos estruturais;
- Determinar as características alteradas nas propriedades de blocos de concreto estruturais devido ao uso de agregados provenientes de resíduo de concreto (ARC's).
- Determinar as proporções de substituição dos agregados naturais por agregados provenientes de resíduo de concreto (ARC's) que são capazes de produzir blocos que atendam os requisitos definidos NBR 6136 (ABNT, 2016) para blocos classe A.

1.2 JUSTIFICATIVA

Apesar das várias vantagens existentes nos agregados reciclados, a introdução de um novo produto no mercado da construção civil é sempre muito difícil. Trata-se de um setor bastante conservador, muitos produtos e métodos deixam de ser adotados por receio de seu comportamento e desempenho futuro. Por se tratar de um produto reciclado, muitas vezes tarjado equivocadamente pelo mercado como produto de qualidade inferior ou contestável, esta dificuldade se torna ainda maior. É necessário,

portanto, realizar estudos com o objetivo de verificar se a utilização de RCC em determinados materiais de construção atendem a critérios pré-estabelecidos.

A dificuldade de padronização dos agregados reciclados, devido à heterogeneidade de sua matéria-prima, é um problema que dificulta a sua utilização em canteiros de obras. A melhor solução para tal seria a utilização destes agregados em processos nos quais existe um controle tecnológico maior, por exemplo, em fábricas de pré-moldados.

Desta forma, o caminho que se apresenta como sendo o mais adequado para superar estas limitações envolve o desenvolvimento de aplicações onde produtos contendo agregado reciclado apresentem vantagens competitivas sobre os produtos tradicionais, pois provavelmente seja mais fácil encontrar mercado para estes produtos do que para o agregado isoladamente. Em longo prazo a abertura de novos mercados para agregados reciclados pode conduzir ao surgimento de novas centrais de reciclagem privadas, tornando este setor mais competitivo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 GERAÇÃO DE RCC

A geração de resíduos sólidos é um grande problema ambiental causado pela construção civil, representando de 50% a 70% da massa de resíduos sólidos urbanos gerados no país (BRASIL, 2005). De acordo com a Resolução nº 307 do CONAMA, os resíduos de construção civil são os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos (BRASIL, 2002);

Segundo o Panorama dos Resíduos Sólidos, estudo feito pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, o Brasil produziu mais de 120 mil toneladas de resíduos de construção e demolição por dia em 2017 (ABRELPE, 2017). Os dados levantados neste estudo são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Quantidade total de RCC's coletados no Brasil em 2017

Região	2017	
	RCD Coletado (ton/dia)	Índice (kg/hab/dia)
Norte	4.727	0,264
Nordeste	24.585	0,429
Centro-Oeste	13.574	0,855
Sudeste	64.063	0,737
Sul	16.472	0,556
BRASIL	123.421	0,594

Fonte: ABRELPE (2017) - Adaptado pelo Autor.

Em Curitiba a construção civil é responsável por 48% do total dos resíduos sólidos gerados, cerca de 3 mil metros cúbicos são produzidos diariamente na cidade (NASCIMENTO, 2010).

2.2 CONSUMO DE AGREGADOS NATURAIS

Além dos resíduos produzidos pela indústria da construção civil, a extração de matéria prima para este setor também causa um grande impacto ambiental. As extrações

de areias para utilização na construção civil estão entre as principais extrações minerais realizadas no Brasil. Tais extrações são realizadas em leitos de rios, planícies fluviais, cobertura sedimentar com acumulações arenosas e depósitos arenosos de acumulação das planícies lagunares, podendo provocar graves danos ao meio ambiente (NOGUEIRA, 2016).

Em 2015 a produção beneficiada de areia e de brita para construção no Brasil foi de aproximadamente 350 milhões e 258 milhões de toneladas respectivamente. Apesar de serem recursos abundantes, em alguns locais do país pode ocorrer escassez como já acontece nas regiões metropolitanas mais importantes do país, Rio de Janeiro e São Paulo. Nestes locais a distância entre os pontos de consumo e de extração aumentaram consideravelmente, aumentando conseqüentemente o preço destes agregados (DNPM, 2018).

O consumo de agregados no mundo superou 50 bilhões de toneladas no ano de 2017, em torno de 6,5 toneladas por pessoa, sendo o segundo recurso natural mais consumido, perdendo apenas para a água. A China e a Índia são responsáveis por metade deste consumo. Estimativas indicam que a China utilizou mais areia nesta década do que os Estados Unidos em todo o século XX. A demanda por agregados na Índia triplicou nos últimos 20 anos. Além dos impactos ambientais causados pela extração destes materiais, mercados de extração ilegal se desenvolveram por todo o mundo envolvendo gangues criminosas, como a chamada “Máfia da Areia” na Índia (BEISER, 2019; O'BRIEN, 2019; REGE, 2016).

Os resíduos de construção civil se apresentam como potenciais substitutos destes materiais, uma vez que estudos tanto de caracterização tecnológica, quanto de rotas de tratamento, e mesmo de modelos dinâmicos visando o gerenciamento desses resíduos em nível municipal, têm sido cada vez mais frequentes (LIMA, 2013).

2.3 RECICLAGEM DE RCC

A reciclagem se apresenta, sem dúvida, como a melhor alternativa para reduzir o impacto ambiental causado pela geração desenfreada de resíduos. Esta tem potencial para reduzir os volumes de resíduos depositados em aterros, diminuir custos e preservar os recursos naturais (MARINKOVIC et al., 2010). Assim, nos últimos anos vem sendo incentivada em todo o mundo, seja por questões políticas, econômicas ou ecológicas.

A primeira grande utilização de resíduos de construção civil ocorreu na Alemanha após o fim da segunda guerra mundial. Com o fim da guerra a quantidade de entulho encontrada nas cidades devastadas era gigantesca, estima-se entre 400 e 600 milhões de metros cúbicos. A necessidade de matéria-prima para reconstruir os centros urbanos aliada a escassez de jazidas nessa região e a falta de local de destino para o imenso volume de resíduos fizeram com que estes fossem reaproveitados. Na Alemanha as estações de reciclagem produziram cerca de 11,5 milhões de metros cúbicos de agregado reciclado de alvenaria e 175.000 unidades habitacionais foram construídas com este material. (SCHULZ e HENDRICKS, 1992; PINTO, 1999; LEVY e HELENE, 2002; JOHN e AGOPYAN, 2003).

Aos poucos, a reciclagem de resíduos mostrou-se bastante promissora e a técnica difundiu-se por diversos outros países, como França, Holanda, Dinamarca, Suíça, Estados Unidos e Japão. Essa prática encontra-se de forma avançada nestes países, sendo que alguns deles possuem índices de reciclagem entre 50% e 90% do RCC gerado (ANGULO, 2005).

A diretiva 2008/98/CE da União Europeia propõe que haja reuso, reaproveitamento e reciclagem de pelo menos 70% dos resíduos de construção e demolição, em todos os países membros, até o ano de 2020. Aliado a isso, espera-se que as novas edificações incluam pelo menos 5% de materiais reciclados (HIETE, 2013; SILVA, DE BRITO e DHIR, 2014).

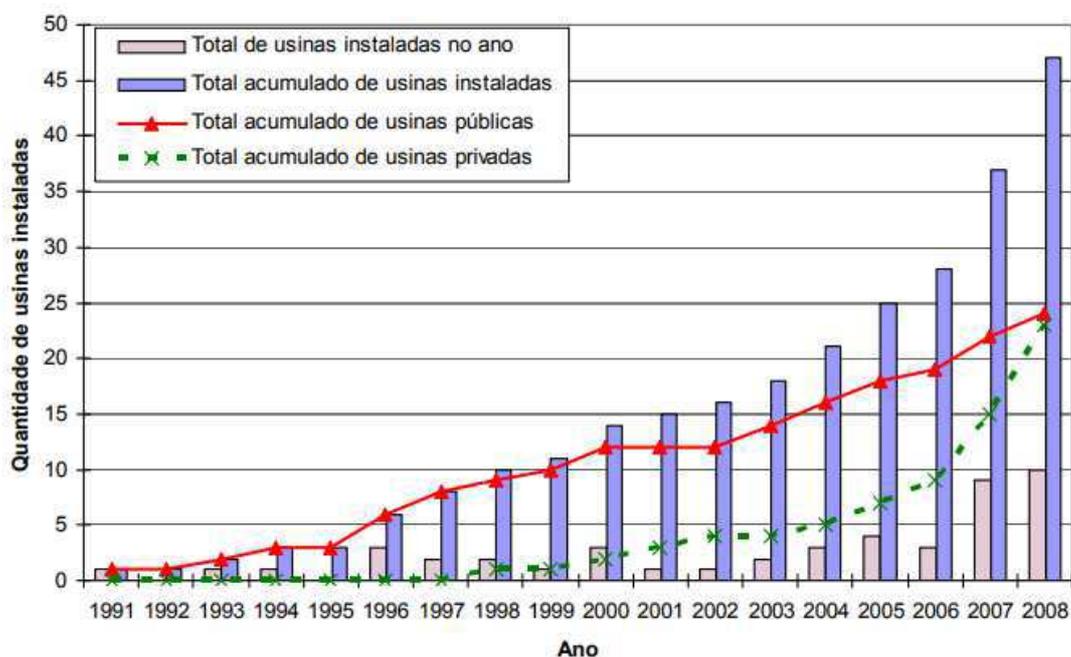
No cenário nacional a reciclagem ainda é pouco expressiva se comparada a de países de primeiro mundo, com percentual menor que 5% dos resíduos produzidos anualmente pelo setor da construção (CAPELLO, 2006).

O primeiro estudo sistemático para a utilização de resíduos de construção civil no país foi concluído em 1986, pelo arquiteto Tarcísio de Paula Pinto (PINTO, 1986). Sua pesquisa consistiu em estudar o uso do resíduo para produção de argamassas. Entretanto, a reciclagem de resíduos de construção teve início efetivo no país apenas em 1991, em Belo Horizonte.

Nos últimos anos, apenas alguns municípios do Brasil desenvolveram políticas adequadas para os resíduos de construção civil. São Paulo, Santo André, Londrina, Curitiba, Belo Horizonte, São José dos Campos, São Carlos e Ribeirão Preto, são exemplos de cidades que contam com usinas de reciclagem de resíduos (CABRAL, 2007).

O Brasil contava em 2008 com 47 usinas de reciclagem de resíduos de construção civil, das quais 51% eram públicas e 49% privadas (MIRANDA, ANGULO e CARELI 2009). O crescimento do número de usinas de reciclagem de RCC no país até este ano é apresentado em gráfico na Figura 1.

Figura 1 – Número de usinas de reciclagem de RCC inauguradas ao longo dos anos no Brasil.



Fonte: MIRANDA, ANGULO E CARELI (2009).

Na Tabela 2 é apresentado o resultado do levantamento feito por Miranda, Ângulo e Careli (2009) listando as fábricas de reciclagem de RCC's do país, o proprietário de cada uma, seu ano de instalação, sua capacidade e sua situação em 2008.

Tabela 2 - Usinas de reciclagem de RCC's do país

Cidade	Propriedade	Instalação	Cap. (t/h)	Situação
São Paulo/SP	Prefeitura	1991	100	Desativada
Londrina/PR	Prefeitura	1993	20	Desativada
B. Horizonte/MG	Prefeitura	1994	30	Operando
B. Horizonte/MG	Prefeitura	1996	20	Operando
Ribeirão Preto/SP	Prefeitura	1996	30	Operando
Piracicaba/SP	Autarquia/Emdhap	1996	15	Operando
São José dos Campos/SP	Prefeitura	1997	30	Desativada
Muriae/MG	Prefeitura	1997	8	Desativada
São Paulo/SP	ATT Base	1998	15	Desativada
Macaé/SP	Prefeitura	1998	8	Desativada
São Sebastião/DF	Adm. Regional	1999	5	Desativada
Socorro/SP	Irmãos Preto	2000	3	Operando
Guarulhos/SP	Prefeitura/Proguaru	2000	15	Operando
Vinhedo/SP	Prefeitura	2000	15	Operando
Brasília/DF	Caenge	2001	30	Operando
Fortaleza/CE	Usifort	2002	60	Operando
Ribeirão Pires/SP	Prefeitura	2003	15	Desativada
Ciríaco/RS	Prefeitura	2003	15	Desativada
São Gonçalo/RJ	Prefeitura	2004	35	Paralisada
Jundiaí/SP	SMR	2004	20	Operando
Campinas/SP	Prefeitura	2004	70	Operando
São Bernardo do Campo/SP	Urbem	2005	50	Operando
São Bernardo do Campo/SP	Ecoforte	2005	70	Desativada
São José do Rio Preto/SP	Prefeitura	2005	30	Operando
São Carlos/SP	Prefeitura/Prohab	2005	20	Operando
B. Horizonte/MG	Prefeitura	2006	40	Operando
Ponta Grossa/PR	P. Grossa Amb.	2006	20	Operando
Taboão da Serra/SP	Estação Ecologia	2006	20	Operando
João Pessoa (PB)	Prefeitura/Emlur	2007	25	Operando
Caraguatatuba/SP	JC	2007	15	Operando
Colombo/PR	Soliforte	2007	40	Operando
Limeira/SP	RL Reciclagem	2007	35	Operando
Americana/SP	Cemara	2007	25	Operando
Piracicaba/SP	Autarquia/Semae	2007	20	Operando
Santa Maria/RS	GR2	2007	15	Operando
Osasco/SP	Inst. Nova Agora	2007	25	Instalando
Rio das Ostras/RJ	Prefeitura	2007	20	Instalando
Brasília/DF	CAENGE	2008	30	Operando
Londrina/PR	Kurica Ambiental	2008	40	Operando
São Luís/MA	Limpel	2008	40	Operando
São J. dos Campos/SP	RCC Ambiental	2008	70	Operando
Paulínia/SP	Estre Ambiental	2008	100	Operando
Guarulhos/SP	Henfer	2008	30	Instalando
Barretos/SP	Prefeitura	2008	25	Instalando
São José dos Campos/SP	Julix - Enterpa	2008	25	Instalando
Petrolina/PE	Prefeitura	2008	25	Instalando
Itaquaquecetuba/SP	Entrec Ambiental	2008	40	Instalando

Fonte: MIRANDA, ANGULO E CARELI (2009).

Observa-se que parte destas usinas de reciclagem encontravam-se desativadas naquela época. Isso se deve ao abandono de políticas públicas de reciclagem dos resíduos de construção civil por parte de diversos municípios (MIRANDA, ANGULO e CARELI 2009).

2.4 UTILIZAÇÃO DE RCC COMO AGREGADO NA PRODUÇÃO DE CONCRETO

Há anos se discute e estuda a possibilidade da utilização de resíduos de construção civil em concretos. A incorporação de materiais reciclados ao concreto pode ser considerada uma boa alternativa para a conservação de energia e de recursos naturais, além de aumentar a vida útil das áreas de disposição de resíduos e diminuir os pontos de descarte clandestinos. O uso do agregado reciclado na produção de concretos permitirá transformar cada estrutura em um pequeno aterro de inertes, ajudando a minimizar os problemas ambientais e reduzir custos (GOLDSTEIN, 1995; BANTHIA e CHAN, 2000; DUMET e PINHEIRO, 2000).

Entretanto para isto, primeiramente deve-se analisar diversos aspectos dos agregados reciclados. Dentre as características mais importantes a serem estudadas para a utilização de agregados em concretos estão a granulometria, a absorção de água, a forma e a textura dos agregados (MEHTA e MONTEIRO, 2014).

2.4.1 Granulometria

A granulometria dos agregados exerce influência sobre a trabalhabilidade dos concretos no estado fresco. Por isso, devem ser tomados cuidados com a composição granulométrica dos agregados com o intuito de produzir misturas de concreto trabalháveis sem a necessidade de aumentar a quantidade de pasta de cimento para tal, pois isso acarretaria num aumento do custo dos concretos produzidos (BARRA, 1996).

A granulometria dos agregados miúdo e graúdo reciclado deve obedecer às especificações das Normas Brasileiras. Entretanto, os agregados reciclados tendem a possuir maior quantidade de finos que os agregados naturais, característica resultante do processo de britagem do material (BANTHIA e CHAN, 2000).

Este excesso de finos da fração miúda pode ser descartado, buscando a melhoria na qualidade do concreto. Na Holanda, Van Der Wegen e Haverkort (1998)

avaliaram o efeito da realização de uma lavagem sobre a fração de agregados miúdos produzidos e constataram que tal processo pode reduzir a quantidade de partículas finas no agregado.

2.4.2 Forma e textura dos agregados

A forma e a textura dos agregados exercem uma influência muito grande na produção de concretos, principalmente sobre a trabalhabilidade, compacidade, ângulo de atrito interno e quantidade da água de amassamento necessária à mistura (BEHERA et al., 2014).

A textura dos agregados reciclados é mais rugosa e porosa do que a dos agregados naturais, que tende a ser mais plana e lisa. A maior porosidade deve-se à camada de argamassa original que permanece aderida aos grãos do agregado reciclado (PELISSARI, 2016).

Além da rugosidade, os agregados reciclados de concreto, depois de britados, possuem formas mais angulares, diferentemente dos agregados naturais, que possuem superfícies mais lisas e arredondadas. Isto faz com que os agregados reciclados possuam uma relação superfície/volume maior que a dos agregados naturais. Este fato resulta em uma maior fricção interna dos agregados reciclados, diminuindo assim a trabalhabilidade do concreto produzido (MOREIRA, 2010).

Por outro lado, os poros superficiais do agregado reciclado promovem uma maior absorção da pasta de cimento, quando comparado ao material natural, resultando numa melhor aderência entre os agregados e a pasta de cimento, proveniente da ancoragem mecânica entre estes materiais. Além disso, a textura superficial, o tamanho da partícula e a forma do agregado são fatores que influenciam bastante a aderência entre o agregado e a matriz de concreto. O material reciclado, pelo fato de possuir uma maior área específica, contribui com uma maior área de aderência entre a argamassa e o agregado (PIETERSEN e FRAAY, 1998; SAGOE-CRENTSIL, TAYLOR e BROWN, 2001).

2.4.3 Absorção de água

A taxa de absorção de água de agregados reciclados é consideravelmente superior à de agregados convencionais (MEFTEH et al., 2013). Meng, Ling, e Mob (2018) analisaram os resultados de diversos estudos publicados sobre a utilização de

agregados reciclados e compararam alguns valores de absorção de água de acordo com o tipo de material reciclado. Os valores encontrados em seu estudo estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Taxas de absorção de agregados reciclados em função do tipo de componente

Componente reciclado	Aparência	Absorção (%)
Resíduo de concreto		3,1% ~ 14,2%
Material cerâmico		15,4% ~ 19,1%

Fonte: MENG, LING, e MOB (2018).

A alta absorção de água destes agregados reduz a quantidade de água livre nas misturas de concretos produzidos. Desta forma ocorre uma diminuição na plasticidade e trabalhabilidade destes concretos (ISMAIL e RAMLI, 2014). Uma alternativa que tem se mostrado viável para reduzir este efeito é a pré-molhagem dos agregados reciclados. Com este método os agregados são utilizados no estado saturado superfície seca, não havendo absorção por parte deles da água de amassamento necessária à mistura (CABRAL et al., 2010; MEFTEH et al., 2013).

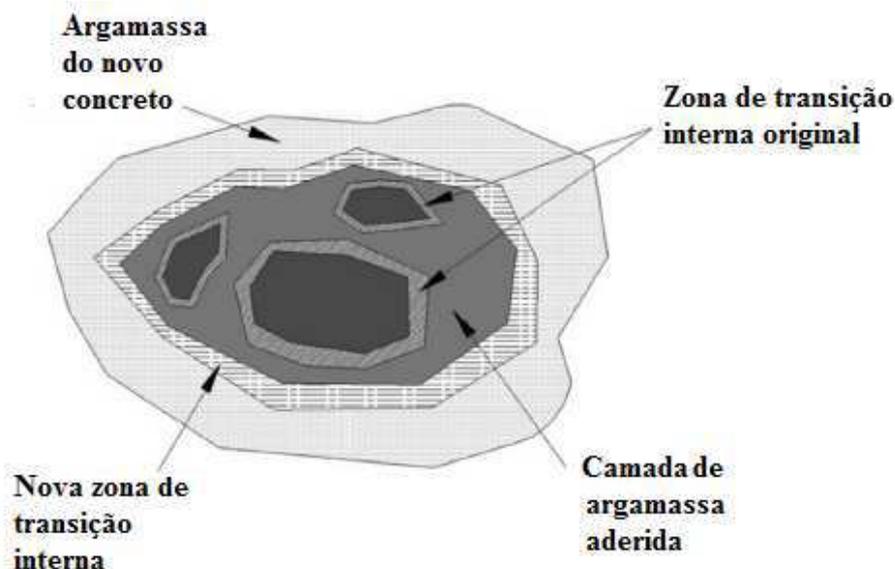
2.4.4 Resistência mecânica à compressão de concretos com agregados reciclados

Concretos produzidos com agregados reciclados apresentam uma resistência à compressão inferior à de concretos com agregados convencionais. Esta resistência à compressão diminui conforme aumenta o teor de substituição dos agregados naturais por agregados reciclados (FOLINO e XARGAY, 2014; PENG et al., 2013).

Esta redução na resistência à compressão é proveniente de uma segunda zona de transição existente nos concretos produzidos com agregados reciclados: a zona de transição entre o agregado reciclado e sua camada de argamassa original (Figura 2).

Esta zona de transição pode representar o elo mais fraco da mistura, quando sua resistência for menor que a resistência da nova zona de transição (BUTTLER, 2003; LI et al., 2012).

Figura 2 – Zonas de transição de concreto com agregado reciclado.



Fonte: KHOSHKENARI et al. (2014).

Entretanto, pode ser intuitivamente percebido, que o desempenho de agregados obtidos por reciclagem vai depender diretamente da composição do resíduo utilizado. Desta maneira, agregados reciclados provenientes da britagem de resíduos de concretos de boa qualidade podem possuir características de resistência semelhantes à de agregados naturais (AGRELA e ALAEJOS, 2013).

2.5 CONCRETOS SECOS

Os concretos secos, ou de slump zero, são assim denominados por possuírem depois de misturados e homogêneos, uma consistência, medida pelo abatimento do tronco de cone (Slump Test), igual à zero. A consistência desse tipo de concreto se assemelha ao da terra úmida, diferindo-se daquele normalmente utilizado em estruturas, de consistência plástica. Neste último, a pasta ocupa praticamente todos os espaços vazios intergranulares deixados pelos agregados, enquanto que no concreto seco existe a presença significativa de ar aprisionado em seu interior. Desta maneira há a necessidade de retirar o ar aprisionado na mistura, sendo esta função feita por máquinas que

conferem compacidade a mistura. Este tipo de concreto é utilizado na produção de uma série de artefatos de concreto, por possuir a característica de não aderir às paredes dos moldes (DANTAS FILHO, 2004). Segundo Ferreira Júnior (1985) o adensamento deste tipo de concreto pode ser feito por equipamentos hidráulicos, pneumáticos ou manuais.

As peculiaridades deste concreto fazem com que os seus métodos de dosagem também sejam distintos e várias regras existentes para concretos plásticos nem sempre podem ser aplicadas. É o caso da Lei de Abrams, consagrada para os concretos plásticos, lei segundo a qual a resistência do material se relaciona diretamente com a relação água/cimento e é aumentada com menores proporções possíveis de água, e que não se aplica para concretos secos (TANGO, 1984).

Para os concretos secos, existe uma umidade ótima na qual se consegue obter misturas com melhor compacidade, muito semelhante ao que ocorre na compactação de solos. Entretanto, existe uma quantidade limite de umidade acima da qual não é possível a produção das peças, por dificuldade de desforma por aderência aos moldes ou perda do formato adequado após desforma (TANGO, 1984).

A umidade de moldagem das misturas, caracterizada pela Lei de Lyse, lei que define que para um dado grupo de materiais, existe uma relação água/materiais secos constante para obter-se uma dada trabalhabilidade, deve-se situar entre 6% e 8%, de forma a possibilitar uma moldagem sem excesso ou falta de água (FRASSON JÚNIOR, 2000).

2.5.1 Dosagem de concretos secos

Define-se como dosagem o estudo realizado para fixar as quantidades dos materiais constituintes do concreto, visando obter as características desejadas. Ferreira Júnior (1985) define as seguintes características desejadas para os concretos secos:

- Coesão no estado fresco, de forma que as peças concretadas possam ser desmoldadas e transportadas sem que seu formato seja alterado;
- Máxima compacidade do material, para que a absorção de água das peças seja mínima;
- Resistência das peças compatível com a aplicação a que se destina;
- Aspecto superficial das peças (rugosidade das faces).

Os métodos mais conhecidos para dosagem de concreto seco são:

- Método ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland): baseado no proporcionamento entre agregados que resultar na maior compacidade possível;
- Método Besser (Besser Company): baseado no ajuste de traço pela granulometria final das misturas.

Entretanto, a maioria dos fabricantes de artefatos de concreto no Brasil não aplica qualquer método racional na dosagem do concreto. Normalmente, adota-se um método empírico de proporcionamento de materiais baseado em séries de tentativa e erro (FERNANDES, 2015).

Para a dosagem da quantidade de água, uma verificação empírica de que a umidade da mistura esteja em condições de produção dos artefatos de concreto, é que ao moldar uma pelota de concreto fresco nas palmas das mãos, que esta não se esfale ou suje as mãos em excesso. Dessa forma, determina-se a umidade ótima de produção pelo chamado “ponto de pelota” (FELIPE, 2010).

2.5.2 Materiais empregados na produção de concretos secos

Os materiais adequados para a produção de concretos convencionais também são adequados para a produção de concretos secos. Entretanto, devem ser levadas em consideração as peculiaridades intrínsecas de cada processo (SOUSA, 2001).

Os materiais utilizados na produção de concretos secos se resumem em aglomerante, agregados, água e, eventualmente, aditivos e corantes (dependendo do tipo de peças a serem concretadas). Como agregados normalmente são utilizados: pedrisco, areia natural ou areia artificial (também denominada pó de pedra) ou a mistura desses materiais, desde que de acordo com as especificações da NBR 7211 (ABNT, 2009), que determina as características necessárias a agregados para seu uso em concreto. Como aglomerante é indicado o uso de cimento CP V-ARI, pelo fato deste possuir a característica de conferir elevadas resistências mecânicas já nas primeiras idades, possibilitando o uso das peças concretadas mais rapidamente (PRUDÊNCIO JÚNIOR et al., 2002).

O cimento Portland de alta resistência inicial (CP V-ARI) é largamente utilizado na produção industrial de artefatos de concreto onde se exige desforma rápida, concreto protendido pré e pós-tensionado, pisos industriais, argamassa armada e concreto dosado em central (POUEY, 2006).

Conforme a norma NBR 16697 (ABNT, 2018), este tipo de cimento apresenta alta reatividade em baixas idades em função de seu grau de moagem. O clínquer utilizado em sua produção é o mesmo de um cimento convencional, entretanto permanece no moinho por um tempo mais prolongado. Este tipo de cimento possui adição de materiais carbonáticos, devendo este não ultrapassar 10% da massa do material. A ausência de pozolana não o recomenda para concretos com agregados reativos (ABCP, 1997).

2.5.3 Equipamentos empregados na produção de peças de concreto seco

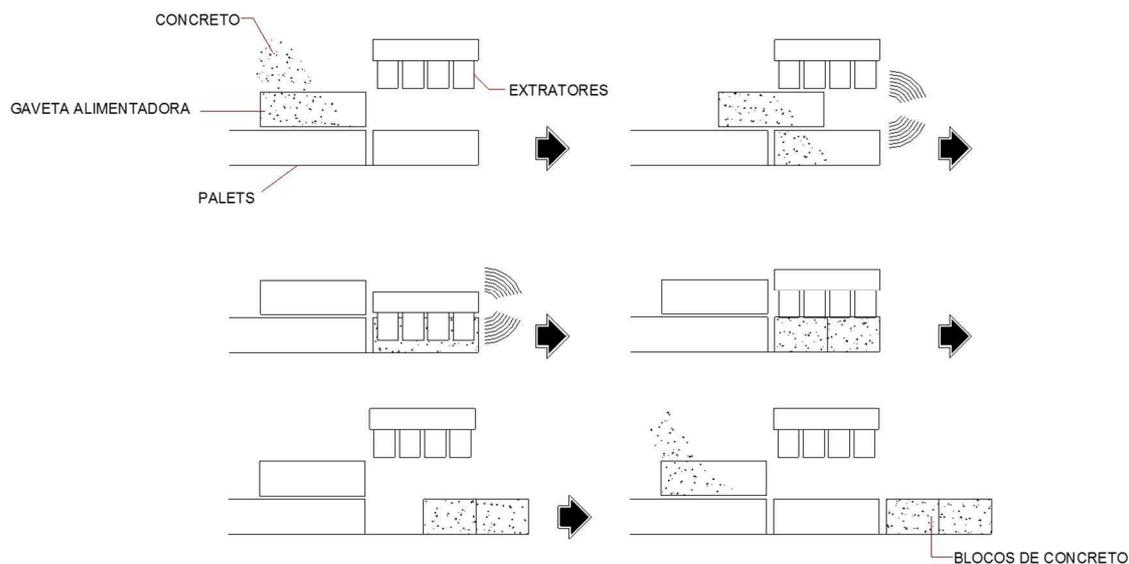
Para a moldagem de artefatos de concreto seco, é necessário que seja realizada a retirada do ar aprisionado dentro da mistura de concreto. Para isto são utilizados equipamentos denominados vibro-prensas. Estes equipamentos recebem esta denominação devido ao mecanismo de funcionamento empregado durante o processo de moldagem dos elementos pré-fabricados: vibração associada à prensagem. A primeira função é responsável pelo preenchimento do molde e adensamento da mistura, enquanto que a segunda, influencia o adensamento e o acabamento dos blocos (SOUSA, 2001).

Medeiros (1994) apresenta a sequência de funcionamento das vibro-prensas durante a moldagem dos blocos, resumindo a nas seguintes etapas:

- Preenchimento da gaveta alimentadora com a mistura destinada à moldagem dos artefatos;
- Preenchimento do molde metálico onde os artefatos são moldados, fase acompanhada pela vibração do molde;
- Compactação dos artefatos por extratores, fase acompanhada por nova vibração do molde, finalizando quando a altura desejada para os artefatos é atingida;
- Desforma dos artefatos logo após o término da operação anterior, fase em que extratores permanecem imóveis, enquanto o molde ascende, permitindo que os artefatos permaneçam sobre o palett onde foram moldados;
- O palett com os artefatos recém moldados avançam para frente da máquina, enquanto um novo palett vazio ocupa seu lugar sobre o molde;
- O molde metálico desce então para a sua posição original, enquanto os extratores ascendem, preparando-se para um novo ciclo.

Na Figura 3 apresenta-se esta sequência de funcionamento.

Figura 3 – Sequência básica de funcionamento de uma vibro-prensa automática



Fonte: MEDEIROS (1994).

O tempo de vibração irá variar conforme a máquina de moldagem e as características do concreto fresco, sendo que o importante é que seja conhecido e rigorosamente controlado, por meio de cronômetro ou de sistema automático de medição. Este tempo será o mínimo necessário para proporcionar aos artefatos a compactação necessária para alcançar as características essenciais mínimas das peças produzidas (resistência e absorção de água). Em condições normais de moldagem, é sugerido que o tempo de vibração das peças varie de 3 à 5 segundos, dependendo do tipo e potência do sistema de vibração (MEDEIROS, 1994).

2.5.4 Cura de peças de concreto seco

Define-se como processo de cura o conjunto de operações que visa proporcionar aos artefatos concretados, durante certo tempo, condições de umidade, temperatura e pressão, necessários a uma adequada reação de hidratação do cimento. Qualquer alteração nessas condições pode refletir diretamente nas características finais dos artefatos (TANGO, 1984).

Sousa (2001) apresenta três tipos de cura que costumam ser utilizadas na produção de pré-moldados de concreto:

- Cura por autoclaves;
- Cura natural ou ao ar livre;

- Cura em câmara de vapor.

Mehta e Monteiro (2014) consideram sete dias como um período mínimo de cura ao ar livre para concretos contendo cimento Portland comum, sendo desejável, porém, períodos mais longos para concretos contendo cimentos compostos ou com adições minerais, de modo a garantir a contribuição das reações pozolânicas na resistência do material.

2.6 BLOCOS COM AGREGADOS RECICLADOS

Nos últimos anos diversas pesquisas vêm sendo desenvolvidas visando a utilização de agregados reciclados na produção de blocos de concreto (GHERNOUTI et al., 2016; LIU, HOSSAIN e LING, 2018; PAVLU et al., 2019).

Em estudo realizado por Buttler (2007), a substituição de agregados naturais por agregados reciclados na produção de blocos estruturais de concreto encontrou resultados positivos, atingindo as resistências necessárias para as classes de blocos de 4,5 MPa, 8,0 MPa e 12,0 MPa, com um custo de produção inferior ao de blocos com agregados convencionais. Outros estudos demonstraram um bom potencial para incorporar resíduos como agregados em blocos de concreto, em alguns casos com características superiores ao de blocos com agregados convencionais. (ZHAN et al., 2016; KOU et al., 2012; HOSSAIN et al., 2017)

Embora geralmente os blocos produzidos com agregados reciclados apresentem redução da resistência à compressão e aumento da absorção de água, estes blocos podem satisfazer os requisitos necessários ajustando as taxas de substituição dos agregados convencionais (MENG, LING, e MOB, 2018).

2.7 NORMATIZAÇÃO

Até 2002, o Brasil não dispunha de leis e resoluções para os resíduos gerados pela Construção Civil. Foi então criada pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente a Resolução nº 307, que estabelece critérios e procedimentos para a gestão desses resíduos (KARPINSKI et al., 2008).

Em 2004, a ABNT definiu por meio da NBR 15116 os requisitos para o emprego de agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil (Tabela 4).

Tabela 4 - Requisitos para agregado reciclado destinado ao preparo de concreto sem função estrutural

Propriedades	Agregado reciclado – Classe A				Normas	
	ARC		ARM		Agr.	Agr.
	Miúdo	Graúdo	Miúdo	Graúdo	Graúdo	miúdo
Proporção de fragmentos compostos por cimento e rochas	-	≥ 90%	-	≤ 90%	-	-
Absorção (%)	≤ 12%	≤ 7%	≤ 17%	≤ 12%	NBR NM 30	NBR NM 53
Contaminantes (proporção máxima em relação a massa de agregado reciclado)	Cloretos		≤ 1%		NBR 9917	
	Sulfatos		≤ 1%		NBR 9917	
	Materiais não-minerais (madeira, plástico, betume, vidro e materiais carbonizados)		≤ 2%		-	-
	Partículas de argila		≤ 2%		NBR 7218	
	Máxima proporção de contaminantes		≤ 3%		-	
Materiais passando na peneira 0,075mm	≤ 15%	≤ 10%	≤ 20%	≤ 10%	NBR NM 46	

Fonte: NBR 15116 (ABNT, 2004)

Devido ao fato de estabelecer parâmetros apenas para aplicações não estruturais, esta norma é menos rigorosa com relação a alguns requisitos. Desta forma, especificar valores mais restritivos para as propriedades destes materiais pode ser uma maneira de permitir a utilização dos agregados reciclados em aplicações estruturais (DE BRITO e SAIKIA, 2013; PELISSARI, 2016).

3 METODOLOGIA

Neste capítulo serão apresentados os materiais e métodos utilizados no desenvolvimento desta pesquisa.

3.1 MATERIAIS

Foram utilizados nesta pesquisa os seguintes materiais:

- cimento Portland CP V com alta resistência inicial;
- agregados naturais: areia artificial, areia e brita 0;
- agregados reciclados: areia e brita 0;
- aditivo incorporador de ar;

3.1.1 Cimento

Foi utilizado cimento CP V-ARI, de acordo com os padrões adotados pelas fábricas de blocos da região. Este cimento enquadra-se nas especificações da NBR 16697 (ABNT, 2018) sendo que suas características e propriedades foram obtidas junto ao fabricante e estão apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5 - Propriedades do cimento CP V-ARI utilizado na pesquisa

Parâmetros Químicos		
Teores	Resultados	Limites NBR 16697
Resíduo Insolúvel - RI	1,60%	≤ 6,5%
Perda ao fogo - PF	5,60%	≤ 3,5%
Óxido de Magnésio (MgO)	6,20%	≤ 6,5%
Trióxido de enxofre (SO ₃)	2,80%	≤ 4,5%
Parâmetros físicos e mecânicos		
Características e Propriedades	Resultados	Limites NBR 16697
Resistência à compressão - 1 dia	25 MPa	≥ 14MPa
Resistência à compressão - 3 dias	36 MPa	≥ 24MPa
Resistência à compressão - 7 dias	42 MPa	≥ 34MPa
Resistência à compressão - 28 dias	49 MPa	-
Massa específica	3,13 g/cm ³	-
Tempo de início de pega	210 min	≥ 60 min
Tempo de fim de pega	285 min	-

Fontes: Adaptado do fabricante e da NBR 16697 (ABNT, 2018).

3.1.2 Agregados naturais

Tanto a areia artificial quanto a brita 0 utilizadas possuem origem granítica e são provenientes da Pedreira Central de Campo Largo/PR. A areia foi obtida em areal da região de Curitiba/PR. Os agregados citados foram adotados com o intuito de seguir os padrões de traços utilizados pelas fábricas de blocos da região.

3.1.3 Agregados reciclados

Os agregados reciclados foram coletados em uma fábrica de reciclagem localizada em Campo Largo/PR. Estes agregados são provenientes apenas de sobras de concreto das concreteiras da região. Estas sobras de concreto foram despejadas pelas concreteiras no local, curaram e passaram por um processo de britagem. O material britado foi separado em diversas granulometrias. A NBR 15116 (ABNT, 2004) classifica este tipo de resíduo como Classe A e denomina este tipo de agregado reciclado como ARC (agregado de resíduo de concreto). Para este estudo, foi utilizado material reciclado com diâmetro nominal inferior a 6,3 mm (pedrisco reciclado) e inferior a 4,8 mm (areia reciclada).

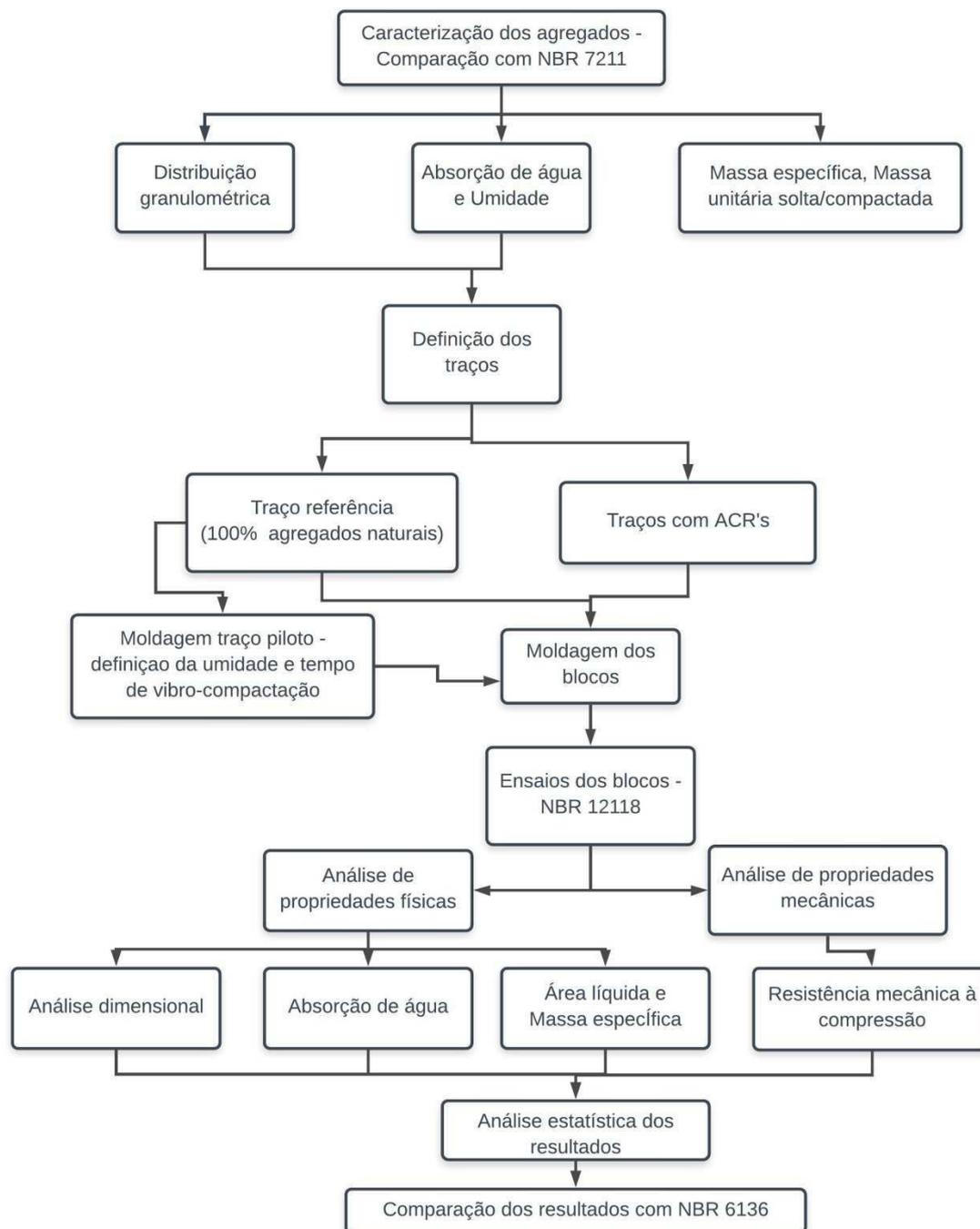
3.1.4 Aditivo

Para a produção do concreto e moldagem dos blocos foi utilizado aditivo incorporador de ar, conforme as práticas comerciais da região. Esse tipo de aditivo é utilizado em concretos secos com o intuito de melhorar a sua trabalhabilidade, sem que seja necessário o aumento na quantidade de água das misturas, o que poderia causar a adesão do concreto às paredes dos moldes. Nesse tipo específico de concreto, superplastificantes não causam melhoras significativas na trabalhabilidade das misturas tendo em visto a baixa quantidade de água. O aditivo utilizado foi fornecido por uma fábrica de blocos de São José dos Pinhais/PR.

3.2 MÉTODOS

O fluxograma com os procedimentos experimentais está apresentado na Figura 4, exibindo cada uma das etapas seguidas neste estudo visando atingir os objetivos definidos em 1.1. Essas etapas serão detalhadas neste capítulo.

Figura 4 – Fluxograma dos procedimentos experimentais



Fonte: O autor.

3.2.1 Caracterização dos agregados

Os agregados utilizados passaram por uma série de ensaios, conforme apresentado na Tabela 6, com o intuito de determinar suas características e definir o melhor traço para produção do concreto seco.

Tabela 6 - Ensaio de caracterização efetuados nos agregados

Propriedade	Método de Ensaio
Distribuição Granulométrica	NM 248 (ABNT, 2003)
Massa Específica	Agregado Miúdo: NM 52 (ABNT, 2009)
	Agregado Graúdo: NM 53 (ABNT, 2009)
Massa Unitária Solta	Método C da NM 45 (ABNT, 2006) ⁽¹⁾
Massa Unitária Compactada	Método A da NM 45 (ABNT, 2006) ⁽¹⁾
Absorção de água	Agregado Miúdo: NM 30 (ABNT, 2001)
	Agregado Graúdo: NM 53 (ABNT, 2009)
Umidade	Agregado Miúdo: NBR 9775 (ABNT, 2011) ⁽²⁾
	Agregado Graúdo ⁽²⁾

(1) Os ensaios de massa unitária foram repetidos três vezes com o intuito de encontrar um valor mais confiável.

(2) Para encontrar a umidade dos agregados foi utilizada a equação 1.

Fonte: O autor.

Equação 1:

$$h = 100 \times (Mn - Ms) / Ms \quad (1)$$

Onde: h = Umidade do agregado em %

Mn = Massa da amostra de agregado no estado natural (g)

Ms = Massa da amostra de agregado após 24 horas em estufa (g)

É importante ressaltar que os ensaios de distribuição granulométrica dos agregados influenciaram diretamente na definição dos traços utilizados nesta pesquisa. Os resultados obtidos foram comparados com os limites definidos pela NBR 7211 (ABNT, 2009), sendo os limites para os agregados miúdos apresentados na Tabela 7 e os limites para o pedrisco apresentados na Tabela 8.

Tabela 7 - Limites granulométricos do agregado miúdo

Peneira com abertura de malha (mm)	Porcentagem, em massa, retida acumulada na peneira			
	Limites inferiores		Limites superiores	
	Zona utilizável	Zona ótima	Zona ótima	Zona utilizável
9,50	0	0	0	0
6,30	0	0	0	7
4,75	0	0	5	10
2,36	0	10	20	25
1,18	5	20	30	50
0,60	15	35	55	70
0,30	50	65	85	95
0,15	85	90	95	100

NOTA 1 – O módulo de finura da zona ótima varia de 2,20 a 2,90.

NOTA 2 – O módulo de finura da zona utilizável inferior varia de 1,55 a 2,20.

NOTA 3 – O módulo de finura da zona utilizável superior varia de 2,90 a 3,50.

Fonte: Adaptado da norma NBR 7211 (ABNT, 2009).

Tabela 8 - Limites granulométricos do agregado graúdo

Zona granulométrica d/D ^a	Porcentagem, em peso, retida acumulada na peneira				
	12,50 mm	9,50 mm	6,30 mm	4,75 mm	2,36 mm
4,75/12,5	0 - 5	2 – 15 ^b	40 ^b – 65 ^b	80 ^b a 100	95 a 100

^a Zona granulométrica correspondente à menor (d) e à maior (D) dimensões do agregado graúdo.

^b Em cada zona granulométrica deve ser aceita uma variação de cinco unidades percentuais em apenas um dos limites marcados com ^b. Essa variação pode também estar distribuída em vários desses limites.

Fonte: Adaptado da norma NBR 7211 (ABNT, 2009).

3.2.2 Determinação dos traços

Para determinação dos traços, foi adotado o método desenvolvido por Fernandes (2015), método no qual os traços são ajustados de acordo com a granulometria final das misturas, analisando também o seu módulo de finura. Este autor apresenta, com base em seus conhecimentos laboratoriais, limites granulométricos para a produção de blocos de concreto, conforme apresentado na Tabela 9.

Tabela 9 - Limites recomendados do percentual retido acumulado do conjunto de agregados para a produção de blocos

Peneira (mm)	Limite Inferior	Limite Superior
9,50	0%	6%
6,30	0%	18%
4,75	5%	33%
2,36	20%	51%
1,18	38%	68%
0,60	54%	81%
0,30	68%	91%
0,15	82%	100%
Fundo	96%	100%

Fonte: FERNANDES (2015).

O método de dosagem ABCP não foi empregado nesta pesquisa, pois segundo Frasson Júnior (2000), este método se demonstra falho quando utiliza-se mais de 2 tipos de agregados. Nestes casos, este método resulta num consumo excessivo de agregados mais finos para encontrar uma mistura com menor volume de vazios. Conseqüentemente, estas misturas acabam por reduzir a resistência mecânica dos blocos, pois a alta superfície específica do material aumenta a absorção de água da mistura de agregados. Tendo em vista que os agregados reciclados utilizados nesta pesquisa possuem uma grande quantidade de finos, um método de dosagem que leva em consideração a granulometria dos materiais se mostrou mais adequado.

3.2.2.1 Relação entre Agregados

A relação entre agregados foi definida por meio da análise da granulometria dos materiais. Para isso, foi verificada inicialmente a distribuição granulométrica dos agregados convencionais para determinar o traço referência.

Buscou-se determinar uma relação que ficasse centralizada nos limites recomendados por Fernandes (2015), apresentados na Tabela 9. Esta centralização teve como objetivo produzir blocos com bom acabamento, sendo necessário para tal a parcela mais fina dos agregados, e com uma boa resistência final sem um consumo excessivo de cimento, logo esta mistura não poderia ser muito fina.

A relação entre agregados definida por este método para o traço referência manteve-se fixa em todos os traços testados.

3.2.2.2 Relação Cimento/Agregados

Foi adotado como padrão para todos os traços uma relação entre cimento e agregados de 1:10 (traço em massa). Esta relação foi adotada com o intuito de produzir blocos de concreto com resistência de 8 MPa. Ela foi definida considerando a vibroprensa utilizada no processo de moldagem dos blocos, podendo variar de acordo com o equipamento utilizado.

3.2.2.3 Substituição por Agregados Reciclados

Após a definição do traço referência, foram moldados mais cinco traços com substituição da areia e do pedrisco por agregados reciclados. Não houve substituição da areia artificial, cuja quantidade se manteve constante em todos os traços. As substituições foram feitas em massa de acordo com o apresentado na Tabela 10.

Tabela 10 - Traços analisados

Traço	Porcentagem de substituição em massa da areia e pedrisco pelos ARC's
Referência	0%
1	20%
2	40%
3	60%
4	80%
5	100%

Fonte: O autor.

Para cada traço foi analisada novamente a distribuição granulométrica das misturas de agregados e o seu módulo de finura, visando não existir uma variação significativa do traço referência.

3.2.2.4 Quantidade de água

Para a determinação da quantidade de água, foi produzido inicialmente um traço piloto analisando a trabalhabilidade do concreto para umidades de 6 a 7%. Assim como a quantidade de cimento da mistura, a umidade ótima irá depender do equipamento e dos agregados utilizados no processo.

Esta umidade é encontrada no chamado “ponto de pelota”, ponto no qual o concreto produzido apresenta a consistência de terra úmida, sendo possível moldar uma pelota de concreto fechando a mão com o material, sem que a mão fique suja com o concreto. Neste ponto específico, a quantidade ótima de água para o processo de moldagem é encontrada. Esta verificação é feita visualmente, não existindo um cálculo para tal, apenas uma checagem da consistência do concreto.

Visando manter fixa para todos os demais traços a umidade definida no traço piloto, a quantidade de água utilizada em cada um destes foi corrigida com a adição da quantidade de água necessária para saturação dos agregados. A quantidade de água destas correções foi encontrada por meio dos ensaios de absorção e umidade dos agregados.

3.2.2.5 Quantidade de aditivo

A quantidade de aditivo utilizada foi definida conforme as orientações do fornecedor, sendo de 0,37% em relação a massa de cimento (3,70 ml/kg).

3.2.3 Produção do concreto

Para a mistura dos materiais e produção do concreto de cada um dos seis traços testados, foi utilizada uma betoneira da marca *Motomil modelo MB-120P* com capacidade de 120 litros.

Devido à quantidade de concreto necessária para moldagem de cada um dos traços e ao volume da betoneira, este processo foi dividido em quatro vezes para cada traço. Entre cada uma das misturas, a betoneira passou por um processo de limpeza, e cada um dos traços teve suas quatro misturas efetuadas no mesmo dia, sob as mesmas condições.

3.2.4 Moldagem dos blocos

Foram moldados 28 blocos com dimensão de 14cm x 19cm x 39cm para cada traço, visando atender a quantidade mínima de blocos necessária para cada ensaio, conforme a NBR 6136 (ABNT, 2016).

Estes blocos foram moldados por meio do processo de vibro-compactação, método padrão de concretagem de blocos de concreto (por se tratar de um concreto

seco). Uma vibro-prensa (Figura 5) foi utilizada para a moldagem dos blocos. O tempo de vibro-compactação foi definido no traço piloto e mantido fixo para todos os traços moldados. Foi adotado como tempo padrão de vibro-compactação, o tempo necessário para que a água da mistura começasse a verter acima dos blocos.

Figura 5 – Vibro-prensa utilizada para moldagem dos blocos



Fonte: O autor.

3.2.5 Cura dos blocos

Logo após a sua moldagem, os blocos foram cobertos por lona juntamente com um recipiente com água, permanecendo desta forma nas 72 horas iniciais. Após isso, os blocos foram identificados e separados de acordo com o traço utilizado em sua moldagem, passando por um processo de cura ao ar em local coberto até serem ensaiados.

3.2.6 Ensaios dos blocos

Os blocos moldados foram caracterizados por meio dos ensaios definidos pela NBR 6136 (ABNT, 2016), seguindo a quantidade mínima de blocos para cada ensaio definida por essa mesma norma, e os procedimentos descritos na NBR 12118 (ABNT, 2013). Estes ensaios e quantidades de blocos estão apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 - Ensaios efetuados nos blocos produzidos

Ensaio	Idade	Número de Blocos Ensaaiados
Análise Dimensional	28 dias	9
Absorção de Água por Imersão	28 dias	3
Área Líquida e Massa Específica	28 dias	3
Resistência à Compressão	7 dias	6
	14 dias	6
	21 dias	6
	28 dias	6

Fonte: O autor.

Os três blocos utilizados para o ensaio de absorção de água por imersão também foram utilizados para o ensaio de área líquida e massa específica. Da mesma forma, para a análise dimensional foram utilizados estes mesmos três blocos e os seis blocos a serem ensaiados na resistência à compressão aos 28 dias. Assim, a quantidade mínima de blocos a ser produzida para cada traço foi de 27 blocos (seis para cada uma das quatro idades do ensaio de resistência à compressão e três para os demais ensaios). Visto que a vibro-prensa utilizada produzia dois blocos por vez, foi produzido um total de 28 blocos para cada traço.

O ensaio de resistência à compressão foi efetuado em quatro idades diferentes visando avaliar a evolução da resistência de cada traço. Os blocos utilizados neste ensaio tiveram suas faces de trabalho regularizadas com argamassa, conforme definido na NBR 12118 (ABNT, 2013).

3.2.7 Análise estatística

Para analisar os resultados dos ensaios efetuados nos blocos produzidos, foi utilizada a análise de variância – ANOVA, utilizando uma extensão do programa Excel. Esta ferramenta verifica se as variações encontradas nos resultados são significativas e resultantes dos fatores testados, no caso desta pesquisa, das substituições efetuadas nos agregados naturais, e não resultantes de mera variabilidade amostral. Para isso, esta ferramenta calcula a variância interna de cada grupo e a variância entre os grupos testados, sendo possível afirmar que o fator testado exerce influência sobre os resultados quando:

- A variância entre os grupos for superior à variância interna;
- O parâmetro F for superior ao $F_{crítico}$ calculado;
- O P-valor foi inferior a 5% (para se ter 95% de confiança).

Em conjunto com a análise de variância, foi efetuado o teste Tukey nos resultados encontrados, utilizando o software *Past*. Este teste permite a comparação entre cada fator individualmente, comparando cada traço testado entre si, verificando entre qual deles existe de fato variação significativa nos resultados encontrados.

Assim, foi possível confirmar ou não a influência da substituição dos agregados por ARC's nas propriedades testadas dos blocos, utilizando o teste ANOVA, além de conferir qual dos traços testados possuía variações significativa nas propriedades analisadas quando comparado com o traço referência, por meio do teste Tukey.

4 RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados e discutidos os resultados obtidos na caracterização dos agregados, definição dos traços analisados, produção do concreto, moldagem dos blocos e ensaios dos blocos produzidos.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS

Os agregados utilizados foram ensaiados de acordo com o exposto na Tabela 6, sendo analisadas as suas distribuições granulométricas, massa específica, massa unitária solta, massa unitária compactada, absorção de água e umidade.

4.1.1 Distribuição granulométrica dos agregados miúdos

Os resultados encontrados nos ensaios de granulometria dos agregados miúdos estão apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 - Resultados dos ensaios de granulometria dos agregados miúdos

Peneira (mm)	Percentual Retido Acumulado		
	Areia Natural	Areia ARC	Areia Artificial
4,75	3,86%	0,14%	8,25%
2,36	16,05%	13,57%	31,71%
1,18	33,96%	31,76%	50,89%
0,60	53,00%	48,63%	67,39%
0,30	72,97%	68,28%	81,04%
0,15	90,54%	84,61%	90,23%
Módulo de Finura	2,70	2,47	3,30

Fonte: O autor.

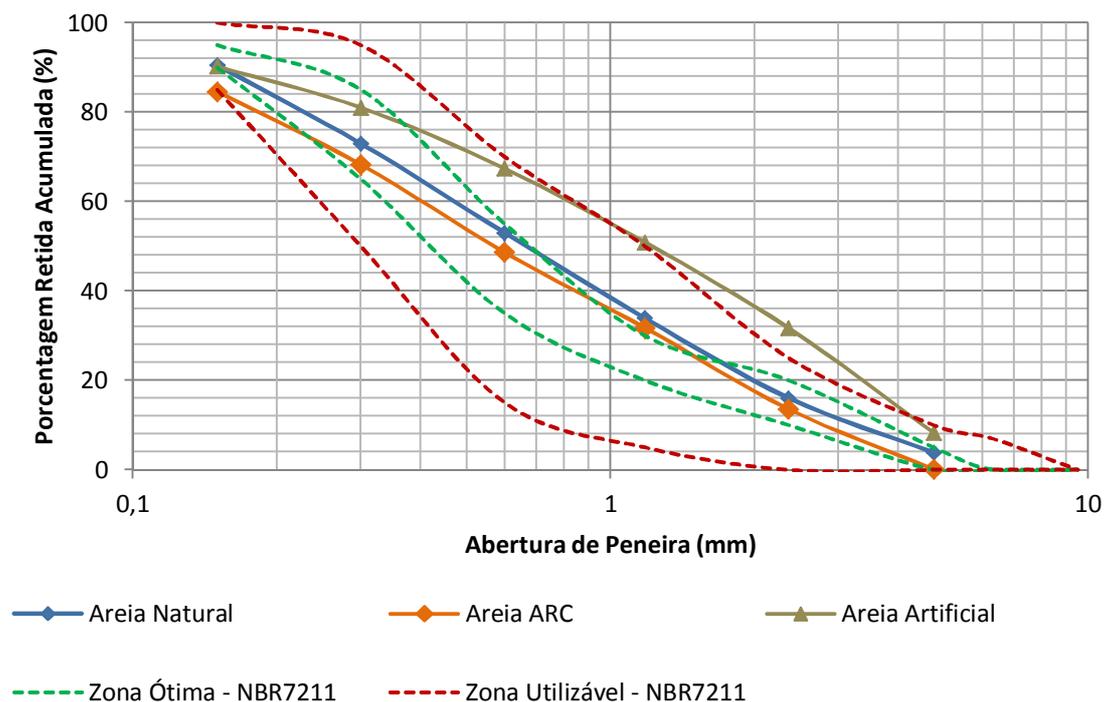
Observa-se nos resultados apresentados na Tabela 12 que a areia natural e a areia de resíduo de concreto possuem módulos de finura dentro dos limites da zona ótima definida pela NBR7211 (ABNT, 2009), entre 2,20 e 2,90. Este módulo de finura é maior para a areia artificial, caracterizando este como um material mais grosso. Apesar de maior, o módulo de finura deste agregado ainda encontra-se dentro dos limites da zona utilizável definidos pela NBR7211 (ABNT, 2009).

Comparando os percentuais retidos acumulados em cada peneira com os limites definidos pela NBR 7211 (ABNT, 2009) para agregado miúdo, apresentados na Tabela 7, verifica-se que:

- A areia natural possui na peneira 1,18 mm uma porcentagem retida acumulada acima dos limites da zona ótima, mas dentro da zona utilizável. A porcentagem retida acumulada deste material em todas as demais peneiras se enquadra na zona ótima;
- A porcentagem retida acumulada da areia de resíduo de concreto na peneira 1,18 mm está acima dos limites da zona ótima, mas dentro da zona utilizável. Por outro lado a porcentagem retida acumulada na peneira 0,15 mm está abaixo da zona utilizável. Isso significa que este agregado possui uma quantidade de finos maior do que o recomendado por norma;
- As porcentagens retidas acumuladas da areia artificial nas peneiras 0,15 mm e 0,30mm se enquadram na zona ótima e nas peneiras 4,75 mm e 0,60 mm na zona utilizável. Em contrapartida as porcentagens retidas acumuladas deste agregado nas peneiras 1,18 mm e 2,36 mm estão acima da zona utilizável, sendo que esta diferença na peneira 1,18 mm está acima de 5%.

Na Figura 6 são apresentadas as curvas granulométricas de cada um dos agregados miúdos juntamente com os limites definidos pela NBR 7211 (ABNT, 2009) para a zona utilizável e para a zona ótima.

Figura 6 – Composição granulométrica dos agregados miúdos



Fonte: O autor.

Observa-se no gráfico da composição granulométrica que a areia natural e a areia de resíduo de concreto são materiais com granulometria similar, embora esta última seja um agregado mais fino. A areia artificial por sua vez, difere destes dois agregados, possuindo uma granulometria mais grossa, conforme já observado na análise do módulo de finura destes materiais.

A análise a curva granulométrica da areia natural demonstrou que este agregado possui uma ótima granulometria para produção de concreto, uma vez que se enquadra praticamente na sua totalidade dentro da zona ótima definida pela norma.

A areia de resíduo de concreto, apesar da maior quantidade de finos, pode ser considerada adequada para a produção de concreto. Essa consideração é possível tendo em vista que o percentual retido acumulado na peneira 0,15mm está apenas 0,39% abaixo do limite da zona utilizável (uma variação pequena neste limite), e que todas as porcentagens retidas acumuladas nas demais peneiras se enquadram na zona ótima. Além disso, segundo a NBR 15116 (ABNT, 2004), a composição granulométrica do agregado reciclado pode ser corrigida pela adição de agregados convencionais, conforme o estudo proposto por esta pesquisa.

A areia artificial, apesar de ser mais grossa do que os limites estabelecidos pela norma, também pode ser considerada adequada para a produção de concreto. Segundo a NBR 7211 (ABNT, 2009), podem ser utilizados como agregados miúdos materiais com distribuição granulométrica diferente das zonas estabelecidas, desde que estudos prévios de dosagem comprovem sua aplicabilidade, sendo este o objetivo desta pesquisa.

4.1.2 Distribuição granulométrica dos agregados graúdos

Os resultados obtidos no ensaio de granulometria dos agregados graúdos estão apresentados na Tabela 13.

Tabela 13 - Resultados dos ensaios de granulometria dos agregados graúdo

Peneira (mm)	Percentual Retido Acumulado	
	Pedrisco Natural	Pedrisco ARC
9,50	2,25%	9,24%
6,30	47,63%	52,58%
4,75	77,40%	76,44%
2,36	89,57%	85,42%

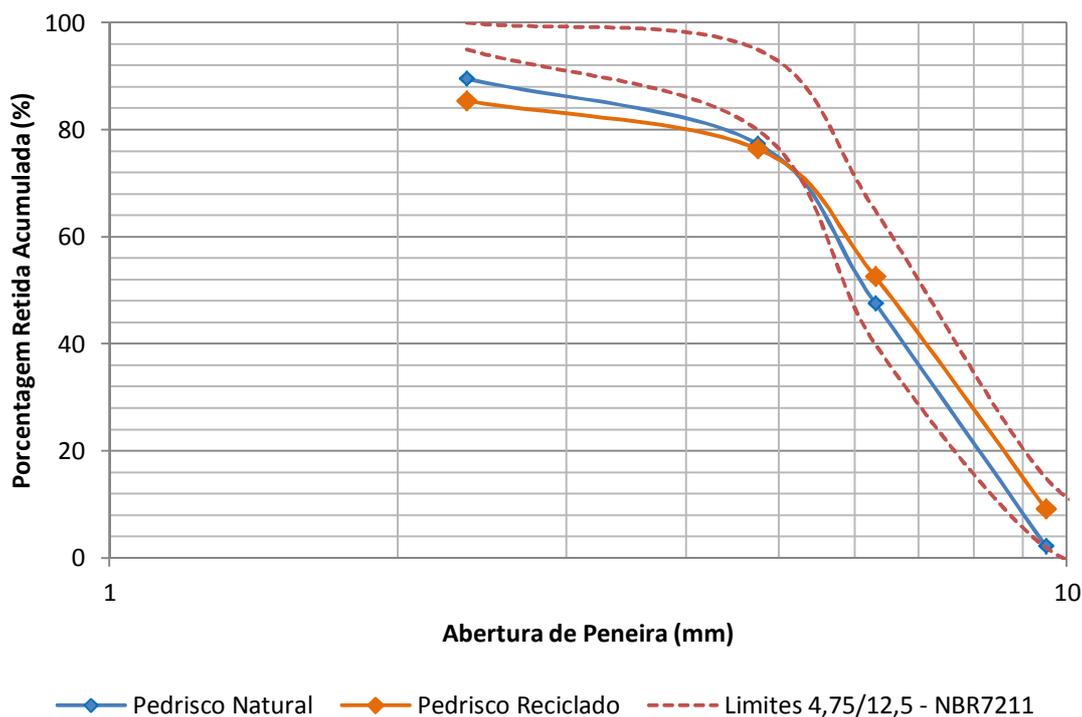
Fonte: O autor.

Por meio da comparação entre os percentuais retidos acumulados em cada peneira e os limites definidos pela NBR7211 (ABNT, 2009) para agregado graúdo, apresentados na Tabela 8, verifica-se que:

- nas peneiras 9,50 mm e 6,30 mm, tanto o pedrisco natural quanto o pedrisco de resíduo de concreto atendem os limites definidos pela norma;
- na peneira 4,75 mm ambos possuem uma porcentagem retida acumulada inferior ao recomendado, mas ainda dentro do limite de variação de 5% definido pela norma;
- na peneira 2,36 mm ambos apresentam novamente uma porcentagem retida acumulada inferior ao recomendado, superando nessa peneira o limite de 5% de variação definido pela norma.

As curvas granulométricas dos agregados graúdos estão representadas na Figura 7, juntamente com os limites definidos pela NBR 7211 (ABNT, 2009).

Figura 7 – Composição granulométrica dos agregados graúdos



Fonte: O autor.

Nota-se na Figura 7 a semelhança entre a distribuição granulométrica do pedrisco natural e do pedrisco de resíduo de concreto. Ambos possuem uma granulometria mais fina do que os limites prescritos pela norma, sendo o pedrisco de resíduo de concreto mais fino do que o pedrisco natural.

O fato da granulometria dos agregados graúdos não se enquadrar nos limites definidos pela NBR 7211 (ABNT, 2009) não os torna inadequados para a produção do concreto, visto que nesta pesquisa os traços dos concretos foram determinados levando em consideração a granulometria final das misturas. Desta maneira, a relação entre agregados foi definida para corrigir essas diferenças de granulometria.

4.1.3 Massa específica e massa unitária

Os resultados obtidos nos ensaios de massa específica, massa unitária solta e massa unitária compactada dos agregados são apresentados na Tabela 14.

Tabela 14 - Resultados dos ensaios de massa dos agregados

	Areia Natural	Areia ARC	Areia Artificial	Pedrisco Natural	Pedrisco ARC
Massa Específica	2,68 g/cm ³	2,44 g/cm ³	2,90 g/cm ³	2,74 g/cm ³	2,33 g/cm ³
Massa Unitária Solta	1,61 g/cm ³	1,13 g/cm ³	1,61 g/cm ³	1,41 g/cm ³	1,25 g/cm ³
Massa Unitária Compactada	1,76 g/cm ³	1,27 g/cm ³	1,79 g/cm ³	1,54 g/cm ³	1,43 g/cm ³

Fonte: O autor.

Analisando os resultados apresentados na Tabela 14, observa-se que os agregados de resíduo de concreto são mais leves do que os agregados convencionais. Desta forma, os blocos produzidos com os traços que contém uma substituição maior dos agregados naturais pelos agregados de resíduo de concreto, tendem a ser mais leves do que os blocos moldados com o traço referência.

4.1.4 Absorção de água e umidade

Os resultados obtidos nos ensaios de absorção de água e umidade dos agregados são apresentados na Tabela 15. Estes ensaios foram realizados 48 horas antes da moldagem dos blocos, sendo que os agregados permaneceram estocados em toneis em ambiente de laboratório neste intervalo.

Tabela 15 - Resultados dos ensaios de absorção de água e umidade dos agregados

	Areia Natural	Areia ARC	Areia Artificial	Pedrisco Natural	Pedrisco ARC
Absorção de água	1,24%	15,47%	4,11%	1,54%	11,09%
Umidade	4,37%	15,85%	3,28%	0,96%	10,86%

Fonte: O autor.

Pode-se verificar nestes resultados que os agregados de resíduo de concreto apresentam uma absorção de água superior à dos agregados convencionais. Provavelmente esta característica seja resultante de dois fatores:

- maior quantidade de finos destes agregados, conforme confirmado nos ensaios de granulometria, o que aumenta a superfície específica destes materiais;
- presença de uma camada de argamassa em volta dos grãos, característica comum em agregados provenientes da britagem de resíduo de concreto. Esta camada torna a superfície dos grãos mais porosa, aumentando assim a sua absorção de água.

Apesar da absorção de água dos agregados reciclados superar os limites preconizados para ARC's pela NBR 15116 (ABNT, 2004), limites apresentados na Tabela 4 (12% para agregado miúdo e 7% para agregado graúdo), o fato dos ARC's estarem próximo do estado saturado fez com que estes agregados não fossem descartados. O estado quase saturado destes materiais garantiu que sua absorção de água durante a preparação do concreto será pequena, descartando inclusive a necessidade de uma pré-molhagem destes agregados.

Com os resultados apresentados na Tabela 15 foi possível determinar a correção na quantidade de água de cada traço. Essa correção seguiu as porcentagens apresentadas na Tabela 16 e define a correção de acordo com a quantidade em massa dos agregados utilizados.

Tabela 16 - Correção da quantidade de água de acordo com a quantidade em massa de cada agregado

	Areia	Areia Artificial	Areia ARC	Pedrisco	Pedrisco ARC
Correção de água	-3,13 %	+0,83 %	-0,38 %	+0,58 %	+0,23 %

Fonte: O autor.

As correções apresentadas na Tabela 16 foram encontradas subtraindo da absorção de água de cada material a umidade encontrada em seu estado natural. Desta maneira, a absorção de água e a umidade dos agregados não afeta o teor de umidade dos concretos produzidos. Assim, a quantidade de água para reagir com o cimento se manteve a mesma em todos os traços testados.

Visto que as areias, tanto a natural quanto a de resíduo de concreto, estavam com um teor de umidade superior à sua absorção de água, a umidade superficial destes materiais teve de ser descontada da quantidade de água das misturas. Por este motivo, a porcentagem de correção apresentada para estes materiais na Tabela 16 é negativa.

4.2 DETERMINAÇÃO DOS TRAÇOS

4.2.1 Relação entre agregados

Além da relação entre cimento e agregados, pré-fixada em 1:10, a relação entre agregados também foi pré-fixada. Esta relação foi definida analisando a distribuição granulométrica dos agregados, visando uma mistura que se enquadrasse nos limites recomendados por Fernandes (2015), conforme apresentado na Tabela 9.

Levando em consideração a distribuição granulométrica dos agregados naturais, optou-se pela seguinte relação entre agregados para a produção do traço referência: 50% de areia artificial, 30% de areia e 20% de pedrisco. A partir deste traço foram feitas as substituições dos agregados naturais conforme previsto na Tabela 10. A partir destas substituições foram definidas as proporções entre agregados para cada traço, conforme apresentado na Tabela 17.

Tabela 17 - Proporção em massa de agregados para cada traço

Agregado	Traço Referência	Traço 1	Traço 2	Traço 3	Traço 4	Traço 5
Areia Artificial	50%	50%	50%	50%	50%	50%
Areia	30%	24%	18%	12%	6%	0%
Pedrisco	20%	16%	12%	8%	4%	0%
Areia ARC	0%	6%	12%	18%	24%	30%
Pedrisco ARC	0%	4%	8%	12%	16%	20%

Fonte: O autor.

Utilizando estas proporções e a distribuição granulométrica dos agregados foi possível calcular a distribuição granulométrica da mistura de agregados de cada traço, conforme apresentado na Tabela 18.

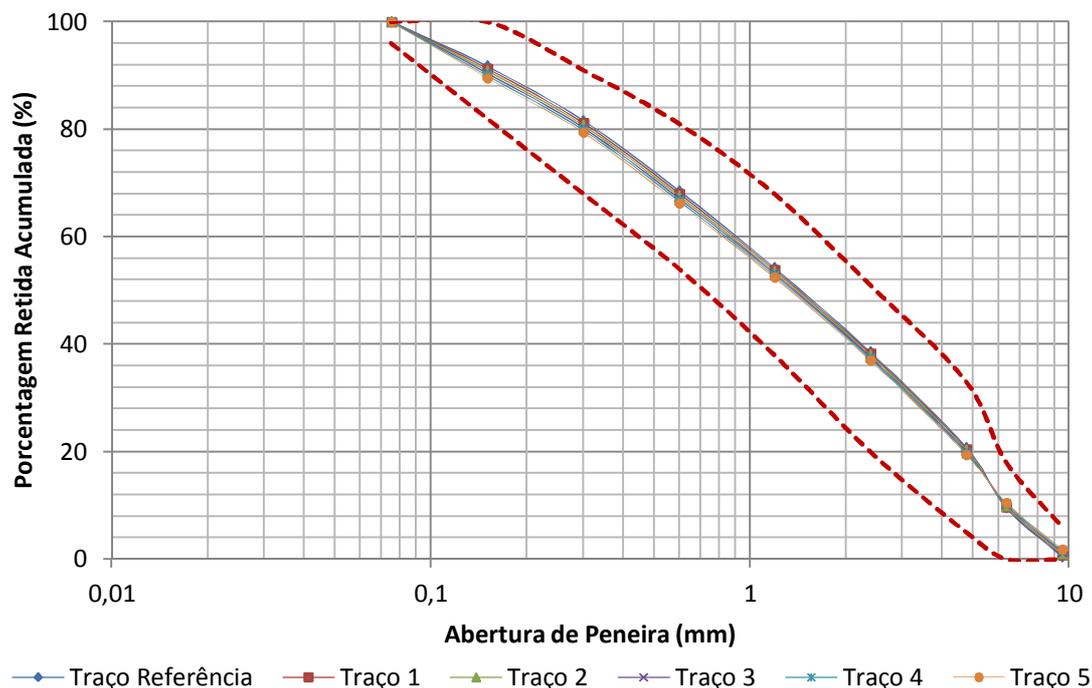
Tabela 18 - Distribuição granulométrica da mistura de agregados de cada traço

Peneira (mm)	Percentual Retido Acumulado						Limites Recomendados
	Traço Referência	Traço 1	Traço 2	Traço 3	Traço 4	Traço 5	
9,50	0,45%	0,73%	1,01%	1,29%	1,57%	1,85%	0 - 6%
6,30	9,53%	9,72%	9,92%	10,12%	10,32%	10,52%	0 - 18%
4,75	20,76%	20,50%	20,24%	19,98%	19,72%	19,46%	5 - 33%
2,36	38,58%	38,27%	37,95%	37,64%	37,32%	37,01%	20 - 51%
1,18	54,24%	53,88%	53,52%	53,17%	52,81%	52,45%	38 - 68%
0,60	68,54%	68,07%	67,59%	67,12%	66,65%	66,18%	54 - 81%
0,30	81,61%	81,17%	80,73%	80,29%	79,85%	79,41%	68 - 91%
0,15	91,74%	91,31%	90,87%	90,44%	90,00%	89,57%	82 - 100%
MF	3,56	3,54	3,52	3,50	3,48	3,46	

Fonte: O autor.

Analisando os módulos de finura de cada traço, observa-se pouca variação entre eles, sendo a maior delas entre o traço referência e o traço 5 (2,81%). Na Figura 8 são apresentadas as curvas granulométricas de cada um destes traços juntamente com os limites recomendados por Fernandes (2015).

Figura 8 – Comparação da curva granulométrica dos traços com os limites recomendados por Fernandes (2015)



Fonte: O autor.

Verifica-se na Figura 8 pouca variação entre as curvas granulométricas de cada traço. Este fato é resultante da similaridade entre as distribuições granulométricas do pedrisco natural e do pedrisco ARC, assim como da areia natural e da areia ARC. Desta forma, pode-se garantir que cada um destes traços irá possuir um empacotamento de partículas similar, havendo pouca diferença no consumo de pasta de cimento.

Observa-se também que todas as curvas encontram-se centralizada nos limites recomendados por Fernandes (2015), atingindo assim a distribuição granulométrica recomendada para produção de blocos com bom acabamento e com boa resistência.

4.2.2 Determinação da umidade e do tempo de vibro-compactação

Conforme descrito no capítulo 3, visando garantir uma padronização na moldagem dos blocos, outros dois pontos foram fixados além da relação entre cimento e agregados e da relação entre agregados: a umidade do concreto produzido e o tempo de vibro-compactação das peças. Para determinação destes dois valores padrões, foi

produzido um traço piloto seguindo a relação entre agregados definida para o traço referência.

O primeiro parâmetro analisado foi a umidade do concreto. Iniciou-se a produção do concreto adicionando a quantidade de água suficiente para que a mistura atingisse um teor de umidade de 6%, considerando a correção necessária na quantidade de água definida na Tabela 16. Gradativamente adicionou-se água à mistura até atingir o “ponto de pelota” (Figura 9). Este ponto foi atingido no traço piloto com 6,5% de umidade, sendo essa umidade adotada como padrão para todos os traços. A quantidade de água de cada traço foi definida através desta umidade e das correções previstas na Tabela 16.

Figura 9 – Ponto de pelota – umidade ótima para moldagem dos blocos



Fonte: O autor.

Com relação ao tempo de vibro-compactação, tendo em vista que a vibroprensa utilizada possui uma força de compactação inferior à de modelos comerciais, este tempo foi superior ao encontrado em fábricas de blocos, onde costuma variar entre três e cinco segundos. O traço piloto apresentou um tempo de vibro-compactação necessário de 13,5 segundos. Visando facilitar a marcação deste tempo, foi adotado como padrão um tempo de 15 segundos para moldagem dos blocos.

4.3 DETERMINAÇÃO DOS TRAÇOS

Considerando o número de blocos produzidos no traço piloto (cinco), e a respectiva quantidade de material utilizada na produção destes, foi possível determinar a quantidade de material necessária para cada traço (Tabela 19).

Tabela 19 - Quantidade de material utilizada em cada traço

	Traço Referência	Traço 1	Traço 2	Traço 3	Traço 4	Traço 5
Areia Artificial (kg)	190,0	190,0	190,0	190,0	190,0	190,0
Areia (kg)	114,0	91,2	68,4	45,6	22,8	0,0
Pedrisco (kg)	76,0	60,8	45,6	30,4	15,2	0,0
Areia ARC (kg)	0,0	22,8	45,6	68,4	91,2	114,0
Pedrisco ARC (kg)	0,0	15,2	30,4	45,6	60,8	76,0
Cimento (kg)	38,0	38,0	38,0	38,0	38,0	38,0
Água (L)	25,6	26,2	26,8	27,3	28,0	28,5
a/c	0,67	0,69	0,71	0,72	0,74	0,75
a/c – efetiva*	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71
Umidade (%)	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5
Aditivo (mL)	140	140	140	140	140	140
Teor de aditivo (%)**	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37

*Relação água/cimento levando em consideração a umidade e a absorção de água dos agregados.

**Teor de aditivo em relação à massa de cimento

Fonte: O autor.

4.4 MOLDAGEM DOS BLOCOS

Seguindo as quantidades definidas na Tabela 19 foram moldados 28 blocos para cada traço, conforme apresentado na Figura 10.

Figura 10 – Blocos produzidos com o traço referência



Fonte: O autor.

Os blocos ficaram estocados em local coberto separados de acordo com seu traço (Figura 11), após ficarem cobertos por lona nas 72 horas iniciais, conforme definido no item 3.2.5.

Figura 11 – Blocos em processo de cura ao ar



Fonte: O autor.

4.5 ENSAIOS DOS BLOCOS

4.5.1 Análise dimensional

Os blocos produzidos para cada traço passaram por uma análise dimensional aos 28 dias, seguindo os procedimentos determinados pela NBR 12118 (ABNT, 2013). As médias dos resultados desta análise dimensional estão representados na Tabela 20.

Tabela 20 – Resultados da análise dimensional dos blocos

	Traço Ref.	Traço 1	Traço 2	Traço 3	Traço 4	Traço 5	Limites NBR 6136
Altura (mm)	195,27	193,27	190,85	192,48	191,20	192,08	187 - 193
Largura (mm)	143,60	143,57	144,09	143,85	144,30	143,50	138 - 142
Comprimento (mm)	394,10	393,50	394,03	393,24	393,93	393,83	387 - 393
Espessura Longitudinal (mm)	25,73	25,45	25,91	25,34	25,13	25,00	> 24
Espessura Transversal (mm)	26,15	26,05	26,55	25,77	25,60	25,50	> 24
Furo Longitudinal (mm)	143,90	143,55	143,18	143,41	142,35	143,42	> 70
Furo Transversal (mm)	75,55	73,95	74,00	74,55	73,00	74,50	> 70
Espessura Equivalente (mm)	200,97	197,72	201,65	196,50	195,21	194,03	> 188
Área Líquida (mm)	30,70	31,08	31,85	31,25	31,65	31,54	-

Fonte: O autor.

Comparando os resultados apresentados na Tabela 20 com as dimensões definidas na NBR 6136 (ABNT, 2016) para blocos Classe A da família 15x40, verifica-se que as larguras e os comprimentos médios de cada um dos traços ultrapassam as tolerâncias máximas definidas por esta norma. Essa divergência é proveniente dos

moldes da vibro-prensa utilizada, tendo em vista que estes possuem dimensões maiores do que as definidas em norma. Com relação às variações encontradas nas alturas dos blocos, estas são resultantes do processo de moldagem dos blocos, pois a vibro-prensa utilizada não permite um maior controle na altura dos blocos durante o processo de moldagem. Por outro lado, as espessuras de parede, dimensão de furos e espessura equivalente de todos os traços estão de acordo com as especificações desta norma.

Vale ressaltar que, embora as variações dimensionais obtidas nos blocos superem as tolerâncias previstas na NBR 6136 (ABNT, 2016), estando portanto, fora dos padrões definidos na norma, estas variações não prejudicaram os ensaios efetuados nesta pesquisa.

4.5.2 Massa e massa específica

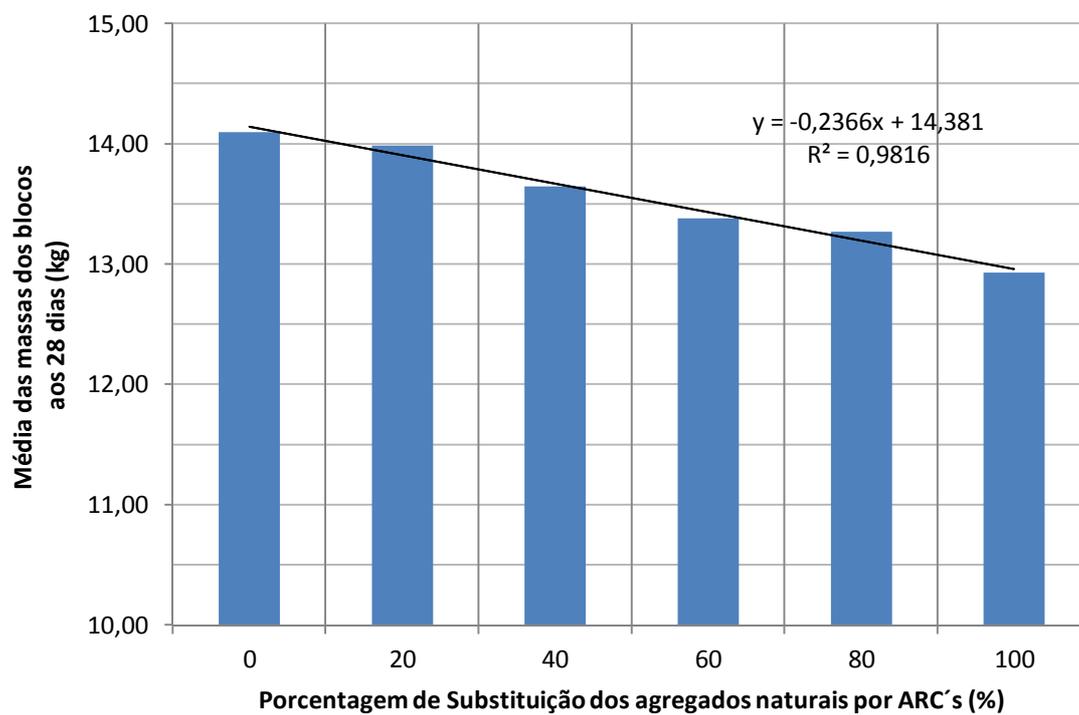
Além da análise dimensional prevista na NBR 12118 (ABNT, 2013), foram mensuradas as massas dos blocos de cada traço. As médias das massas e das massas específicas de cada traço estão descritos na Tabela 21.

Tabela 21 - Análise de massa dos blocos

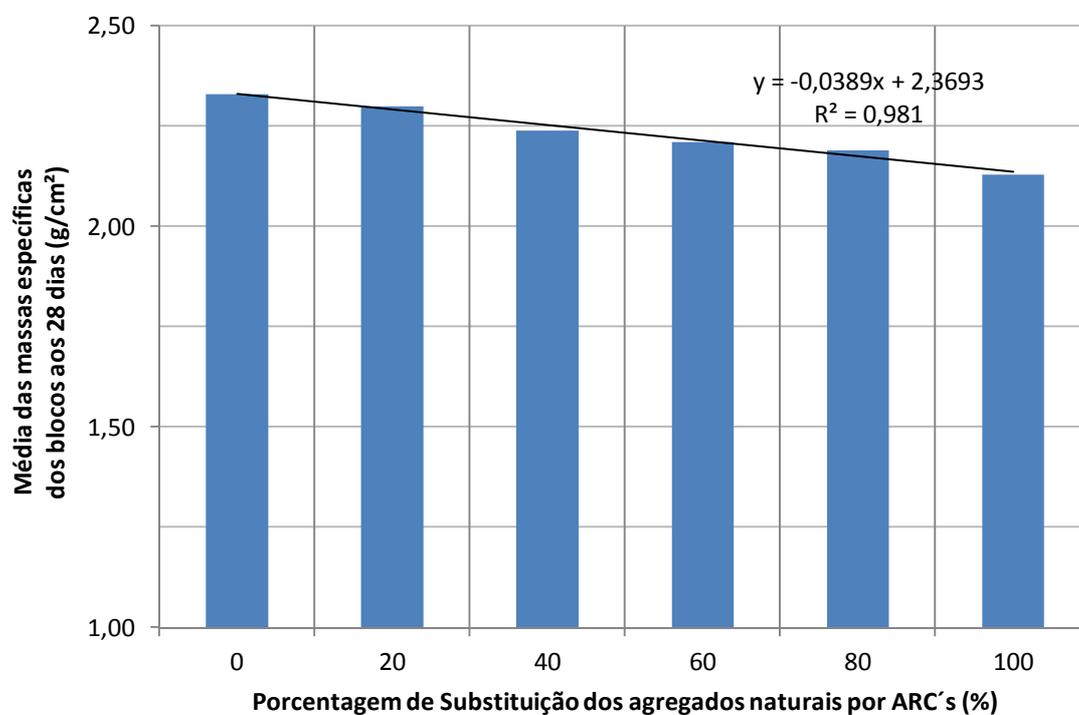
	Traço Referência	Traço 1	Traço 2	Traço 3	Traço 4	Traço 5
Média das massas dos blocos aos 28 dias (kg)	14,10	13,99	13,65	13,38	13,27	12,93
Média das massas específicas dos blocos aos 28 dias (g/cm ³)	2,33	2,30	2,24	2,21	2,19	2,13

Fonte: O autor.

Por meio dos resultados apresentados na Tabela 21, pode-se observar que quanto maior é a substituição dos agregados naturais pelos ARC's menor é a massa e a massa específica dos blocos produzidos. Nas Figuras 12 e 13 são apresentados os gráficos com o peso médio e a densidade média dos blocos de cada um dos traços testados.

Figura 12 – Média das massas dos blocos de cada traço

Fonte: O autor.

Figura 13 – Média das massas específicas dos blocos de cada traço

Fonte: O autor.

Pode-se observar nas Figuras 12 e 13 uma redução nas massas e massas específicas. Estas reduções estão em conformidade com os resultados apresentados na Tabela 14, os quais demonstraram que os agregados de resíduo de concreto eram mais leves do que os agregados naturais. Logo, os blocos produzidos com uma quantidade maior de ARC's tendem a ser mais leves. Além disso, observa-se uma correlação linear entre os resultados obtidos, com R^2 superior a 0,98 em ambos os casos.

Tendo em vista que as variações de massa para cada traço seguiram o comportamento das variações de massa específica, pode-se confirmar que as variações dimensionais dos blocos não prejudicaram esta análise.

Para comprovar que esta diminuição de massa dos blocos é proveniente da substituição da areia e pedrisco por ARC's, foi realizada a análise de variância dos resultados obtidos. Os resultados desta análise são apresentados na Tabela 22.

Tabela 22 - ANOVA para os resultados de massa dos blocos

Fator: substituição da areia e pedrisco por ARC						
Níveis do fator: 6 porcentagens de substituição						
Tratamentos: 0%, 20%, 40%, 60%, 80% e 100%						
Variável resposta: influência da substituição da areia e pedrisco por ARC na massa dos blocos de concreto						
Número total de parcelas: 46						
Número de repetições: variável sendo o mínimo de 6 blocos para cada traço						
<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	7,34734	5	1,469468	48,41757	6,4E-16	2,449466
Dentro dos grupos	1,213996	40	0,03035			
Total	8,561336	45				

Fonte: O autor.

Por meio destes resultados pode-se confirmar que a substituição dos agregados naturais por ARC's teve influência significativa na diminuição da massa dos blocos. Esta confirmação é possível tendo em vista que: a variância (MQ) entre os grupos é superior à variância interna dos grupos, o parâmetro F é maior do que o $F_{crítico}$ calculado e o P-valor é inferior a 5%.

Para verificar quais traços possuem variação significativa na massa dos blocos quando comparados ao traço referência, foi realizado o teste Tukey. Os resultados deste teste são apresentados na Tabela 23.

Tabela 23 - Comparações realizadas pelo teste Tukey (massa dos blocos)

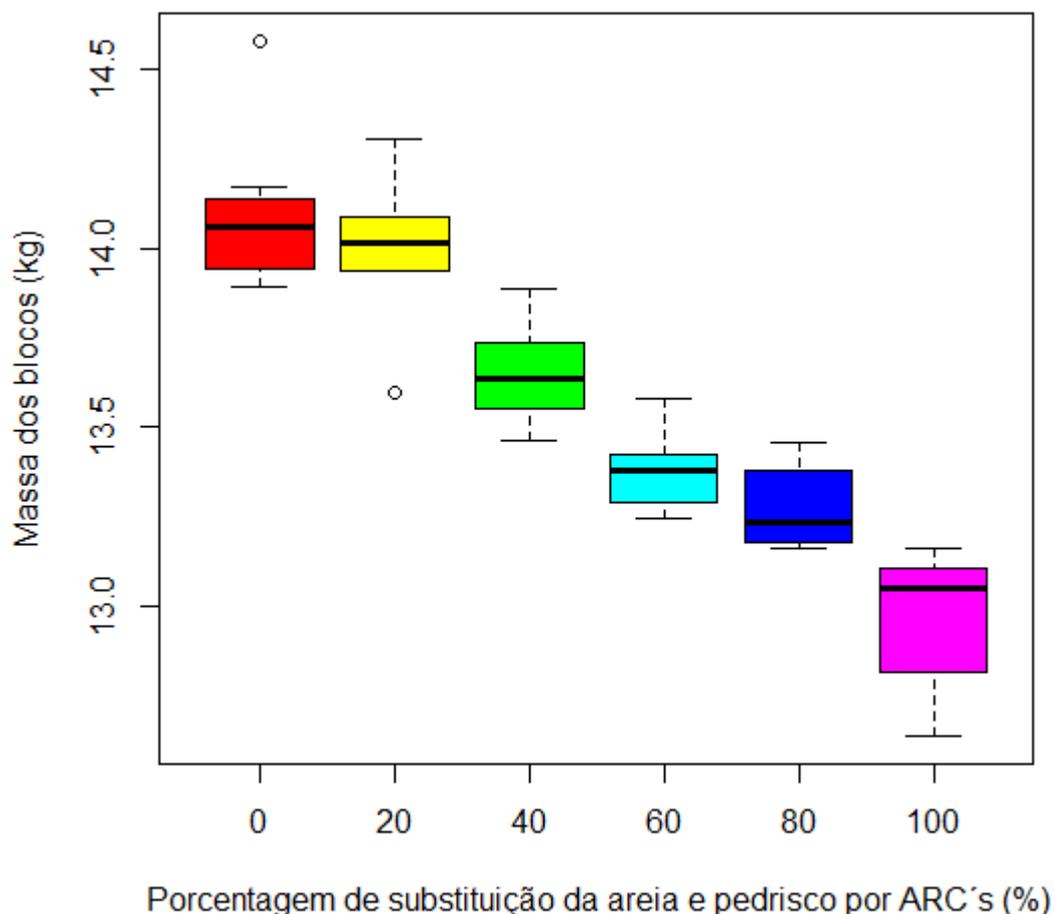
	Traço Referência	Traço 1	Traço 2	Traço 3	Traço 4	Traço 5
Traço Referência		0,8438	0,0002973	0,0001392	0,0001392	0,0001392
Traço 1	1,668		0,006027	0,0001394	0,0001392	0,0001392
Traço 2	7,048	5,38		0,04684	0,002129	0,0001392
Traço 3	11,32	9,651	4,271		0,8547	0,0003084
Traço 4	12,95	11,29	5,906	1,635		0,005981
Traço 5	18,34	16,67	11,29	7,019	5,384	

Fonte: O autor.

Diante dos resultados obtidos no teste Tukey, pode-se afirmar que apenas o traço 1 não possui variação significativa na massa dos blocos quando comparado ao traço referência. Além disso, o traço 3 também não possui variação significativa na massa dos blocos quando comparado ao traço 4. Todas as demais comparações resultaram em variações significativas.

Com intuito de visualizar mais claramente estas variações foi elaborado um *boxplot* com os resultados deste ensaio (Figura 14).

Figura 14 – *Boxplot* da massa dos blocos de cada traço



Fonte: O autor.

Por meio do *boxplot* apresentado na Figura 14, verifica-se visualmente que não existe uma variação significativa na massa dos blocos entre o traço referência (0% de substituição) e o traço 1 (20% de substituição), considerando a proximidade entre as medianas e quartis destes traços. O mesmo vale para a comparação entre os traços 3 e 4.

Além disso, observa-se neste *boxplot*, uma distância maior entre o primeiro e o terceiro quartil do traço 5 (100% de substituição), evidenciando uma maior variação na massa dos blocos deste traço. Como os agregados de resíduo de concreto tendem a ser mais heterogêneos do que os agregados naturais, e como o traço 5 possui mais ARC's do que os demais traços, esta heterogeneidade pode ter sido a causa desta maior variação na massa dos blocos deste traço.

4.5.3 Absorção de água por imersão

Aos 28 dias de idade foi verificada a absorção de água por imersão dos blocos de cada traço. Para isso, foi executado o ensaio seguindo os procedimentos

determinados pela NBR 12118 (ABNT, 2013). Os resultados deste ensaio estão apresentados na Tabela 24.

Tabela 24 - Resultados dos ensaios de absorção de água por imersão dos blocos

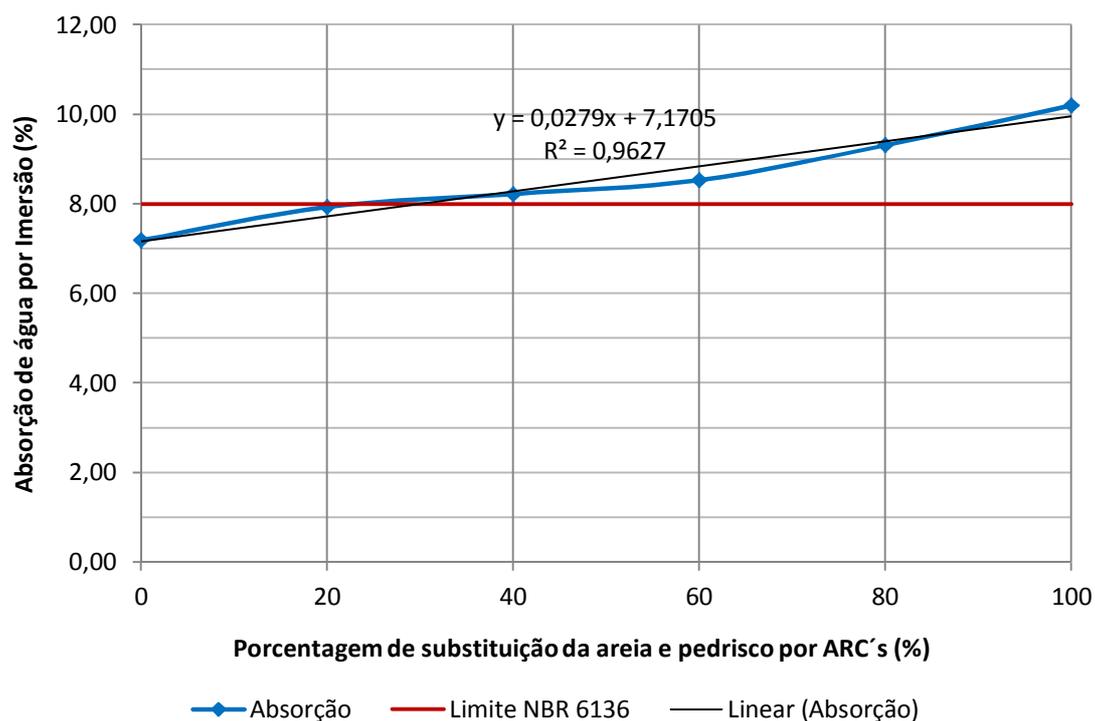
	B1	B2	B3	Média	σ
Traço Referência	6,99%	7,38%	7,20%	7,19%	0,19%
Traço 1	8,02%	7,91%	7,87%	7,93%	0,08%
Traço 2	8,80%	8,39%	7,46%	8,22%	0,69%
Traço 3	8,25%	8,04%	9,30%	8,53%	0,67%
Traço 4	9,55%	9,21%	9,17%	9,31%	0,21%
Traço 5	9,96%	9,87%	10,77%	10,20%	0,50%

Fonte: O autor.

A NBR 6136 (ABNT, 2016) define os limites para a taxa de absorção de água de blocos da Classe A como sendo de 9% para cada bloco individual e 8% para a média. Analisando os resultados deste ensaio, pode-se observar que os traços referência, traço 1 e traço 2 atenderam os limites para a absorção individual dos blocos. Entretanto, apenas o traço referência e o traço 1 atenderam os limites definidos para a absorção média.

Observa-se também que quanto maior é a substituição dos agregados naturais pelos ARC's, maior é a absorção de água dos blocos produzidos. Na Figura 16 é apresentado um gráfico com a absorção de água média dos blocos de cada um dos traços testados, evidenciando este aumento.

Figura 15 – Médias de absorção de água por imersão dos blocos



Fonte: O autor.

Consta também na Figura 15 o limite da taxa de absorção média dos blocos definido pela NBR 6136, confirmando que apenas o traço referência e o traço com 20% de substituição (traço 1) atendem este requisito. Verifica-se uma correlação linear entre os resultados obtidos, com R^2 superior a 0,96.

Para comprovar se o aumento na absorção de água dos blocos é resultado da substituição da areia e pedrisco por ARC's, foi feita a análise de variância dos resultados obtidos. Os resultados desta análise são apresentados na Tabela 25.

Tabela 25 - ANOVA para os resultados de absorção de água por imersão dos blocos

Fator: substituição da areia e pedrisco por ARC						
Níveis do fator: 6 porcentagens de substituição						
Tratamentos: 0%, 20%, 40%, 60%, 80% e 100%						
Variável resposta: influência da substituição da areia e pedrisco por ARC na absorção de água dos blocos de concreto						
Número total de parcelas: 18						
Número de repetições: 3 blocos para cada traço						
<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	16,91574	5	3,383148	16,07796	0,0000589	3,105875
Dentro dos grupos	2,525057	12	0,210421			
Total	19,4408	17				

Fonte: O autor.

Observa-se na análise de variância que: a variância (MQ) entre os grupos é superior à variância interna dos grupos, o parâmetro F é maior do que o F crítico calculado e o P-valor é inferior a 5%. Desta forma, pode-se confirmar que a substituição dos agregados naturais por ARC's influenciou significativamente no aumento da absorção de água dos blocos.

O teste Tukey foi realizado para verificar quais traços testados possuem variação significativa na taxa de absorção de água dos blocos quando comparados ao traço referência. Os resultados deste teste são apresentados na Tabela 26.

Tabela 26 - Comparações realizadas pelo teste Tukey (absorção de água por imersão)

	Traço Referência	Traço 1	Traço 2	Traço 3	Traço 4	Traço 5
Traço Referência		0,4024	0,1367	0,03452	0,001247	0,000189
Traço 1	2,809		0,9699	0,6168	0,02927	0,0007516
Traço 2	3,88	1,071		0,9544	0,1029	0,00211
Traço 3	5,064	2,255	1,184		0,3555	0,007887
Traço 4	8,011	5,202	4,131	2,947		0,2375
Traço 5	11,37	8,565	7,495	6,311	3,363	

Fonte: O autor.

Diante dos resultados encontrados no teste Tukey, pode-se afirmar que os traços 1 e 2 não possuem variação significativa na taxa de absorção de água dos blocos quando comparados ao traço referência. Para os demais traços essa variação foi significativa.

4.5.4 Resistência à compressão

Os blocos utilizados nos ensaios de resistência à compressão tiveram suas faces de trabalho regularizadas conforme definido na NBR 12118 (ABNT, 2013). Esta regularização foi efetuada com argamassa 48 horas antes dos ensaios de resistência à compressão (Figura 16).

Figura 16 – Blocos sendo regularizados com argamassa



Fonte: O autor.

Após a secagem da argamassa os blocos foram colocados em ambiente de laboratório (Figura 17) e foram submetidos ao ensaio de compressão conforme definido na NBR 12118 (ABNT, 2013) (Figura 18).

Figura 17 – Blocos regularizados para ensaio de resistência à compressão



Fonte: O autor.

Figura 18 – Ensaio de resistência à compressão



Fonte: O autor.

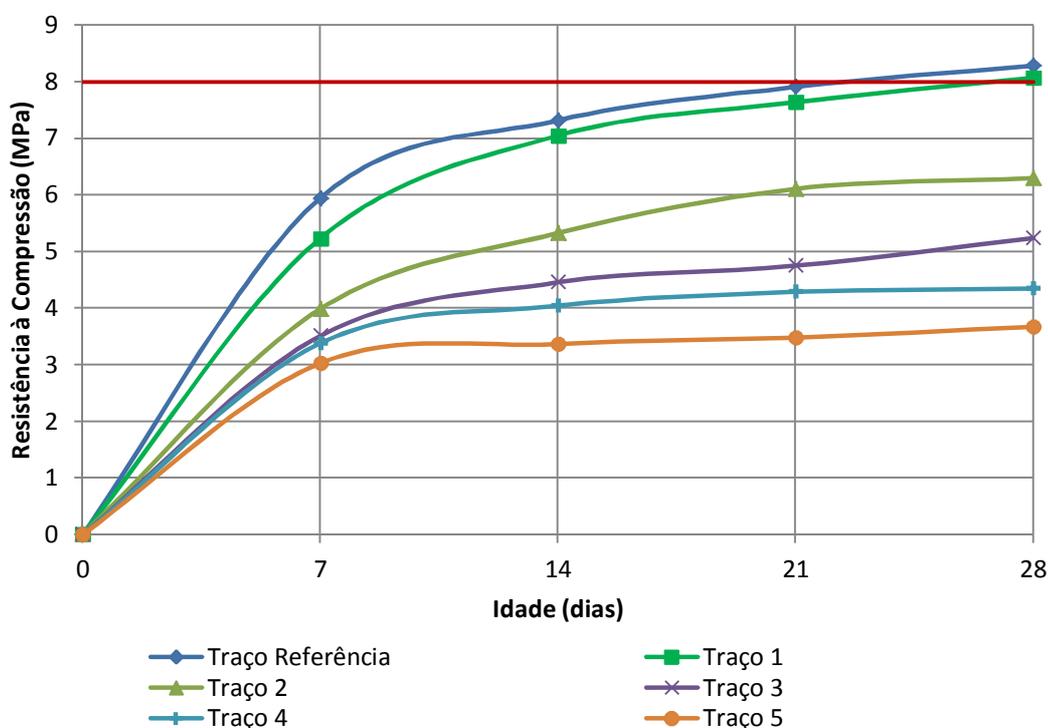
A média dos resultados dos ensaios de resistência à compressão de cada traço nas quatro idades testadas estão apresentados na Tabela 27 e na Figura 19.

Tabela 27 - Evolução da resistência mecânica à compressão dos blocos

Resistência à Compressão				
	7 dias	14 dias	21 dias	28 dias
Traço Referência	5,94 MPa	7,32 MPa	7,91 MPa	8,29 MPa
Traço 1	5,23 MPa	7,05 MPa	7,64 MPa	8,07 MPa
Traço 2	3,99 MPa	5,33 MPa	6,11 MPa	6,30 MPa
Traço 3	3,51 MPa	4,46 MPa	4,75 MPa	5,24 MPa
Traço 4	3,38 MPa	4,04 MPa	4,29 MPa	4,35 MPa
Traço 5	3,03 MPa	3,37 MPa	3,48 MPa	3,67 MPa

Fonte: O autor.

Figura 19 – Evolução da resistência mecânica à compressão dos blocos



Fonte: O autor.

Por meio destes resultados observa-se que nenhum dos traços testados atingiu a resistência mínima definida pela NBR6136 (ABNT, 2016) antes dos 28 dias de idade. Pode-se verificar também que quanto maior é a substituição dos agregados naturais por ARC's menor é a resistência média dos blocos.

Com o intuito de interpretar as variações de resistência encontradas, efetuou-se uma análise mais detalhada dos resultados dos ensaios de compressão realizados aos 28 dias. Foi escolhida esta idade tendo em vista que é a preconizada para este ensaio pela

NBR 6136 (ABNT, 2016). Os resultados dos 6 blocos ensaiados para cada traço nesta idade são apresentados na Tabela 28.

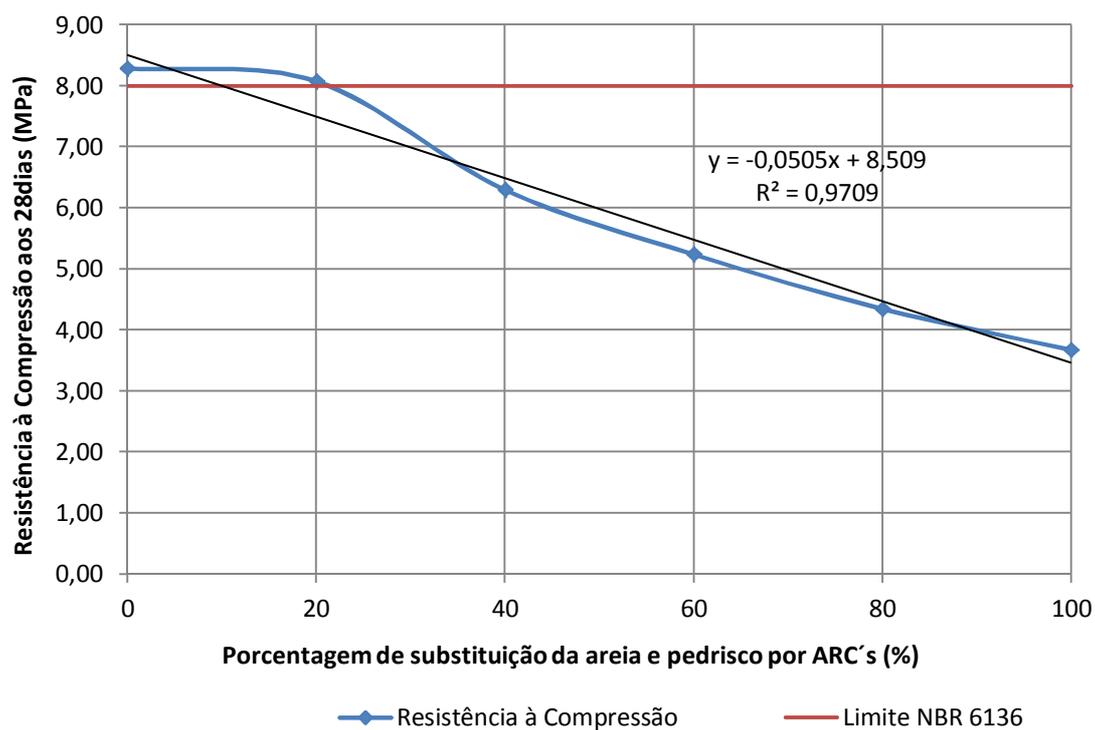
Tabela 28 - Resultados dos ensaios de resistência mecânica à compressão dos blocos aos 28 dias

	Traço Referência	Traço 1	Traço 2	Traço 3	Traço 4	Traço 5
B1	9,81 MPa	7,34 MPa	5,00 MPa	4,79 MPa	4,03 MPa	3,35 MPa
B2	7,35 MPa	8,31 MPa	7,31 MPa	4,71 MPa	3,99 MPa	3,57 MPa
B3	8,88 MPa	8,74 MPa	7,59 MPa	5,38 MPa	4,12 MPa	4,10 MPa
B4	7,79 MPa	8,05 MPa	7,37 MPa	5,57 MPa	4,40 MPa	3,71 MPa
B5	8,07 MPa	7,50 MPa	5,78 MPa	5,98 MPa	4,89 MPa	4,14 MPa
B6	7,84 MPa	8,50 MPa	4,72 MPa	5,00 MPa	4,64 MPa	3,17 MPa
Média	8,29 MPa	8,07 MPa	6,30 MPa	5,24 MPa	4,35 MPa	3,67 MPa
σ	0,90MPa	0,56MPa	1,28MPa	0,49MPa	0,36MPa	0,39MPa

Fonte: O autor.

A NBR 6136 (ABNT, 2016) define como 8 MPa a resistência mínima para blocos da Classe A. Analisando os resultados deste ensaio, pode-se observar que os traços referência e o traço 1 (20% de substituição) foram os únicos a atender este limite.

Na Figura 20 é apresentado um gráfico com a resistência média dos blocos de cada um dos traços aos 28 dias e o limite definido pela norma.

Figura 20 – Resistência mecânica à compressão dos blocos aos 28 dias

Fonte: O autor.

Observa-se uma redução na resistência dos blocos devido ao aumento da substituição dos agregados. Além disso, nota-se novamente uma correlação linear entre os resultados encontrados neste ensaio, com R^2 superior a 0,97.

Para comprovar que esta diminuição de resistência dos blocos é proveniente da substituição da areia e pedrisco por ARC's, foi realizada a análise de variância dos resultados obtidos. Os resultados desta análise são apresentados na Tabela 29.

Tabela 29 - ANOVA para os resultados de resistência à compressão dos blocos aos 28 dias

Fator: substituição da areia e pedrisco por ARC
 Níveis do fator: 6 porcentagens de substituição
 Tratamentos: 0%, 20%, 40%, 60%, 80% e 100%

Variável resposta: influência da substituição da areia e pedrisco por ARC na resistência mecânica a compressão dos blocos de concreto
 Número total de parcelas: 36
 Número de repetições: 6 blocos para cada traço

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	110,167	5	22,03341	39,99275	2,19E-12	2,533555
Dentro dos grupos	16,52805	30	0,550935			
Total	126,6951	35				

Fonte: O autor.

Por meio dos resultados apresentados na Tabela 29, confirma-se que a substituição dos agregados naturais por ARC's teve influência na redução da resistência mecânica dos blocos. Esta confirmação é possível tendo em vista que: a variância (MQ) entre os grupos é superior à variância interna dos grupos, o parâmetro F é maior do que o Fcrítico calculado e o P-valor é inferior a 5%.

Foi realizado o teste Tukey para verificar quais traços possuem variação significativa de resistência à compressão quando comparados ao traço referência. Os resultados deste teste são apresentados na Tabela 30.

Tabela 30 - Comparações realizadas pelo teste Tukey (resistência à compressão)

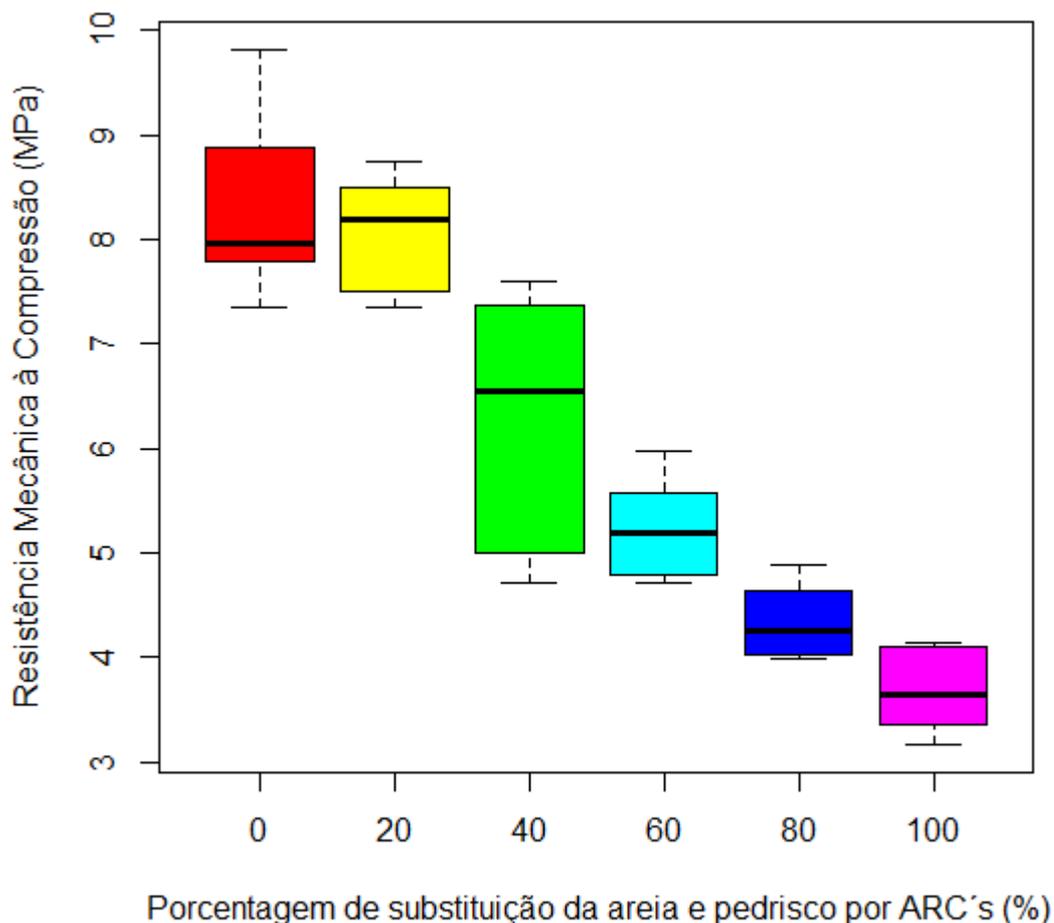
	Traço Referência	Traço 1	Traço 2	Traço 3	Traço 4	Traço 5
Traço Referência		0,9956	0,0009158	0,0001345	0,0001341	0,0001341
Traço 1	0,715		0,003244	0,000136	0,0001341	0,0001341
Traço 2	6,584	5,869		0,1668	0,001176	0,0001437
Traço 3	10,07	9,356	3,487		0,322	0,01159
Traço 4	13,02	12,3	6,435	2,948		0,6253
Traço 5	15,24	14,52	8,652	5,165	2,217	

Fonte: O autor.

Analisando os resultados encontrados no teste Tukey, pode-se afirmar que apenas o traço 1 não possui variação significativa na resistência à compressão quando

comparado ao traço referência. Com intuito de visualizar mais claramente estas variações foi elaborado um *boxplot* com os resultados deste ensaio (Figura 21).

Figura 21 – *Boxplot* da resistência mecânica à compressão de cada traço



Fonte: O autor.

Analisando o *boxplot* apresentado na Figura 21, verifica-se visualmente que não existe uma variação significativa na resistência mecânica à compressão dos blocos entre o traço referência (0% de substituição) e o traço 1 (20% de substituição), considerando a proximidade entre as medianas e quartis destes traços. Além disso, observa-se também neste *boxplot*, uma distância maior entre o primeiro e o terceiro quartil do traço 2 (40% de substituição), evidenciando uma maior diferença na resistência mecânica dos blocos deste traço. Esta diferença é provavelmente resultado de variações durante o processo de moldagem dos blocos deste traço.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 CONCLUSÃO DO ESTUDO

A caracterização dos agregados demonstrou que os agregados de resíduo de concreto apresentam propriedades diferentes dos agregados naturais. Entre elas estão: menor massa específica, menor massa unitária, maior capacidade de absorção de água e granulometria mais fina. Foi confirmado, por meio da análise de variância dos resultados dos ensaios dos blocos, que estas características influenciaram diretamente nas propriedades dos blocos produzidos, entre elas: absorção de água, massa específica e resistência mecânica à compressão.

Constatou-se que a incorporação de agregados reciclados aumentou a absorção de água dos blocos. No traço testado com 100% de substituição de areia e pedrisco por ARC's (traço 5), esse aumento foi superior a 40% em relação ao traço referência. Os traços com substituição de 60% ou mais não produziram blocos capazes de atender as exigências da NBR 6136 (ABNT, 2016) para blocos de classe A (traços 3, 4 e 5). Os blocos produzidos com o traço de 40% de substituição (traço 2) tiveram uma absorção de água inferior ao limite máximo definido pela norma para blocos individuais, entretanto não para o limite definido para a média da amostra testada.

Observou-se ainda que quanto maior é a proporção de ARC's no traço do concreto, menor é a massa específica dos blocos produzidos. Essa característica é resultante da menor massa específica deste tipo de agregado. Isso fez com que os blocos produzidos com ARC's fossem mais leves do que os do traço referência, sendo essa uma qualidade almejada na produção de blocos.

O aumento da substituição dos agregados naturais por ARC's reduziu a resistência mecânica dos blocos. A média de resistência das amostras ensaiadas caiu de 8,29 MPa no traço referência para 3,67 MPa no traço com 100% de substituição (traço 5). Os traços a partir de 40% de substituição não produziram blocos capazes de atender as exigências da NBR 6136 (ABNT, 2016) para blocos de classe A (traços 2, 3, 4 e 5).

Por meio da análise estatística dos resultados, foi demonstrado que os agregados reciclados analisados podem substituir os agregados naturais em até 20% sem que ocorra diminuição significativa nas propriedades físicas e mecânicas dos blocos produzidos. Proporções de incorporação superiores a 5% são autorizadas pela NBR 7211 (ABNT, 2009) desde que o agregado atenda aos requisitos desta norma.

Portanto, conclui-se neste estudo que agregados de resíduo de concreto podem ser incorporados na produção de blocos estruturais de concreto de classe A, desde que seja feita a caracterização destes agregados. A NBR15116 (ABNT, 2004) cita que o uso de agregados reciclados em concreto pode ser realizado se não contrariar exigências contidas nas normas pertinentes à aplicação específica de cada caso. Os blocos produzidos neste estudo com 20% de substituição de areia e pedrisco por agregados de resíduos de concreto atenderam as exigências da NBR6136 (ABNT, 2016) para blocos de classe A, confirmando a possibilidade desta substituição.

5.2 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

Com o objetivo de dar continuidade a esta pesquisa são apresentadas neste item sugestões para trabalhos futuros.

5.2.1 Testar outras proporções de substituição

Esta pesquisa comprovou que para os agregados reciclados utilizados, substituições a partir de 20% do total de agregados comprometeram as propriedades físicas e mecânicas dos blocos produzidos. Porém, não foi determinado qual o limite exato para esta substituição, tampouco as características de blocos produzidos utilizando traços entre 20 e 40% de substituição. Logo, um estudo que avaliasse diversas proporções de substituição nesta faixa poderia apresentar resultados que complementassem essa pesquisa.

5.2.2 Repetir o processo em uma fábrica de blocos

Uma das variáveis que interfere diretamente na qualidade de blocos é o tipo de equipamento utilizado em sua moldagem (ALBUQUERQUE, 2005). Desta forma, vibro-prensas utilizadas comercialmente podem atingir resultados diferentes utilizando os traços analisados nesta pesquisa. Além disto, existem outras dificuldades encontradas no processo de moldagem de blocos em larga escala. Portanto, repetir os ensaios efetuados neste trabalho em blocos produzidos comercialmente, empregando os mesmos agregados reciclados em traço com substituição de até 20%, representaria mais uma etapa com o objetivo de incorporar este material na produção de blocos de concreto.

5.2.3 Substituir a areia artificial por outro material

A areia artificial utilizada no traço referência não foi substituída em nenhum dos traços testados nesta pesquisa. Esta substituição não foi realizada, tendo em vista que este material possui uma distribuição granulométrica com uma diferença considerável em relação aos agregados reciclados testados. Entretanto, materiais reciclados com características similares poderiam ser utilizados nesta substituição. Desta maneira, poderia ocorrer um aumento na quantidade de resíduos aproveitados por estes blocos. Para isso, novos estudos e ensaios fazem-se necessários para avaliar os impactos nas propriedades dos blocos produzidos.

5.2.4 Alterar o tipo de aditivo utilizado

A utilização de aditivo incorporador de ar para produção dos blocos de concreto desta pesquisa seguiu as práticas adotadas comercialmente. Entretanto, em conjunto com os agregados reciclados, resultados melhores podem ser encontrados com o uso de outros tipos de aditivos. Por isso, um estudo que avaliasse diferentes tipos de aditivos utilizando os mesmos materiais e traços definidos nesta pesquisa poderia complementar este trabalho.

5.2.5 Realizar ensaio de retração por secagem

Por se tratar de um ensaio facultativo segundo a NBR 6136 (ABNT, 2016), o ensaio de retração por secagem dos blocos não foi efetuado nesta pesquisa. Contudo, essa análise pode ser interessante tendo em vista que estudos sobre a incorporação de agregados reciclados em blocos demonstram um aumento nesta retração por secagem (BUTTLER, 2007). A NBR 6136 (ABNT, 2016) estabelece limites para esta retração e a NBR 15116 (ABNT, 2004) especifica os métodos a serem seguidos neste ensaio.

5.2.6 Alterar os traços para produção de blocos Classe B

Esta pesquisa teve por objetivo a produção de blocos estruturais classe A com agregados reciclados. Estes mesmos agregados reciclados poderiam ser incorporados na

produção de blocos estruturais de classe B. Para esta classe a resistência a compressão mínima definida pela NBR 6136 (ABNT, 2016) é menor, entre 4 e 8 MPa, e a taxa de absorção de água máxima é maior, sendo de 10% para cada bloco e de 9% para a média da amostra. Com isso, a taxa de incorporação de agregados reciclados que produzisse blocos de acordo com as exigências da norma poderia ser maior.

REFERÊNCIAS

- AGRELA, F.; ALAEJOS, P. **Properties of concrete with recycled aggregates.** Handbook of recycled concrete and demolition waste, p. 304-327, 2013.
- ALBUQUERQUE, S. M. **Estudo para uso de agregado de resíduos de construção e demolição em blocos de concreto para alvenaria.** Dissertação (Mestrado) – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo, 2005.
- ANGULO, S. C. **Caracterização de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados e a influência de suas características no comportamento de concretos.** Tese (Doutorado), Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND – ABCP. **Guia básico de utilização do cimento Portland.** Boletim Técnico 106, São Paulo, 1997.
- ABRELPE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2017.** São Paulo, 2017
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NM 30: Agregado miúdo - Determinação da absorção de água.** Rio de Janeiro, 2001.
- _____. **NM 45: Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios.** Rio de Janeiro, 2006.
- _____. **NM 46: Agregados - Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 um, por lavagem.** Rio de Janeiro, 2003.
- _____. **NM 52: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente.** Rio de Janeiro, 2009.
- _____. **NM 53: Agregado graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água.** Rio de Janeiro, 2009.
- _____. **NM 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica.** Rio de Janeiro, 2003.
- _____. **NBR 6136: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Requisitos.** Rio de Janeiro, 2016.
- _____. **NBR 7211: Agregados para concreto - Especificações.** Rio de Janeiro, 2009.
- _____. **NBR 7218: Agregados - Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis.** Rio de Janeiro, 2010.
- _____. **NBR 9775: Agregado miúdo - Determinação do teor de umidade superficial por meio do frasco de Chapman - Método de ensaio.** Rio de Janeiro, 2011.
- _____. **NBR 9917: Agregados - Agregados para concreto- Determinação de sais, cloretos e sulfatos solúveis.** Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR 12118: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria — Métodos de ensaio.** Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 15116: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos.** Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR 16697: Cimento Portland – Requisitos.** Rio de Janeiro, 2018.

BANTHIA, N.; CHAN, C. **Use of recycled aggregate in plain and fiber-reinforced shotcrete.** *Concrete International*, v. 22, n. 06, p. 41-45, 2000.

BARRA, M. **Estudio de la durabilidad del hormigón de árido reciclado en su aplicación como hormigón armado.** Tese (doutorado). Escola técnica Superior d'Enginyers de Camin, Canal i Ports. Universitat Politècnica de la Catalunya, Barcelona, 1996.

BEISER, V. **Why the world is running out of sand.** BBC Future Disponível em: www.bbc.com/future/article/20191108-why-the-world-is-running-out-of-sand acessado em 28/11/2019.

BEHERA, M.; BHATTACHARYYA, S. K.; MINOCHA, A. K.; DEOLIYA, R.; MAITI, S. **Recycled aggregate from CeD waste e its use in concrete – A breakthrough towards sustainability in construction sector: A review.** *Construction and Building Materials*, 68, p.501–516, 2014.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº. 307, de 05/07/2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil.** Diário Oficial da República Federativa do Brasil, nº. 136, 17/07/2002. Seção 1, p. 95-96. Brasília, 2002.

BRASIL. Ministério das Cidades. Ministério do Meio Ambiente. **Área de manejo de resíduos da construção e resíduos volumosos: orientação para o seu licenciamento e aplicação da Resolução Conama 307/2002.** 2005.

BRASILEIRO, L. L.; MATOS, J. M. E. **Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil.** *Cerâmica*, 61 p. 178-189, 2015.

BUTTLER, A. M. **Concreto com agregados graúdos reciclados de concreto – Influência da idade de reciclagem nas propriedades dos agregados e concretos reciclados.** Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

BUTTLER, A. M. **Uso de agregados reciclados de concreto em blocos de alvenaria estrutural.** Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

CABRAL, A. E. B. **Modelagem de propriedades mecânicas e de durabilidade de concretos produzidos com agregados reciclados, considerando-se a variabilidade**

da composição do RCD. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2007.

CABRAL, A. E. B.; SCHALCH, V.; DAL MOLIN, D. C. C.; RIBEIRO, J. I. D.; RAVINDRARAJAH, R. S. **Shrinkage modeling for recycled aggregate concretes.** Revista Ibracon de Estruturas e Materiais. Volume 3, p. 1-23, 2010.

CAPELLO, G. **Entulho vira matéria-prima.** Técnica, São Paulo, ed. 112, jul. 2006.

DANTAS FILHO, F. P. **Contribuição ao estudo para aplicação do pó de serra da madeira em elementos de alvenaria de concreto não estrutural.** Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

DANTAS, M. B.; SCHMITT, G. B.; GOMES FREITAS, M. D.; FERRÚA, L.; SOUZA, M. D. E. **Mapeamento de Incentivos Econômicos para a Construção Sustentável.** Câmara Brasileira da Indústria da Construção, Florianópolis, 2015.

DE BRITO, J.; SAIKIA, N. **Recycled Aggregate in Concrete: Use of Industrial, Construction and Demolition Waste.** Green Energy and Technology, 2013.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL (DNPM). **Sumário mineral 2016.** Brasília, 2018.

DONAT, L.M.; BECK, M.H.; TOEBE, D. **Diagnóstico de Resíduos de Construção e Demolição do Município de Foz do Iguaçu.** I Encontro Latino Americano de Universidades Sustentáveis (ELAUS). Passo Fundo, 2008.

DUMET, T. B.; PINHEIRO, L. M. **A evolução do concreto: uma viagem no tempo.** Congresso Brasileiro de Concreto, 42., IBRACON, São Paulo, 2000.

FELLIPE, A. S. **Contribuição para a otimização de traços de concreto utilizados na produção de blocos estruturais.** Dissertação (Mestrado) Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2010.

FERNANDES, I. D. **Blocos e Pavers – Produção e controle de qualidade.** 6ª edição. Ribeirão Preto, São Paulo, 2015.

FERREIRA JÚNIOR, S. **Produção de Blocos de Concreto para Alvenaria; Prática Recomendada.** Boletim Técnico, n. 107, ABCP, São Paulo, 1985.

FOLINO, P.; XARGAY, H. **Recycled aggregate concrete – Mechanical behavior under uniaxial and triaxial compression.** Construction and Building Materials, n.56, p.21–31, 2014.

FRASSON JÚNIOR, A. **Metodologia de dosagem e controle do processo produtivo de blocos de concreto para alvenaria estrutural.** Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

GHERNOUTI, Y.; RABEHI, B.; BOUZIANI, T.; CHAID, R. **Valorization of brick wastes in the fabrication of concrete blocks.** *Materials and technology*, n.50, p.911–916, 2016.

GOLDSTEIN, H. **Not your father's concrete.** *Civil Engineering*, v. 65, n. 5, p. 60-63, 1995.

HIETE, M. **Waste management plants and technology for recycling construction and demolition (CeD) waste: state- of-the- art and future challenges.** *Handbook of recycled concrete and demolition waste*. Chapter 4, 2013.

HOSSAIN, M. U.; XUAN, D. X.; POON, C. S. **Sustainable management and utilization of concrete slurry waste: a case study in Hong Kong.** *Waste Management* 61, p. 397-404. 2017.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Anual da Indústria da Construção (Paic), 2017.** [Online] Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/industria/9018-pesqui?=&t=downloads>. Acesso em: 12 de Julho de 2019.

ISMAIL, S.; RAMLI, M. **Mechanical strength and drying shrinkage properties of concrete containing treated coarse recycled concrete aggregates.** *Construction and Building Materials*, n.68, p.726–739, 2014.

JOHN, V. M.; AGOPYAN, V. **Reciclagem de resíduos da construção.** Seminário reciclagem de resíduos sólidos domiciliares, São Paulo, 2003.

KARPINSKI, L. A., PANDOLFO, A., REINEHR, R., GUIMARÃES, J., PANDOLFO, L., KUREK, J., ROJAS, J. W. J. **Gestão de resíduos da construção civil: uma abordagem prática no município de Passo Fundo-RS.** *Estudos tecnológicos*, v.4, n.2, p.69-87, 2008.

KHOSHKENARI, A. G; SHAFIGH, P.; MOGHIMI, M.; MAHMU, HILMI B. **The role of 0–2mm fine recycled concrete aggregate on the compressive and splitting tensile strengths of recycled concrete aggregate concrete.** *Materials e Design*, n.64, p.345–354, 2014.

KOU, S. C.; ZHAN, B. J.; POON, C. S. **Properties of partition wall blocks prepared with fresh concrete wastes.** *Construction and Building Materials* 36, p. 566-571. 2012.

LEVY, S. M.; HELENE, P. R. L. **Evolução histórica da utilização do concreto como material de construção.** *Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, BT/PCC/318*, São Paulo, 2002.

LI, W.; JIANZHUANG, X.; ZHIHUI, S.; SHIHO, K.; SURENDRA, S. P. **Interfacial Transition Zones in Recycled Aggregate Concrete with Different Mixing Approaches.** *Construction and Building Materials*, n.35, p.1045–1055, 2012.

LIMA, F.M.R.S. **A formação da mineração urbana no Brasil: reciclagem de RCD e a produção de agregados.** Tese (Doutorado), Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

LIU, Y.; HOSSAIN, M. U.; LING, T. C. **Carbon footprint of block prepared with recycled aggregate: a case study in China.** 14th International Conference on Concrete Engineering and Technology, Materials Science and Engineering, n.431, 2018.

MARINKOVIC, S.; RANDONJANIN, V.; MALESEV, M.; IGNJTOVIC, I. **Comparative environmental assessment of natural and recycled aggregate concrete.** Encontrado em: Waste Management, v. 30, p. 2255–2264. Elsevier Ltd, 2010.

MEDEIROS, J. S. **Blocos de concreto para alvenaria estrutural: Avaliação de parâmetros básicos para a produção.** 5th International Seminar on Structural Mansonry for Developing Countries, Florianópolis, 1994.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais.** São Paulo. 674 p. Ed. IBRACON, 2014.

MEFTEH, H.; KEBÄILI, O.; OUCIEF, H.; BERREDJEM, L.; ARABI, N. **Influence of moisture conditioning of recycled aggregates on the properties of fresh and hardened concrete.** Journal of Cleaner Production, n.54, p.282–288, 2013.

MENG, Y.; LING, T.; MOB, K. H. **Recycling of wastes for value-added applications in concrete blocks: An Overview.** Resources, Conservation & Recycling, n.138, p. 298–312, 2018.

MIRANDA, L. F. R.; ANGULO, S. C.; CARELI, E. D. **A reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil: 1986-2008.** Ambiente Construído, v.9, p.57-71, Porto Alegre, 2009.

MOREIRA, L. H. H. **Avaliação da Influência da Origem e do Tratamento dos Agregados Reciclados de Resíduos de Construção e Demolição no Desempenho Mecânico do Concreto Estrutural.** Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

NASCIMENTO, A. **Construção é responsável por quase metade do lixo.** Gazeta do Povo, Curitiba, 11 abr. 2010, Seção Meio Ambiente.

NEPOMUCENO, M. C. S.; ISIDORO, R. A. S.; CATARINO J. P. G. **Mechanical performance evaluation of concrete made with recycled ceramic coarse aggregates from industrial brick waste.** Construction and Building Materials, n. 165, p. 284–294, 2018.

NOGUEIRA, G. R. I. F. **A extração de areia em cursos d'água e seus impactos: proposição de uma matriz de interação.** Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2016.

O'BRIEN, J. **Global aggregates growth examined** Disponível em: www.aggbusiness.com/sections/market-reports/features/global-aggregates-growth-examined-by-gain-convenor-jim-obrien/ acessado em 28/11/2019.

PAVLU, T.; FORTOVA, K.; DIVIS, J.; HAJEK, P. **The Utilization of Recycled Masonry Aggregate and Recycled EPS for Concrete Blocks for Mortarless Masonry.** *Materials*, n.12, 2019.

PELISSARI, V. **Propriedades de concretos produzidos através da utilização de agregados reciclados de concreto.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

PENG, G.; HUANG Y.; WANG H.; ZHANG J.; LIU Q. **Mechanical Properties of Recycled Aggregate Concrete at Low and High Water/Binder Ratios.** *Advances in Materials Science and Engineering*, p.1–6, 2013.

PIETERSEN, H. S.; FRAAY, A. L. A. **Performance of concrete with recycled aggregates.** *Materials and Technologies for Sustainable Construction – CIB World 246 Building Congress*, p.425-434, Gävle, Sweden, 1998.

PINTO, T. P. **Utilização de resíduos de construção. Estudo do uso em argamassas.** Dissertação (Mestrado), Departamento de Arquitetura e Planejamento da Universidade de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1986.

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

POUEY, M.T.F. **Beneficiamentos da cinza de casca de arroz residual com vistas à produção de cimento composto e/ou pozolânico.** Tese (Doutorado) Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

PRUDÊNCIO JÚNIOR, L. R., OLIVEIRA, A. L., BEDIN, C. A. **Alvenaria estrutural de blocos de concreto.** 1ª ed. Grupo de Tecnologia em Materiais e Componentes à Base de Cimento Portland. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

REGE, A. **Not biting the dust: using a tripartite model of organized crime to examine India's Sand Mafia.** *International Journal of Comparative and Applied Criminal Justice*, 40:2, 101-121, 2016.

SAGOE-CRENTSIL, K.; TAYLOR, A.; BROWN, T. **Performance of concrete made with commercially produced coarse recycled concrete aggregate.** *Cement and Concrete Research*, v. 31, n.5, p. 707-712, 2001.

SCHULZ, R. R.; HENDRICKS, Ch. F. **Recycling of masonry rubble.** *Recycling of demolished concrete and masonry*, p.161-255. London, 1992.

SILVA, R. V., DE BRITO, J., e DHIR, R. K. **Properties and composition of recycled aggregates from construction and demolition waste suitable for concrete production.** *Construction and Building Materials*, 65, 201–217. 2014.

SOUSA, J.G.G. **Contribuição ao estudo da relação entre propriedades e proporcionamento de blocos de concreto – aplicação ao uso de entulho como agregado reciclado.** Dissertação (Mestrado), Universidade de Brasília, Brasília, 2001.

TANGO, C.E.S. **Blocos de concreto: dosagem, produção e controle de qualidade**. 1^a ed. Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, São Paulo, 1984.

VAN DER WEGEN, G.; HEVERKORT, R. **Recycled construction and demolition wastes as a fine aggregate for concrete**. Sustainable Construction: Use of Recycled Concrete Aggregate, p. 333-345, London, 1998.

XIAO, J.; WENGUI, L.; ZHIHUI SUN, D. A.; SHAH, S. P. **Properties of Interfacial Transition Zones in Recycled Aggregate Concrete Tested by Nanoindentation**. Cement and Concrete Composites 37, p. 276–92. 2013.

ZHAN B. J.; POON, C. S.; SHI, C. J. **Materials characteristics affecting CO₂ curing of concrete blocks containing recycled aggregates**. Cement and Concrete Composites 67, p. 50-59. 2016.

ZHENG, C.; LOU, C.; DU, G.; LI, X.; LIU, Z.; LI, L.; **Mechanical properties of recycled concrete with demolished waste concrete aggregate and clay brick aggregate**. Results in Physics, n. 9, p. 1317–1322, 2018.