



UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
NÍVEL MESTRADO

ALESSANDRA PACHECO CAVALHEIRO

**CONTRIBUIÇÃO PARA A IMPLEMENTAÇÃO DE
AGREGADO RECICLADO DE CONCRETO EM UMA
EMPRESA DE PRÉ-FABRICADOS DE CONCRETO**

SÃO LEOPOLDO, 2011.

C376c Cavalheiro, Alessandra Pacheco.
Contribuição para a implementação de agregado reciclado de concreto em uma empresa de pré-fabricados de concreto / Alessandra Pacheco Cavalheiro. – 2011.
151 f. ; il. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2011.

"Orientador: Prof. Dr. Claudio de Souza Kazmierczak ; co-orientadora: Prof^a. Dra. Marlova Piva Kulakowski."

1. Agregado reciclado de concreto. 2. Propriedades mecânicas. 3. Pré-fabricados. 4. Engenharia civil. 5. Concreto. I. Título.

CDU 624

ALESSANDRA PACHECO CAVALHEIRO

**CONTRIBUIÇÃO PARA A IMPLEMENTAÇÃO DE
AGREGADO RECICLADO DE CONCRETO EM UMA
EMPRESA DE PRÉ-FABRICADOS DE CONCRETO**

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção título de Mestre, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade do Vale do Rio dos Sinos.

Orientador: Prof. Dr. Claudio de Souza Kazmierczak

Co-Orientadora: Prof^ª. Dra. Marlova Piva Kulakowski

Banca examinadora: Prof^ª. Dra. Mônica Batista Leite

Prof. Dr. Carlos Alberto M. Moraes

SETEMBRO, 2011.

TERMO DE APROVAÇÃO

“CONTRIBUIÇÃO PARA A IMPLEMENTAÇÃO DE AGREGADO RECICLADO DE CONCRETO EM UMA EMPRESA DE PRÉ-FABRICADOS DE CONCRETO”

ALESSANDRA PACHECO CAVALHEIRO

Esta Dissertação de Mestrado foi julgada e aprovada pela banca examinadora no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UNISINOS como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL.

Aprovado por:

Prof. Dr. Claudio de Souza Kazmierczak
Orientador

Prof. Dr. Claudio de Souza Kazmierczak
Coordenador do PPGEC/UNISINOS

Prof. Dra. Marlova Piva Kulakowski Dr.
Coorientadora

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Dra. Mônica Batista Leite

Prof. Dr. Carlos Alberto M. Moraes

SÃO LEOPOLDO, RS – BRASIL
SETEMBRO/2011

*Dedico essa conquista ao meu filho Santiago
e aos meus pais, João e Ananda.*

AGRADECIMENTOS

Deixo aqui registrado os meus agradecimentos a todos que de alguma forma contribuíram de para o êxito deste trabalho.

Primeiramente agradeço ao meu orientador Dr. Claudio de Souza Kazmierczak, pela oportunidade do tema apresentado, na confiança em mim investida, pela pelas orientações, discussões, paciência e compreensão em minha busca por esta conquista.

A minha co-orientadora professora Dra. Marlova Piva Kulakowski, pelo apoio disponibilizado e pelas orientações acadêmicas que contribuíram para engrandecer este trabalho.

A CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

Aos professores do mestrado, por difundirem e ampliarem meus conhecimentos em engenharia.

Ao professor Dr. Carlos A. M. de Moraes, pelas valiosas contribuições dadas na qualificação.

A minha colega Micheli, que compartilhou muitos momentos em minha acadêmica e pessoal. Obrigado por tudo.

Aos meus colegas de mestrado, pelo companheirismo nos estudos e pelo aprendizado de vida.

Aos funcionários do Laboratório de Materiais da Engenharia Civil, Daiana, Maurício, Rodrigo e Felipe pela cordialidade e competência despendida para a realização dos ensaios.

A bolsista de iniciação científica Taiane e Quisi pela ajuda na realização dos ensaios e acompanhamento á empresa de pré-fabricados.

A equipe de profissionais da empresa de pré-fabricados, que disponibilizaram tempo e transferiram conhecimento, essenciais á realização deste trabalho.

A minha mãe e minha irmã Fernanda pelo incentivo, carinho, compreensão e pelo auxílio aos cuidados do meu filho, durante esta longa jornada, que muitas vezes fizeram com que eu ficasse ausente. Vocês são essenciais na minha vida.

Ao meu pai, que mesmo a distância se fez presente, incentivando os meus estudos.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	9
RESUMO	13
ABSTRACT	15
1 INTRODUÇÃO	16
1.1 JUSTIFICATIVA.....	20
1.2 OBJETIVOS.....	22
1.2.1 Objetivo geral	22
1.2.2 Objetivos específicos	22
1.2.3 Delimitações da pesquisa.....	23
1.3 ESTRUTURA DA PESQUISA	23
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	25
2.1 RESÍDUOS DE CONCRETO	25
2.2 PANORAMA DA RECICLAGEM.....	27
2.2.1 Beneficiamento dos resíduos para transformação em agregado	32
2.3 AGREGADOS RECICLADOS DE CONCRETO	35
2.3.1 Normas.....	35
2.3.2 Características do agregado reciclado de concreto	36
2.4 CONCRETO COM AGREGADOS RECICLADOS DE CONCRETO.....	41
2.4.1 Especificações de diversas Normas para uso de agregados reciclados de concreto	42
2.4.2 Características do Concreto convencional e com ARC no estado fresco	43
2.4.3 Características do Concreto convencional e com ARC no estado endurecido	46
2.5 PRÉ-FABRICADOS DE CONCRETO.....	52
2.5.1 Projeto e planejamento.....	53
2.5.2 Características do processo de produção de peças pré-fabricas.....	54
2.5.2.1 Atividades preliminares	55
2.5.2.2 Execução de peças pré-fabricadas	56
2.5.2.3 Atividades posteriores.....	57
3 ESTUDO DE CASO.....	59
3.1 DESCRIÇÃO DA ESTRUTURA FÍSICA	59
3.2 DESCRIÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO	62
3.2.1 Projeto.....	64
3.2.2 Preparo dos materiais.....	64

3.2.3	Produção do concreto.....	65
3.2.4	Transporte da armadura e do concreto.....	66
3.2.5	Preparação da fôrma e armadura	67
3.2.6	Moldagem e adensamento	68
3.2.7	Cura.....	69
3.2.8	Desmoldagem	69
3.2.9	Controle de qualidade das peças prontas	70
3.2.10	Transporte, acabamento final e armazenamento das peças.....	71
3.2.11	Transporte e Montagem das peças.....	71
3.3	DETERMINAÇÃO DOS TEMPOS DECORRIDOS PELO PROCESSO PRODUTIVO DE PEÇAS PRÉ-FABRICADAS DE CONCRETO	71
3.4	DIAGNÓSTICO DOS RESÍDUOS DE CONCRETO	73
3.4.1	Geração de resíduos de concreto	73
3.4.1.1	Identificação dos resíduos de concreto	73
3.4.1.2	Quantificação dos resíduos de concreto.....	78
3.4.2	Propriedades dos resíduos de concreto	83
4	IMPLEMENTAÇÃO DO AGREGADO RECICLADO DE CONCRETO NA PRODUÇÃO DE PEÇAS PRÉ-FABRICADAS.....	86
4.1	METODOLOGIA DA IMPLEMENTAÇÃO DE ARC EM PEÇAS PRÉ-FABRICADAS.....	88
4.1.1	Projeto e Planejamento dos painéis pré-fabricados visando à montagem do protótipo.....	90
4.1.1.1	Projeto.....	90
4.1.1.2	Planejamento da execução das peças pré-fabricadas com ARC visando à montagem do protótipo	90
4.1.2	Preparação dos materiais	91
4.1.2.1	Coleta e armazenamento dos resíduos de concreto.....	92
4.1.2.2	Beneficiamento do resíduo de concreto.....	94
4.1.3	Produção de concreto.....	96
4.1.3.1	Abastecimento do misturador e mistura do concreto.....	96
4.1.3.2	Caracterização do concreto produzido.....	97
4.1.3.3	Determinação do tempo decorrido entre a produção do concreto e a moldagem de painéis pré-fabricados.....	97
4.1.4	Transporte da armadura, fôrmas e do concreto.....	98
4.1.5	Preparação das fôrmas e armaduras.....	98
4.1.6	Moldagem das peças.....	98
4.1.7	Cura e desmoldagem.....	98
4.1.8	Controle de qualidade da peça pronta.....	99

4.1.9	Transporte, Acabamento final e Armazenamento	99
4.1.10	Transporte externo das peças e Montagem do protótipo	99
4.2	APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	99
4.2.1	Projeto e Planejamento dos painéis pré-fabricados visando à montagem do protótipo	99
4.2.1.1	Projeto das peças pré-fabricadas	99
4.2.1.2	Planejamento da execução das peças pré-fabricadas com ARC visando à montagem do protótipo	101
4.2.2	Preparação dos materiais	102
4.2.2.1	Obtenção de agregado reciclado a partir dos resíduos de concreto	102
4.2.3	Produção de concreto	104
4.2.3.1	Abastecimento do misturador	104
4.2.3.2	Dosagem do aditivo em escala industrial	106
4.2.3.3	Determinação do tempo entre a produção do concreto e a moldagem	107
4.2.3.4	Caracterização dos concretos produzidos em laboratório e na empresa	108
4.2.4	Transporte da armadura e do concreto	110
4.2.5	Preparação da armadura e fôrmas	111
4.2.6	Moldagem das peças	111
4.2.7	Cura e desmoldagem	112
4.2.8	Controle de qualidade da peça pronta	114
4.2.9	Transporte, Acabamento final e Armazenamento	114
4.2.10	Transporte externo das peças e Montagem do protótipo	115
4.3	AVALIAÇÃO E RECOMENDAÇÕES PARA IMPLEMENTAÇÃO DE ARC NA EMPRESA DE PRÉ-FABRICADOS	117
5	CONCLUSÃO	121
5.1	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO ESTUDO	121
5.2	CONSIDERAÇÕES FINAIS PARA A IMPLEMENTAÇÃO DO ARC EM UMA EMPRESA DE PRÉ-FABRICADOS	122
5.3	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	124
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	126
	APÊNDICE A	136
	APÊNDICE B	140
	APÊNDICE C	146
	APÊNDICE D	149
	APÊNDICE E	150

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Geração de RCD e RC em diversos países.....	27
Tabela 2: Agregados de RCD, características e uso recomendado	31
Tabela 3: Normas para uso de agregados reciclados de concreto	36
Tabela 4: Massa Unitária (M.U.) e Massa Específica (M.E) de ARC	37
Tabela 5: Absorção de água dos agregados reciclados de concreto (ARC).....	38
Tabela 6: Granulometria dos agregados reciclados de concreto (ARC).	40
Tabela 7: Normas para concretos com agregado reciclado de concreto.	43
Tabela 8: Massa específica (M.E.) do CARC.	48
Tabela 9: Resistência à compressão do CARC.	48
Tabela 10: Absorção de água do CARC em comparação ao concreto de referência CRef.....	51
Tabela 11: Tempos decorridos para o processo produtivo do concreto plástico (em minutos).	72
Tabela 12: Planilha para diagnóstico de volume gerado de resíduo plástico.	79
Tabela 13: Planilha para diagnóstico de volume gerado de resíduo de estacas.	79
Tabela 14: Planilha para diagnóstico de volume gerado de resíduo de lajes.	80
Tabela 15: Diagnóstico quantitativo de resíduos de concreto do período.....	81
Tabela 16: Estimativa de geração de resíduos de concreto.	82
Tabela 17: Concretos produzidos, em laboratório.....	87
Tabela 18: Concretos produzidos, na indústria.	96
Tabela 19: Tempos decorridos pelo processo produtivo para execução de painéis pré-fabricados.	98
Tabela 20: Processo de beneficiamento e geração de agregados reciclados.	103
Tabela 21 Tempo decorrido pelo processo produtivo por CRef	107
Tabela 22 Tempo decorrido pelo processo produtivo por CRCT	107
Tabela 23 Tempo decorrido pelo processo produtivo por CRCC	107
Tabela 24: Resistência à compressão dos painéis pré-fabricados nas primeiras idades.....	113

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fluxograma do método de pesquisa.....	24
Figura 2: Fluxograma do processo produtivo de peças.....	55
Figura 3: Fig. Setor administrativo	60
Figura 4: Serralheria e Carpintaria	60
Figura 5: Pátio de armazenamento	60
Figura 6: Laboratório	60
Figura 7: Fábrica 2 – vista Norte.....	60
Figura 8: Fábrica 2- vista Sul.....	60
Figura 9: Fábrica 1- vista Sul (pista de produção de estacas e lajes)	61
Figura 10: Fábrica 1 – vista Norte.....	61
Figura 11: Fábrica 3- vista Sul	61
Figura 12: Fábrica 3- vista Norte	61
Figura 13: Silos de cimento e cinza	62
Figura 14: Baias de agregados	62
Figura 15: Misturador eixo vertical.....	62
Figura 16: Painel de comando.....	62
Figura 17: Fluxograma do processo produtivo da empresa	63
Figura 18: Transporte dos agregados- pá de arrastamento.....	64
Figura 19 Sistema de adição do aditivo utilizado pela empresa.....	66
Figura 20: Descarregamento do concreto na caçamba.....	67
Figura 21: Início transporte de concreto.....	67
Figura 22: Transporte do concreto	67
Figura 23: Fôrma metálica	68
Figura 24: Fôrma de compensado naval.....	68
Figura 25: Alça de aço	68
Figura 26: armadura da laje.....	68
Figura 27: Equipamento extrusor.....	69
Figura 28: desmoldagem e tombamento das peças	70
Figura 29: desmoldagem de pilar (forma metálica)	70
Figura 30: corte das estacas.....	70
Figura 31: corte da laje.....	70
Figura 32: Transporte de peça pronta.....	71
Figura 33: Armazenamento de peça (painéis).....	71
Figura 34: Fluxograma da geração de resíduos de concreto na empresa de pré-fabricados.	74

Figura 35: Resíduo de concreto fresco em tonel	75
Figura 36: Viga com concreto fresco residual.....	75
Figura 37: Recortes de lajes	76
Figura 38: Cabeça da estaca	76
Figura 39: Coleta de Resíduo de concreto em geral.....	77
Figura 40: Recortes da laje.....	80
Figura 41: Fluxograma da caracterização dos resíduos de concreto.	84
Figura 42: Fluxograma da implementação de ARC na produção de peças pré-fabricadas	89
Figura 43: Cabeças das estacas com isopor.....	92
Figura 44: Resíduos do RCT (estacas).....	93
Figura 45: Coleta do RCC (lajes alveolares) no pátio da empresa.....	93
Figura 46 Cominuição primária das estacas (RCT)	94
Figura 47 Cominuição primária das lajes (RCC).....	95
Figura 48 Moinho de mandíbulas- Cominuição secundária.....	95
Figura 49 Peneiramento dos agregados reciclados de concreto	95
Figura 50: Planta Baixa e vistas do protótipo.	101
Figura 51 Retirada do ARCT da caçamba.....	105
Figura 52 Abastecimento da caçamba com ARCC	105
Figura 53: Abatimento do concreto em escala industrial.	106
Figura 54: Amadura utilizada para produção de todos os painéis pré-fabricados.....	111
Figura 55: Moldagem dos painéis	111
Figura 56: Queima dos painéis pré-fabricados.....	111
Figura 57: Processo de desmoldagem dos painéis.	113
Figura 58: Quebras ocorridas nos painéis CRef e CRCT junto as alças de içamento.....	114
Figura 59: Acabamento final dos painéis com ARC.	115
Figura 60: Painéis posicionados em forma de "V" no caminhão	116
Figura 61: İçamento da peça	116
Figura 62: Posicionamento da primeira linha de painéis (CRef.)	116
Figura 63: Retirada das alças de aço	116
Figura 64: Posicionamento da segunda.....	116
Figura 65: Finalização das fachadas Leste e Norte	116
Figura 66: Quebras ocorridas no transporte dos painéis	117

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

A/C – Relação água/ cimento

A/Agl – Relação água/ aglomerante

AN – Agregado Natural

ARC – Agregado Reciclado de Concreto

CO₂ – Dióxido de carbono ou gás carbônico

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

CPV – ARI – Cimento Portland de Alta Resistência Inicial

CRCC- Concreto com Resíduo Cura convencional

CRCT- Concreto com Resíduo de Cura Térmica

CRef- Concreto de Referência

INOVA – Projeto “Ações de Inovação na Engenharia”

LMC – Laboratório de Materiais de Construção

MPa – Mega Pascal

NM – Norma Mercosul

NBR – Norma Brasileira Regulamentada

RC – Resíduo de Concreto

RCC- Resíduo de Cura convencional (ao ar)

RCD – Resíduos de Construção e Demolição

RCT- Resíduo de Cura Térmica (á vapor)

RILEM – Reunion Internationale de Laboratoires D’essais et Materiaux

RSU – Resíduo Sólido Urbano

UNISINOS – Universidade do Vale do Rio dos Sinos

α – Teor de argamassa

RESUMO

Contribuição para a implementação de agregado reciclado de concreto em uma empresa de pré-fabricados de concreto

Alessandra Pacheco Cavalheiro

A utilização do concreto reciclado oriundo do beneficiamento do resíduo de construção e demolição (RCD), em substituição a agregados naturais pode ser transformado em um co-produto, além de permitir a preservação de fontes naturais de extração e redução de locais de disposição do resíduo. Dentre os diversos materiais que constituem os RCD, uma forte opção para a reciclagem é a utilização do resíduo de concreto oriundo da demolição de construções, rejeitos de concreteiras e indústrias de pré-fabricados, pois estes materiais apresentam homogeneidade e presença insignificante de contaminantes quando comparados aos demais resíduos de construção e demolição. Com o objetivo de avaliar a implementação de uso de agregado reciclado de concreto (ARC) na fabricação de peças em uma empresa de pré-fabricados de concreto, foi realizado um diagnóstico da geração de resíduos na empresa; a caracterização das propriedades dos resíduos de concreto com maior potencial de reciclagem; e a produção de concretos com ARC, em um estudo de caso. Dois tipos de resíduos, RCC - oriundo de cura convencional (ao ar) e RCT - oriundo de cura a vapor, foram coletados e cominuídos na forma de agregado graúdo a fim de se verificar as eventuais alterações em suas propriedades. Os concretos com ARC foram produzidos, tanto no laboratório quanto na indústria, com CPV-ARI, aditivo superplastificante, cinza volante, substituição de 50% dos agregados naturais graúdos pelo ARC; adição de água de compensação à mistura e relação a/agl 0,49; e determinadas a consistência, a resistência à compressão e a absorção de água por capilaridade. O estudo desenvolvido na empresa de pré-fabricados demonstrou que, de maneira geral, os agregados gerados a partir do RCC e do RCT apresentam diferenças entre si, devido ao tipo de cura realizada nos concretos de origem; que os concretos produzidos com ARCC apresentam características iguais ou superiores em relação ao concreto de referência, enquanto os produzidos com ARCT possuem desempenho inferior ao mesmo, e que a reciclagem dos resíduos na própria empresa geradora, se não for encarada como uma ação estratégica para a empresa, possivelmente será descartada, em função das dificuldades relacionadas com a implementação do processo de reciclagem.

Palavras-chave: agregado reciclado de concreto. reciclagem. pré-fabricados.

ABSTRACT

The use of recycled concrete coming from the processing of construction and demolition waste (CDW) in replacement of natural aggregates makes it a co-product, and allows the preservation of natural sources of extraction and reduces the need for waste disposal. Among several materials that constitute the CDW, a strong option for recycling is the use of waste arising from demolition of concrete buildings, concrete mix producers and precast industrial waste. This option is because these materials have negligible homogeneity and presence of contaminants compared to the other construction and demolition waste. In order to evaluate the possibility of using recycled concrete aggregate (RCA) for the manufacture of parts in a company of precast concrete, a diagnosis of waste generation in the company; characterizing the concrete waste with greater potential for recycling, and the production of RCA concrete, in a case study. Two types of waste, RCC - Coming from conventional curing (air) and RCT - coming from the steam curing, were collected and comminuted in the form of coarse aggregate in order to determine any changes in their properties. The concrete was produced with RCA in both, at a lab and in the industry, with CPV-ARI, superplasticizer, fly ash, 50% replacement of natural coarse aggregates by the RCA, adding water to the mix of compensation and relation ag/c 0.49, and determined the consistency, compressive strength and water absorption by capillarity. The study developed in precast company showed that, in general, clusters generated from the RCC and the RCT differ among themselves, due to the type of curing performed in the original concrete, the concrete produced with ARCC have characteristics equal to or superior to the reference concrete, while those produced with ARCT are underperformed, and the waste recycling in-house, if it is not seen as a strategic action for the company, it is likely to be discarded, based on the costs related to the implementation of the recycling process.

Keywords: recycled concrete aggregate. recycling. precast.

1 INTRODUÇÃO

O processo de urbanização pelo qual vem passando o Brasil, a partir da década de 50, com o conseqüente adensamento dos centros urbanos, faz com que muitas cidades brasileiras, principalmente aquelas que crescem de forma acelerada, sofram graves problemas ambientais, sociais e sanitários (SANTOS, 2008). Mundialmente, verifica-se que a utilização de recursos naturais e de energia cresce proporcionalmente a este crescimento habitacional e populacional.

Segundo a Câmara Brasileira da Indústria da Construção Civil (CBIC, 2010), em 2010, o setor da construção civil passou pelo seu melhor momento, nos últimos 24 anos, no qual foi estimado que o Produto Interno Bruto (PIB) cresceu em torno de 11%. O Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC, 2010), segundo os dados preliminares da indústria e estimativas de mercado, cita que as vendas de cimento para o mercado interno brasileiro acumuladas em doze meses (dez/09 a nov/10) atingiram 58,4 milhões de toneladas, apresentando crescimento de 13,8% sobre o período anterior (dez/08 a nov/09).

Marques Neto (2005) cita que a indústria da construção civil, por sua disposição dos resíduos de construção e demolição (RCD) de forma incontrolada, é uma grande causadora da degradação ambiental, pois contribui para o esgotamento de recursos naturais, poluição do ar, do solo e da água, consome grande quantidade de energia, e é também responsável pela produção de grandes quantidades de resíduos.

A construção e a utilização dos edifícios consomem em torno de 50% dos recursos naturais, 40% da energia, 16% da água do mundo, e são responsáveis por mais de um quarto das emissões dos gases causadores do efeito estufa, especialmente o CO₂ (GAUZIN-MULLER, 2002). Segundo o Anuário Mineral Brasileiro (DNPM, 2006) em 2005 a construção civil foi responsável pelo consumo de aproximadamente 70% da areia e 80% da brita disponíveis para uso. As jazidas de agregados naturais estão cada vez mais escassas e mais distantes dos centros urbanos, provocando um aumento considerável no custo final das obras, devido ao aumento das distâncias de transporte desses agregados.

Os resíduos de construção e demolição (RCD) são provenientes da construção de infra-estrutura urbana, da construção de novas edificações, ampliações e reformas, e de sua demolição (PINTO e GONZÁLEZ, 2005). No Brasil, o resíduo da construção e demolição (RCD) corresponde a 50% do total de resíduos sólidos urbanos (ÂNGULO et al., 2003;

CABRAL et al., 2007), embora hoje exista uma expectativa muito maior de geração de RCD diante da nova situação que a construção civil se encontra no Brasil.

Estima-se que cerca de 70 Mton/ano de resíduos sólidos da construção civil necessitam de local para sua disposição (ANGULO, 2005), o que ocasiona sérios problemas à gestão ambiental urbana, devido ao esgotamento precoce de áreas de disposição final de resíduos. A obstrução de elementos de drenagem urbana, a degradação de mananciais, e a sujeira nas vias públicas podem ser considerados como impactos causados por lixões de RCD¹, além de propiciar a contaminação do solo e do lençol freático.

A Pesquisa Nacional de saneamento básico-PNSB (2011) informou que nas cidades brasileiras, em 2008, os lixões ainda eram o principal destino dos resíduos em 50,8% delas, enquanto a utilização dos aterros sanitários era de 27,7% e dos aterros controlados de 22,5%; e que 61,2% das prestadoras dos serviços de manejo dos resíduos sólidos eram entidades vinculadas à administração direta do poder público, 34,5%, empresas privadas sob o regime de concessão pública ou terceirização, e 4,3%, entidades organizadas sob a forma de autarquias, empresas públicas, sociedades de economia mista e consórcios.

No Brasil, em dezembro de 2010, foi sancionado o Decreto Federal nº 7.404, que regulamenta a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305, de 2/08/2010), onde determina que os lixões, devem ser eliminados até 2014, e prevê que Estados e municípios façam planos específicos para a destinação de resíduos, além de incentivar linhas de financiamento para cooperativas. O governo cita que apesar de inevitável, a geração de resíduos sólidos pode ter seus danos ao meio ambiente minimizados com uma gestão integrada e processos de tecnologia limpa, dando um caráter sustentável a esta política brasileira de manejo de resíduos.

Segundo Tozzi (2007), a aplicação do gerenciamento de resíduos pode proporcionar às construtoras e ao meio ambiente vantagens significativas, tanto financeiras quanto ambientais devido à redução de gastos na compra de matéria-prima e remoção de entulhos.

Oliveira et al (2010), citam que algumas empresas, visando clientes exigentes quanto a conduta social e ambiental da mesma, encaram que as adequações às legislações, tanto brasileira como estrangeira, podem ser uma estratégia de negócios, com planejamento e busca de resultados em longo prazo. Outra base de sustentação dos negócios é a empresa possuir

¹ . Entende-se como descarga do lixo sobre o solo, sem medidas de proteção ao meio ambiente ou à saúde pública a céu aberto.

uma diferenciação da concorrência, alcançar desempenho superior a eliminação de desperdícios, adotar tecnologias avançadas, desenvolver novos produtos, e melhorar continuamente os processos de produção (STEFANO et al., 2008).

Neste contexto, as certificações das construções, que possuem grande receptividade do público, também são uma opção de gerar novos negócios com apelo ambiental, no entanto, ainda são obras que demandam altos valores para serem construídas e certificadas. Como exemplo a certificação LEED® apresenta uma das premissas para o conceito de material sustentável, a incorporação de conteúdo reciclado no produto final, de forma a reduzir os impactos da extração e processamento de matéria virgem.

A reciclagem ou reutilização de materiais de construção torna-se uma alternativa para a implementação da logística reversa, na qual os resíduos podem ser utilizados como co-produtos na construção civil, e segundo John (2000) podem gerar inúmeros benefícios, tais como a redução no consumo de recursos naturais não-renováveis e de áreas de aterro, devido a minimização de resíduos.

A logística reversa é definida por Leite (2002) como a área da Logística Empresarial que planeja, opera e controla o fluxo, e as informações logísticas correspondentes, do retorno dos bens de pós-venda e de pós-consumo ao ciclo de negócios ou ao ciclo produtivo, através dos Canais de Distribuição Reversos, agregando-lhes valor de diversas naturezas: econômico, ecológico, legal, logístico, de imagem corporativa, entre outros. Em Stock (1998) apud Leite (2002) encontra-se a definição em uma perspectiva de logística de negócios "[...] o termo refere-se ao papel da logística no retorno de produtos, redução na fonte, reciclagem, substituição e reuso de materiais, disposição de resíduos, reforma, reparação e remanufatura".

Dentre os materiais considerados RCD destaca-se o resíduo de concreto (RC), que segundo Gonçalves e Machado Junior (2001) tem como principais geradores, no Brasil, as fábricas de pré-moldados (elementos refugados, restos de materiais, etc.), demolições de construções e de pavimentos rodoviários, além das usinas de concreto pré-misturado. Este tipo de resíduo apresenta um grande potencial de reciclagem para uso na construção civil, devido a contribuir com uma parcela expressiva do RCD total gerado no Brasil (13 a 26%) e no mundo. Diversos autores como Buttle (2003), Carrijo (2005), Obla (2007); Tabsh e Abdelfatah (2009); Malesev et. al. (2010), Troian (2010) e Werle (2010) têm estudado o uso de resíduos de concreto como agregado para concreto, em substituição parcial ao agregado natural, e há consenso que esta aplicação é possível, apesar das suas diferenças em relação aos agregados naturais.

Um dos grandes entraves para a utilização de resíduos de construção e demolição (RCD) refere-se a sua grande heterogeneidade, o que dificulta seu estudo e aplicação, no entanto, no caso do RC há uma tendência do material ser mais homogêneo e não possuir praticamente contaminantes.

Para que o RCD seja utilizado de uma forma adequada, segundo Rocha e Cheriaf (2003), é necessário um completo conhecimento do processo de geração dos resíduos e a caracterização completa dos mesmos, uma identificação do potencial de aproveitamento, prevendo as características limitantes do uso e da aplicação. Essa citação pode ser também extrapolada para os resíduos de concreto.

O Grupo de Pesquisa em Materiais e Reciclagem (GMAT) do PPGEC da Unisinos vem desenvolvendo diversas pesquisas sobre o uso de agregados reciclados de concreto, relacionados na Figura 1. Este trabalho teve fomento do Projeto de pesquisa “Ações de Inovação na Engenharia”, aprovado na Chamada Pública MCT/FINEP/FNDCT - PROMOVE Laboratórios de Inovação 06/2006 e do projeto PRO-ENGENHARIAS/CAPES PE - 071/2008, ambos com o objetivo comum de viabilizar tecnicamente a inserção de resíduos de construção e demolição (RCD) em novas matrizes cimentícias.

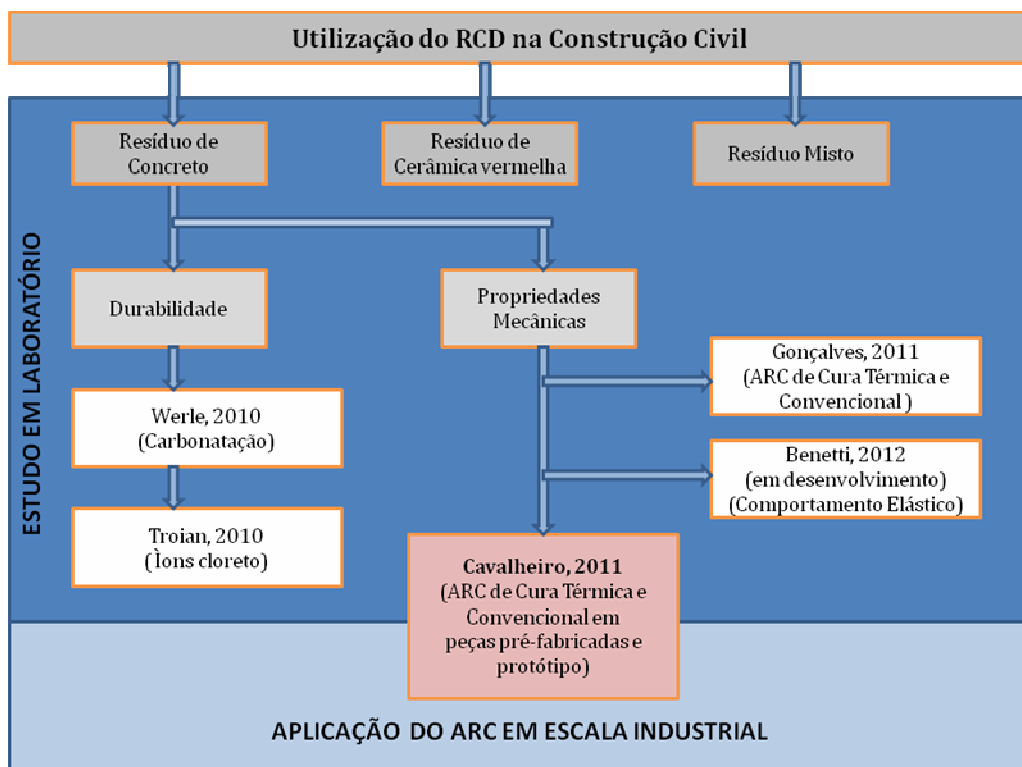


Figura 1: Organograma das pesquisas sobre reciclagem de RCD realizadas pelo GMAT.

ARC: agregado reciclado de concreto

1.1 JUSTIFICATIVA

O crescimento do setor de construção civil põe em evidência o enorme volume de resíduos que vem sendo gerado nas cidades brasileiras, decorrentes de perdas, desperdício e demolições, e os impactos ambientais negativos que o setor exerce, devido à disposição inadequada dos resíduos, o elevado consumo de energia, e ao uso contínuo e acelerado de recursos não-renováveis.

São considerados recursos não-renováveis, as jazidas minerais e de combustíveis fósseis, onde a velocidade de renovação é muito lenta em comparação com o tempo de vida humana.

Segundo La Serna (2011) as reservas minerais podem ser consideradas abundantes, pois em todas as regiões brasileiras há mineração de areias, cascalhos e rochas para brita, no entanto, fatores como legislação ambiental restritiva, e a distância do local até o mercado consumidor, devido ao custo do transporte, inviabiliza algumas áreas para a extração.

Fernandes (2007) cita que se os municípios praticarem uma forma de uso racional e gestão eficiente de suas jazidas minerais irão garantir o desenvolvimento e a qualidade de vida da geração atual e das futuras. No entanto, se os municípios tratarem com descaso suas reservas minerais ou de forma preconceituosa os empreendimentos minerários, haverá um escassez destes insumos devido a esterilização de suas jazidas, ou pelo preço elevado desses insumos, devido a serem importados de média e longa distâncias do centro urbano.

Karpinski et al. (2008) citam que a cadeia produtiva da construção civil também é responsável pela a disposição irregular dos resíduos de construção e demolição (RCD) ao longo de ruas, estradas e em lotes vazios, e encostas de rios. Estes resíduos comprometem a paisagem urbana, promovem a degradação de áreas urbanas, dificultam a circulação automotiva e a drenagem urbana, e propiciam a atração de resíduos não inertes, considerado um vetor de doenças. No entanto, através da minimização do descarte em locais inadequados e pela redução do volume de resíduos através da reciclagem do maior número possível de materiais, pode-se contribuir para a redução do impacto ambiental gerado pela atividade de construção e demolição de obras.

Segundo La Serna (2011) a mineração de agregados para a construção civil é considerada tendo um beneficiamento simples, no entanto, gera impactos ambientais como poluição sonora e do ar, no entanto, o agregado reciclado gerado através a reciclagem de

resíduos da construção civil, em comparação ao natural, apresenta menores custos de energia e de transporte pela possibilidade de serem produzidos nos locais de consumo. Fernandes (2007) cita que os insumos produzidos em usina de reciclagem, é uma alternativa que permite manter o fluxo da indústria de construção, economizar o uso de bens naturais e proteger adequadamente o meio ambiente.

Wellenkamp (2004) considera que prevenir a produção de resíduos na fonte é a primeira solução mais eficaz, e a reciclagem seria a segunda ação adequada para reduzir a quantidade de resíduos descartados.

Portanto, a sustentabilidade ambiental somente é alcançada com a racionalização de recursos, restringindo a exploração dos recursos esgotáveis, pela redução do volume de resíduos, com práticas de reciclagem, o uso racional da matéria prima, conservação de energia, através do empenho no desenvolvimento de pesquisas que utilizem de tecnologias ambientalmente corretas, e na implementação de políticas de proteção ambiental (SACKS 1993 apud ALVES 2010).

A produção de componentes pré-fabricados, que incorpora os conceitos de linha de montagem da indústria de base e bens de consumo, racionalizando o uso dos materiais e da mão-de-obra, está sendo, cada vez mais, utilizada pela construção civil, pois representa um razoável progresso em termos construtivos, permitindo a racionalização e o aperfeiçoamento técnico das obras (SINPROSIM-BA, 2003). Diante do panorama citado, supõe-se que uma empresa de pré-fabricados possui grande potencial para utilização do agregado reciclado de concreto, já que gera o resíduo a ser reciclado, dispõe de tecnologia para o controle de qualidade do concreto e apresenta possibilidade de reciclagem na própria empresa.

Nas indústrias de pré-fabricados de concreto o processo de reciclagem dos resíduos de concreto pode ser considerado simplificado, uma vez que são constituídos basicamente de rejeitos de concreto provenientes do corte de peças, de elementos descartados pelo controle de qualidade, sobras de concreto fresco e unidades danificadas durante o transporte e estocagem.

No caso do resíduo de concreto (RC) a reciclagem não é mais impactante que a disposição do resíduo, pois não são necessários processos químicos, mas somente o processamento físico de segregação e/ou beneficiamento, a fim de qualificá-lo ao uso em concreto, não há riscos à saúde dos usuários do novo material assim como dos próprios trabalhadores da empresa onde ocorre o beneficiamento, e o consumo de energia é compatível com a energia gasta no beneficiamento de rochas naturais para a produção de agregados.

Neste trabalho a escolha de resíduos de concreto gerados em uma empresa de pré-fabricados ocorre devido ao resíduo gerado ser homogêneo, pois o concreto é produzido com qualidade controlada, e por não possuir contaminantes, ser gerado numa quantidade que aparentemente justifica sua reciclagem, e permitir o seu reaproveitamento na cadeia produtiva da própria empresa. A possibilidade dos resíduos serem reciclados na forma de agregado graúdo no mesmo local de origem gera um ganho ambiental e econômico por minimizar os custos de material e transporte, assim como a diminuição da extração de matéria prima não renovável e da geração de CO₂ na atmosfera, através redução do uso de transporte.

Este trabalho pretende avaliar a implementação de agregados reciclados em painéis pré-fabricados na produção industrial em uma empresa de pré-fabricados para montagem de um protótipo, a partir do estudo da reciclagem dos resíduos de concretos gerados na própria empresa de pré-fabricados de concreto, contribuindo para a valorização e conhecimento das propriedades dos resíduos de concreto e dos concretos com agregados reciclados de concreto.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo geral avaliar a implementação do agregado reciclado de concreto na produção de painéis pré-fabricados em uma empresa de pré-fabricados de concreto, para a montagem de um protótipo.

1.2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos que motivam a realização deste trabalho são:

- Caracterizar uma empresa de pré-fabricados, quanto a sua estrutura física e seu processo produtivo, identificando e quantificando a geração de resíduos de concreto;
- Caracterizar agregados reciclados de concreto, com potencial para serem co-produtos, obtidos a partir do beneficiamento de dois tipos de resíduos de concreto gerados pela empresa de pré-fabricados;
- Produzir e caracterizar concretos com agregado reciclado de concreto em escala laboratorial e industrial;
- Avaliar o processo de produção do concreto com agregado reciclado de concreto, em painéis pré-fabricados, visando à montagem de um protótipo;

- Propor alterações no processo produtivo da empresa, decorrentes da reciclagem de seus resíduos de concreto na forma de agregado reciclado de concreto (ARC).

1.2.3 Delimitações da pesquisa

Tendo definido o objeto de estudo e objetivos da pesquisa, podem-se traçar as delimitações da pesquisa.

- Estudo de caso de uma única empresa de pré-fabricados;
- Implementação do uso do ARC em uma empresa de pré-fabricados;
- Os concretos de referência e com agregado reciclado de concreto foram produzidos com os mesmos insumos (fornecidos pela empresa de pré-fabricados), traço, relação água/aglomerante, adensamento e método de cura. Os teores de aditivo superplastificante foram ajustados para que fosse obtida a trabalhabilidade tradicionalmente adotada pela empresa.
- Utilização o próprio resíduo de concreto gerado pela empresa como fonte de obtenção do agregado reciclado;
- Produção de concretos com ARC com o mesmo traço, relação água/aglomerante, adensamento e método de cura, do concreto de referência dosado em laboratório;
- Substituição de 50% do agregado graúdo natural por agregado reciclado de concreto nos concretos com ARC;
- Produção de painéis pré-fabricados;
- Montagem de um protótipo.

1.3 ESTRUTURA DA PESQUISA

O trabalho apresenta a seguinte estrutura:

No presente capítulo apresenta-se a introdução, delimita-se o tema, formula-se a questão de estudo, define-se o objetivo geral e os específicos e justifica-se a realização deste trabalho.

O capítulo 2 é dedicado a revisão bibliográfica que apresenta um panorama sobre os resíduos de concreto (RC) e sua reciclagem, agregado reciclado de concreto (ARC), propriedades do concreto com ARC, e sobre pré-fabricação de peças de concreto.

O método de pesquisa é composto pelos capítulos 3 e 4, tendo em vista o escopo principal deste trabalho que é a implementação de agregados reciclados de concreto na fabricação de painéis pré-fabricados, visando a montagem de um protótipo. Para que as atividades de cada etapa sejam realizadas se fez necessário a utilização da estrutura da empresa de pré-fabricados de concreto e do Laboratório de Materiais de construção, da Unisinos. A Figura 1 apresenta o fluxograma das atividades realizadas nos capítulos 3 e 4.

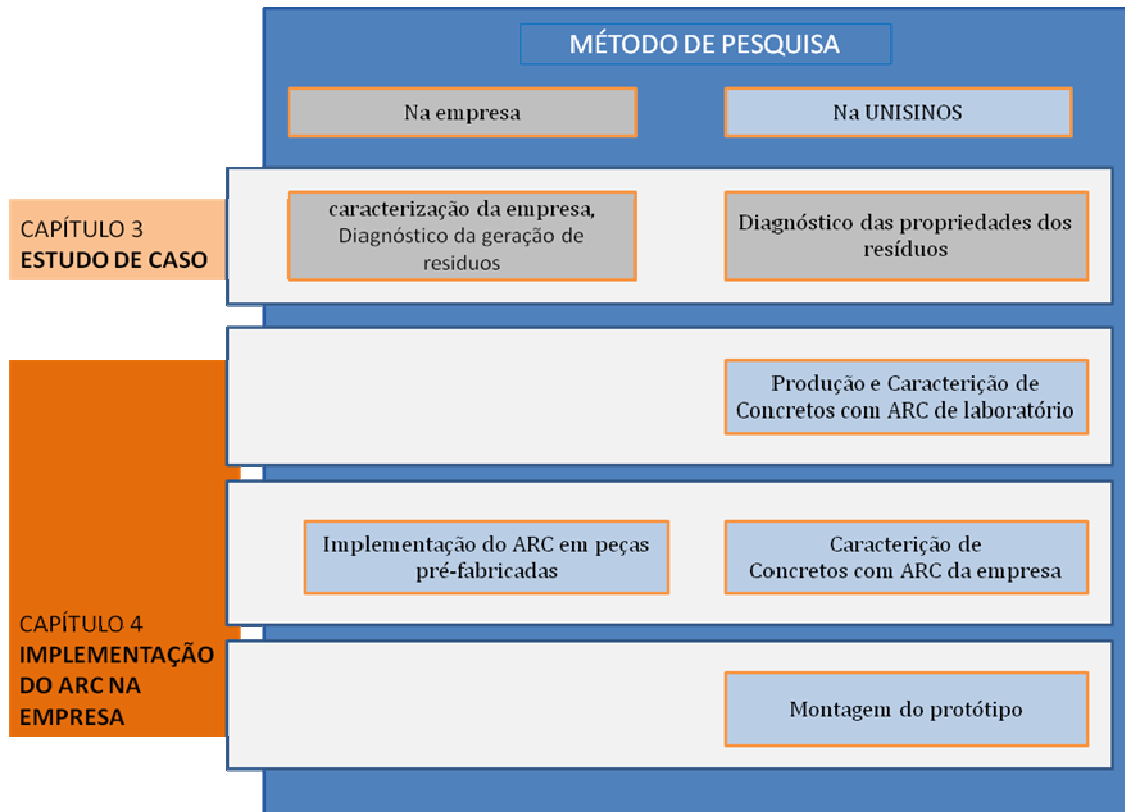


Figura 1: Fluxograma do método de pesquisa.

As conclusões e recomendações para implementação de ARC numa empresa de pré-fabricados encontram-se no capítulo 5.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica visa contextualizar teoricamente a pesquisa, no que se refere à resíduos de concreto (RC), ou seja, a geração de resíduos, panorama geral da reciclagem e beneficiamento dos resíduos, propriedades dos agregados oriundos deste resíduo (ARC), concretos com agregado reciclado de concreto (CARC); e pré-fabricação. No entanto, também será abordado quando necessário um referencial sobre o Resíduo de Construção e Demolição (RCD) e concretos convencionais.

2.1 RESÍDUOS DE CONCRETO

Miranda (2009) cita que a variabilidade de métodos para coleta de dados dificulta a análise quantitativa sobre a geração de resíduos, impossibilitando o diagnóstico exato da situação da geração, sejam eles RSU (resíduos sólidos urbanos) ou RCD (resíduos de construção e demolição), assim como do percentual dos materiais que compõem o RCD tais como: concreto, argamassa, solos, rochas naturais, cerâmica vermelha e de revestimento, gesso, vidro, chapas de aço galvanizado, madeira, plásticos, materiais betuminosos, tintas, papéis de embalagens e restos de vegetais. Apesar disso, a maioria dos autores afirma que o resíduo da construção e demolição (RCD), no Brasil, corresponde a cerca de 50% do resíduo sólido urbano, sendo que este valor é estimado em 61% no sudeste do país (CABRAL et al., 2007).

Pinto e González (2005) citam que 59% dos resíduos da construção civil gerados no Brasil são oriundos de reformas, ampliações e demolições, 21% de edificações novas (acima de 300 m²) e 20% de residências novas. A quantidade de resíduo gerado (cerca de 70 milhões de toneladas/ano, segundo Ângulo, 2005) é bastante preocupante, porque o impacto ambiental provocado pela disposição incorreta dos resíduos é agravado pelas precárias condições sanitárias do país.

Os resíduos de concreto correspondem a 13% da composição do RCD, em Fortaleza-CE (OLIVEIRA et al., 2009); 16,5% em Ribeirão Preto-SP (ZORDAN, 1997; LATTERZA, 1998 apud LEITE, 2001); 26,0% em São Carlos-SP (MARQUES NETO e SCHALCH, 2010); em Recife-PE o concreto representa 14% do total do RCD (CARNEIRO, 2005 apud SANTOS, 2008), assim como em Petrolina-PE (SANTOS, 2008); em Passo Fundo-RS, 15% de concreto é encontrado na composição do RCD. (BONFANTE et al., 2002 apud PIOVEZAN JUNIOR, 2007), e 15,18% na região de Porto Alegre e em torno de 26% na

região do Vale do Rio dos Sinos (LOVATO, 2007; KAZMIERCZAK et al. 2006). Além dessa quantidade estimada pelos pesquisadores, que varia de 13 a 26% de resíduos de concreto, pode-se acrescentar a quantidade deste resíduo provenientes de outros geradores tais como: centrais dosadoras de concreto (concreteiras) e indústria de pré-fabricados.

Na Europa, o volume de concreto pré-misturado desperdiçado fica em torno de 1 a 4% em relação ao volume total dosado (PURIFICAÇÃO, 2009). Nos EUA (dados de 2006) estima-se que a cada ano 2% a 10% (média de 5%) dos cerca de 455 milhões de metros cúbicos de concreto pré-misturado produzido, de concreto residual é retornado à central dosadora de concreto. Portanto, pela grande geração de resíduos e devido ao concreto nunca ter sido utilizado em obra, tendendo a conter níveis muito baixos de contaminação, justifica-se a sua reciclagem (OBLA et al., 2007).

Vieira (2010) destaca que as centrais dosadoras de pequeno, médio e grande porte, geram resíduos de concreto na ordem de, respectivamente, 399 m³ ao ano, equivalente a 2,2% da produção; 687 m³, equivalente a 1,9% da produção; e 1732 m³, equivalente a 1,6% da produção total anual. Os dados apresentados são coerentes com as estimativas da ABESC- Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Concretagem (2007), onde cita que na região metropolitana de São Paulo, as centrais dosadoras de concreto-geram entre 3.500 m³ e 7.000 m³ de concretos residuais. Estima-se que a geração de resíduo fica entre 1,5 a 3,5% do custo total do processo de produção do concreto industrializado mundial. Em 2006, a ABESC contabilizou que as concreteiras da Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH) produziram mensalmente aproximadamente 52.000 m³ de concreto, dos quais 0,5% são considerados resíduos. Entretanto, segundo Purificação (2009), nas concreteiras da RMBH foi observado que este volume de resíduo ultrapassa 10%. É interessante ressaltar que o acompanhamento da geração de resíduos realizado pelo autor foi em três concreteiras com formatos diferentes de gestão.

Segundo a Revista PCI (2010), a indústria de pré-fabricados de concreto gera 2 % de resíduos do total de concreto produzido. Estudos realizados em países escandinavos mostraram que os resíduos de indústrias de pré-fabricados são de aproximadamente 100 kg de material por m³ de concreto produzido. As quantidades de resíduos variam entre as empresas e os diferentes tipos de produção, onde aproximadamente 40% são provenientes de concreto fresco ou endurecido, 45% é proveniente de águas residuais da lavagem de equipamentos e 5% corresponde a rebarbas geradas pelo corte das peças (CPCI, 2010).

Com o objetivo de sistematizar os dados, a Tabela 1 apresenta as estimativas da geração de resíduos de construção e demolição (RCD) e de Resíduo de concreto (RC) em diversos países.

Tabela 1: Geração de RCD e RC em diversos países

País	RCD	RC
	Mton/ano	Mton/ano
Brasil	70 ⁽⁵⁾	(8)
União européia	180 ⁽¹⁾ 200-300 ⁽²⁾	13 ⁽¹⁾
Japão	85-99 ⁽⁴⁾	10-15 ⁽¹⁾ 17 ⁽³⁾ 35 ⁽⁴⁾
Hong Kong	14- 20 ⁽¹⁾⁽⁴⁾	3.5 ⁽⁴⁾
Alemanha	77 ⁽¹⁾	
Austrália	3 ⁽⁴⁾	1.5 ⁽⁴⁾
Canadá	11 ⁽⁴⁾	2.3 ⁽⁴⁾
Holanda		13 ⁽³⁾
Áustria		1,35 ⁽⁶⁾
Dinamarca		25 ⁽⁷⁾

Fontes: (1) NBMCW (2007); (2) LAURITZEN (2004) apud LOVATO (2007); (3) ÂNGULO (2000); (4) MOVASSAGHI (2006); (5) ANGULO (2005); (6) PLADERER (2006) apud GONÇALVES (2007); (7) GONÇALVES (2007); (8) Atualmente não há um valor médio fornecido oficialmente, mas estudos realizados no Brasil indicam que a quantidade gerada de resíduo de concreto fica entre 13 e 26% do total de RCD. Observa-se que, apesar de não existir consenso sobre a quantidade de resíduos de concreto, os volumes envolvidos são grandes, justificando o estudo de alternativas para a reciclagem e sua inserção em novos produtos.

2.2 PANORAMA DA RECICLAGEM

Nas últimas duas décadas a reciclagem cresceu nos países desenvolvidos, atribuído em grande parte à consciência pública das questões relativas ao meio-ambiente e ao interesse público na conservação dos recursos naturais.

Segundo Ângulo et. al. (2001), a reciclagem², como em qualquer outra atividade de extração de matéria prima pode causar impactos ao meio ambiente se não houver uma criteriosa análise da tecnologia empregada. A reciclagem consiste de uma série de processos técnicos, tais como coleta, beneficiamento, processamento etc., os quais, por sua natureza, podem também ser causadores de impactos ambientais (WELLENKAMP, 2004).

² Reciclagem, segundo PNSB (2011) é a separação e recuperação de materiais usados e descartados e que podem ser transformados ou reutilizados.

A Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) N° 307, resolução de âmbito Nacional (2002) estabelece que os resíduos da Classe A, são materiais reutilizáveis ou recicláveis como agregados.

Segundo Leite (2003) a reciclagem é o canal de revalorização em que os materiais constituintes dos produtos descartados são extraídos industrialmente, transformados em matérias-primas secundárias/recicladas, que são reincorporadas à fabricação de novos produtos. Para que esta reintegração seja realizada são necessárias as etapas de coleta-seleção, preparação-reciclagem industrial e reintegração ao ciclo produtivo.

No Brasil, em dezembro de 2010, foi sancionado o Decreto Federal nº 7.404, que regulamenta a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305, de 2/08/2010), que prevê que haja cooperação técnica e financeira entre o setor público e o privado para o desenvolvimento de pesquisas que facilitem a reutilização, a reciclagem e o tratamento de resíduos e a destinação correta dos rejeitos. Segundo a Lei há uma diferenciação entre resíduos reaproveitados ou reciclados e rejeitos quanto à destinação final ambientalmente adequada. Para o primeiro tipo de resíduo é citado que "[...] a destinação inclui a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras destinações admitidas pelos órgãos competentes do Sisnama³, do SNVS⁴ e do Suasa⁵, e entre elas a disposição final, observando normas operacionais específicas, de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança, e a minimizar os impactos ambientais adversos"; já para o segundo que "[...] os resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada". De acordo com a Lei vigente pode-se enquadrar os resíduos de concreto na categoria de resíduo reciclado.

Santos (2008) cita que os benefícios da reciclagem são a redução da utilização de aterros; a menor ocorrência de deposições irregulares; a redução no consumo de recursos naturais não-renováveis; e redução dos impactos ambientais das atividades de mineração; redução de consumo de energia durante o processo de produção e no transporte e redução da poluição (emissão de gás carbônico, contaminação de rios).

³ Sisnama- Sistema Nacional do Meio Ambiente

⁴ SNVS- Sistema Nacional de Vigilância sanitária

⁵ Suasa- Sistema Único de Atenção à Sanidade Agropecuária

Pode-se também salientar que a reciclagem para as empresas da construção civil é uma oportunidade de transformação de uma fonte de despesa (com disposição e transporte do resíduo gerado) numa fonte de receita, ou pelo menos, de redução destas despesas para a empresa geradora do resíduo. Na empresa recicladora/britadora a reciclagem contribui para a redução do volume de extração de matérias-primas, preservando recursos naturais limitados, assim como pode projetar novos negócios.

Apesar dos fatores positivos da reciclagem dos RCD, em nível mundial o uso dos materiais reciclados ainda é restrito, comparado com o seu grande potencial de utilização.

Em países como Alemanha, Japão, Holanda, Dinamarca, Bélgica, França e Estados Unidos, a utilização de agregados reciclados já é uma realidade que tem levado a busca do desenvolvimento de novas técnicas de ensaios e de normalizações que garantam a qualidade destes materiais. Na Alemanha, dos 77 milhões de toneladas dos resíduos de demolição, cerca de 70% é reciclado e reutilizado em novas obras de construção (NBMCW, 2007).

A utilização de materiais reciclados no mercado de agregados na Grã-Bretanha teve um aumento significativo, passando de 30 milhões de toneladas, em 1990, para mais de 70 milhões de toneladas, em 2007. Durante esse período, o mercado de agregados reciclados aumentou de 10% para 25%, sendo que esta última porcentagem é três vezes superior à média europeia (MINERAL PRODUCTS, 2010).

Segundo Couto e Couto (2007), em Portugal, há iniciativas de alguns fabricantes de pré-fabricados de concreto em ajustar seu processo produtivo, tendo em vista minimizar os impactos ambientais, aqui citados:

- As águas residuais industriais, que têm origem no processo de fabricação dos pré-fabricados, são tratadas em ETAR⁶s industriais, dimensionadas para esse efeito, e reaproveitadas no processo de fabricação das peças. Assim, estas águas circulam em circuito fechado.
- Os restos de concreto são reduzidos a pó e depois reintegrados no processo de fabricação dos pré-fabricados, funcionando assim como um sistema de produção fechado, onde todo o material gasto é processado e utilizado novamente.

Purificação (2009) cita que os resíduos das centrais dosadoras de concreto, na sua maioria, retornam a planta de produção, onde são depositados em baias com água para

⁶ ETAR- Estação de Tratamento de Águas Residuais

decantar os agregados graúdos, miúdos, e o cimento, já sem a característica de aglomerante, e posteriormente são depositados em aterros da região.

O Japão é um país líder em reciclagem de resíduos de concreto, geralmente proveniente de estruturas demolidas, pois este material compreende cerca de 98% do RCD gerado no país.

Em Hong Kong os técnicos da área de engenharia citam que é difícil implementar o gerenciamento de resíduos e colocar máquinas de reciclagem no local da obra devido ao espaço físico limitado e que o processo de segregação dos materiais é caro, aumentando muito o custo da gestão da obra. Entretanto este país está desenvolvendo programas de reciclagem do concreto (TAM, TAM e LEE, 2009).

Atualmente encontra-se uma considerável bibliografia sobre a reciclagem de resíduos de concreto e uma vasta sobre a reciclagem do RCD, podendo haver, na maioria dos casos, uma transferência de conhecimento adquirido sobre o RCD para o panorama da reciclagem do resíduo de concreto (RC). Em ambos os casos algumas pesquisas científicas apresentam novos produtos que incorporam RCD e RC, no entanto, a comercialização destes produtos no mercado da construção civil é pouco expressiva.

O processo de reciclagem mais indicado para o RC e RCD é na forma de agregado, tanto a fração graúda quanto miúda. Estes materiais podem ser inseridos em vários processos e para diversos fins, conforme descrito a seguir:

a) aplicação em pavimentação: a utilização do RCD como agregado reciclado em camadas de pavimentos urbanos é uma das formas de reciclagem mais difundidas para esses resíduos. Em São Paulo, o Decreto n. 48.075 de 2006, determina a utilização de agregados reciclados, oriundos de resíduos sólidos da construção civil em obras e serviços de pavimentação das vias públicas do município. Segundo especialistas, o aproveitamento de RCD gera uma economia de até 40% em relação ao asfalto comum, no entanto, a escala de implementação ainda é pequena (JACOBI e BESEN, 2011). O Departamento de Transporte da Califórnia (Caltrans), segundo a FHWA (2010), permite o uso de até 100% agregado reciclado de concreto (ARC) em camadas do pavimento de apoio.

b) argamassas de revestimento: a utilização de agregado reciclado em argamassa de revestimento surge como alternativa para atender à enorme demanda por revestimentos, uma vez que esse material apresenta desempenho adequado (CARNEIRO et al., 2001).

c) utilização como agregado para concreto: o resíduo processado pelas usinas de reciclagem pode ser utilizado como agregado para concreto, a partir da substituição dos agregados convencionais, areia e brita. Este tipo de utilização apresenta a vantagem, de utilização de todos os componentes minerais do RCD (tijolos, argamassas, materiais cerâmicos, areia, pedras, etc) sem a necessidade de separação de nenhum deles. Segundo Capello (2006), o uso com maior valor agregado dado para os agregados reciclados é a utilização em concretos com função estrutural.

A Tabela 2 apresenta os tipos de agregados, citado por Capello (2006), que podem ser gerados a partir do RCD.

Tabela 2: Agregados de RCD, características e uso recomendado

Produto	Características	Uso recomendado
Areia Reciclada	Material com dimensão máxima inferior a 4,8 mm, isento de impureza, proveniente da reciclagem de concreto e blocos de concreto.	Argamassa de assentamento de alvenaria de vedação, contrapiso, solo-cimento, blocos e tijolos de vedação
Pedrisco Reciclado	Material com dimensão máxima de 6,3 mm, isento de impureza, proveniente da reciclagem de concreto e blocos de concreto.	Fabricação de artefatos de concreto , como blocos de vedação, pisos intertravados, manilhas de esgoto, entre outros.
Brita Reciclada	Material com dimensão máxima inferior a 39 mm, isento de impurezas, provenientes da reciclagem de concreto e blocos de concreto.	Fabricação de concretos não estruturais e obras de drenagem.
Bica Corrida	Material proveniente da reciclagem de resíduos da construção civil (blocos de concreto, resto de cerâmicas e etc.), livre de impurezas, com dimensão máxima de 63 mm.	Obras de base e sub-base de pavimentação, reforço e subleito de pavimentos, regularização de vias não pavimentadas, aterros e nivelamento de Terreno.
Rachão	Material com dimensão máxima inferior a 150 mm, isentos de impurezas, proveniente da reciclagem de concreto e blocos de concreto.	Obras de pavimentação, drenagem e terraplanagem.

Fonte: Capello (2006).

A reciclagem dos resíduos ainda necessita do desenvolvimento de métodos e equipamentos que possam aumentar a eficiência nas usinas, para que estas viabilizem um uso mais nobre dos RCD e, além disso, possibilitem uma padronização de oferta de agregado reciclado para o mercado (CAPELLO, 2006).

Ângulo et al. (2001), citam que para o RCD seja considerado uma alternativa de mercado ambientalmente segura, quando inserido num novo produto deve-se avaliar conceitos e utilizar-se de diversas ferramentas multidisciplinares. A metodologia proposta pelos autores, para utilização do RCD na construção civil, compreende na verificação dos seguintes tópicos:

identificação e quantificação dos resíduos disponíveis; caracterização do resíduo; custos associados aos resíduos; seleção das aplicações a serem desenvolvidas; avaliação do produto; análise de desempenho ambiental; desenvolvimento do produto; e transferência de tecnologia.

2.2.1 Beneficiamento dos resíduos para transformação em agregado

A utilização de agregados reciclados, no Brasil, ainda é muito limitada e pode ser justificada pela sua variabilidade, falta de gestão e de técnicas que garantam a qualidade do material, e a caracterização do mesmo (GOMES, 2009).

Segundo Ângulo et. al. (2001) todo processo de reciclagem necessita de energia para transformar o resíduo ou tratá-lo de forma a torná-lo apropriado a ingressar novamente na cadeia produtiva.

Levy (2001) cita que para o reaproveitamento dos RCD, torna-se indispensável à realização de processos de beneficiamento, tais como a cominuição (operação de redução de tamanho através de britagem ou moagem), separação e classificação por tamanho (peneiramento), concentração (remoção de contaminantes) e operações auxiliares (transporte, secagem, etc). O ideal seria que os resíduos não necessitassem de nenhum tipo de beneficiamento, mas devido ao RCD possuir grandes dimensões torna-se inevitável, pelo menos, sua cominuição (LOVATO, 2007). Estas citações podem ser extrapoladas para a reciclagem de RC.

Nas recicladoras são utilizados diferentes equipamentos para reciclagem do concreto fresco e do endurecido. Para o concreto fresco são usados lavadores que separam agregados graúdos dos miúdos. Para o concreto endurecido são utilizados britadores, com produtividade e geração de um agregado com granulometrias e formas distintas.

Segundo Gonçalves (2007), no caso da reciclagem do concreto armado, o mesmo deve ser reduzido a dimensões menores por intermédio de um martelo hidráulico, e com a ajuda de uma pinça demolidora é retirada a maioria das armaduras. O aço proveniente das peças de concreto armado é encaminhado para a siderurgia, para ser reciclado. Este tipo de beneficiamento pode ser chamado de cominuição primária.

Ângulo (2005) cita que é necessário mais de um circuito de cominuição para se adequar a granulometria dos agregados graúdos de RCD reciclados aos padrões definidos pela Associação Brasileira de Normas Técnicas para agregados naturais, pois estes frequentemente

apresentam uma fração granulométrica maior que 25 mm, que é inadequada para o uso em concretos convencionais.

Para atingir a granulometria requerida para uso em concretos, chamada de cominuição secundária, é necessário o uso de equipamentos tais como Britador de Impacto, Britador de Cones, Britador de Rolo, Moinho de Martelo e Britador de Mandíbula. Segundo Santos (2008), os britadores utilizados para reciclagem de RCD possuem as seguintes características:

De Impacto: É um equipamento robusto, capaz de processar peças de concreto; apresentam alta redução das peças britadas, com boa geração de porcentagem de finos; geram grãos de forma cúbica, com boas características mecânicas; apresentam baixa emissão de ruídos; possuem alto custo de manutenção (trocas periódicas de martelos e placas de impacto); a fragmentação é feita por colisão do material em placas fixas de impacto. Segundo Vázquez et. al. (2006), os agregados obtidos pelo britador de impacto possuem uma forma que se aproxima do agregado natural, no entanto, apresenta uma produção de finos elevada, de até 40% do total de material britado.

De Mandíbula: apresenta alta geração de material graúdo, não reduz muito as dimensões dos materiais; geram grãos lamelares, com tendência à baixa qualidade; apresentam dificuldade de britagem de peças armadas e peças de grandes dimensões; geram alta emissão de ruídos; possuem baixo custo de manutenção; é ideal para britagem de rocha; a fragmentação do material é realizada por compressão. Este britador é o mais utilizado e mais barato, operando sob o princípio da compressão, no qual o material é comprimido entre uma superfície fixa e outra móvel. Segundo Buttler (2003) e Vázquez et. al. (2006) este tipo de britador fornece uma melhor distribuição granulométrica do agregado reciclado para a produção de concreto. Os agregados obtidos através deste britador possuem uma forma bastante angulosa e a percentagem de finos produzida é reduzida (menos de 10%);

De Martelo: É usado como britador secundário, por apresentar pouco espaço para entrada de material; produz alta porcentagem de material miúdo; geralmente é utilizado em conjunto com britadores de mandíbula; a fragmentação do material é realizada: parte por impacto e parte por atrito. Segundo Tenório (2007), o uso de um moinho de martelos na cominuição dos resíduos gera uma maior quantidade de grãos miúdos em relação aos graúdos, independentemente da resistência do material cominuído (RCD ou resíduo de concreto).

Para Marques Neto e Schalch (2010), a reciclagem dos RCD pode ser realizada nos próprios canteiros de obras em empreendimentos que se justifique esse investimento e em Usinas de Reciclagem, quando houver maior escala de resíduos.

Segundo Wellenkamp (2004) a reciclagem pode ser processada em circuito fechado e circuito aberto. Em circuito fechado, o produto secundário de um sistema, que de outra forma seria um resíduo, retorna ao mesmo, com ou sem tratamento, contribuindo desta forma para a obtenção do produto principal. Já na reciclagem em circuito aberto, o produto secundário do sistema, é um resíduo do primeiro processo, podendo ser utilizado como insumo para outro sistema, com ou sem tratamento subsequente.

Também, pode-se dizer que há dois tipos de central de reciclagem, o de planta fixa e outro de planta móvel.

As centrais de planta fixa, que são instalações permanentes e que constituem a maioria das existentes, são constituídas por elementos de transporte e várias peneiras, possuindo frequentemente dois tipos de britadores, já as centrais de reciclagem móveis, que são instalações inseridas no local de demolição, contam com maquinários semelhantes aos de mineradoras, como esteiras rolantes, britadores, peneiras e classificadores de granulometria (VÁZQUEZ et al., 2006). Estes equipamentos citados pelos autores, provavelmente, referem-se aos utilizados para reciclagem de grandes volumes de RCD, ou seja, volumes acima de 5 toneladas/hora.

Em centrais onde o volume de materiais é menor, a reciclagem pode ser realizada na própria obra sem o uso de equipamentos sofisticados. Uma das vantagens da reciclagem "in loco" pode ser financeira, já que a construtora não precisa gastar com a disposição em aterros e com o transporte do material residual.

As centrais de reciclagem móveis, apesar de não terem uma capacidade de processamento tão apurada quanto as das centrais de reciclagem fixas, no entanto, possuem as vantagens de serem facilmente mobilizadas e podem ser de diversos tamanhos e tipos de sistemas de operação. Para a instalação de uma central de reciclagem é preciso estudar a viabilidade econômica do investimento, e o dimensionamento; devendo considerar os seguintes fatores: volume de RCD passível de ser reciclado; tipo de material e objetivo de aplicação e local de instalação (LEITE, 2001).

2.3 AGREGADOS RECICLADOS DE CONCRETO

Neste item, serão apresentadas e discutidas as exigências das Normas Brasileiras e as principais Normas Internacionais, para o uso do ARC, e as características do agregado reciclado de concreto (ARC). Quando necessário, serão também abordados estudos referentes ao RCD misto e dados sobre os agregados naturais.

2.3.1 Normas

Para que os resíduos de construção e demolição possam ser utilizados como agregado reciclado em novos concretos é necessário que sejam seguidas diretrizes, de modo que as diferenças entre os agregados naturais e reciclados sejam levadas em conta, controlando os efeitos negativos que estes possam originar (GONÇALVES, 2007).

A partir da Resolução CONAMA 307 (CONAMA, 2002), foram elaboradas as normas técnicas da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), para estabelecer diretrizes de uso do RCD. A seguir citam-se as Normas Brasileiras vigentes.

- **NBR 15112:2004** – Resíduos Sólidos da Construção Civil e resíduos volumosos. Áreas de transbordo e triagem. Diretrizes para projeto, implantação e operação.

- **NBR 15113:2004** – Resíduos Sólidos da Construção Civil e resíduos inertes. Aterros. Diretrizes para projeto implantação e operação.

- **NBR 15114:2004** – Resíduos Sólidos da Construção Civil. Áreas de reciclagem. Diretrizes para projeto, implantação e operação.

- **NBR 15115:2004** – Agregados reciclados de resíduos sólidos da Construção Civil. Execução de camadas de pavimentação. Procedimentos.

- **NBR 15116:2004** – Agregados reciclados de resíduos sólidos da Construção Civil. Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural. Requisitos.

Esta última norma é a única que estabelece requisitos para o emprego de agregados reciclados, e define estes como sendo:

[...] Resíduos provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil e os resultantes da preparação e escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto, solo, rocha, madeiras, forro, argamassas, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica, etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha.

A Tabela 3 apresenta um comparativo entre as principais exigências da Norma Brasileira e algumas das principais Normas Internacionais, para o uso dos agregados reciclados de concreto.

Tabela 3: Normas para uso de agregados reciclados de concreto

País/ Norma	Massa específica mínima (kg/m ³)	Máxima absorção de água (%)	Máximo teor de cloretos (%)	Máximo teor de sulfatos (%)
Brasil ABNT NBR 15116:2004	–	7	1,0 ¹	1,0 ²
Alemanha DIN 4226-100:2002	2000	10 a 15	0,04	0,8
China WBTC 12:2002	2000	10	0,05	1,0
RILEM : 1997	2000	10	–	1,0 ²
Reino Unido BS 8500-2: 2002	–	–	–	1,0
Holanda CUR:1994	2000	–	0,05 ¹	1,0
Portugal E 471:2006	2200	7	–	0,8
Suíça SIA 162/4:1994	–	–	0,03	1,0
Dinamarca DCA:1990	2200	–	–	–

Fonte: adaptado de GONÇALVES (2007).

¹ solúveis em água; ² para concreto, já que, no caso de concreto simples e protendido, apresentam valores diferentes; NC: não conhecido.

Através da análise das informações visualizadas na Tabela 3, observa-se que as propriedades normalmente avaliadas pelas Normas são a massa específica e a absorção de água, que a massa específica mínima para agregados reciclados de concreto gira em torno de 2000 kg/m³, seguido com maior ou menor rigor, por praticamente todas as normas, que a absorção de água fica entre 7 e 15% e o teor de sulfatos e cloretos é limitado em quase todos os países.

2.3.2 Características do agregado reciclado de concreto

Visando às exigências das Normas é realizada a revisão bibliográfica das características dos agregados provenientes da reciclagem de concreto. Pode-se esperar que os resultados tenham uma grande variabilidade, decorrente das propriedades específicas de cada material e dos métodos de ensaio adotados.

Na Tabela 4 são apresentadas a Massa específica e Massa unitária do agregado reciclado de concreto citados por diversos autores.

Tabela 4: Massa Unitária (M.U.) e Massa Específica (M.E) de ARC

Autor/Ano	M.U. (kg/dm³)	M.E. (kg/dm³)
GONÇALVES, 2001	1,29	2,48
OLIVEIRA, 2002 (a)	1,57	2,35
MENDES et.al., 2004	1,25	2,46 a 2,49
LIMBACHYA, 2004	-	2,58
TOPÇU e SENDEL, 2004	1,16	2,47
BRITO, 2005 apud GONÇALVES, 2007	-	2,30
XIAO et. al., 2005	1,29	2,52
SINGH, 2007	-	2,35 a 2,58
CABRAL et. al., 2007	1,43	2,27
LÓPEZ-GAYARRE et. al., 2009	-	2,20 a 2,36
WERLE, 2010; TROIAN, 2010	1,21	2,47 a 2,50

Os valores de massa específica e massa unitária de ARC encontrados na literatura, conforme a Tabela 4, são muito variáveis. Essas diferenças ocorrem em função da granulometria, afetada pelo tipo de britador utilizado, e das diferentes porosidades dos concretos. Pode-se também dizer, que o método de ensaio empregado influencia nestes valores, uma vez que as normas utilizadas para este ensaio são para materiais naturais, e podem não avaliar adequadamente o ARC.

A massa específica (M.E.) dos agregados reciclados de concreto, conforme a Tabela 4, varia de entre 2,20 a 2,58 kg/dm³, ficando dentro dos limites especificados pelas Normas Internacionais, enquanto que a massa unitária apresenta valores entre 1,16 a 1,29 kg/dm³. Os valores de massa específica apresentados pelos materiais reciclados de concreto são inferiores aos dos agregados naturais. Nos trabalhos de autores que utilizaram agregados naturais (AN) provenientes do Rio Grande do Sul, os agregados graúdos naturais apresentam M.E. de 2,75 kg/ dm³ (WERLE, 2010) e 2,85 kg/ dm³ (LOVATO, 2007).

Devido às diferenças encontradas entre AN e ARC é recomendável que seja realizada uma compensação da quantidade de agregado reciclado a ser utilizado nas misturas de concreto, em massa, quando houver substituição de agregados naturais por ARC.

Na Tabela 5 são apresentados os resultados de alguns estudos em relação ao teor de absorção de água do ARC.

Tabela 5: Absorção de água dos agregados reciclados de concreto (ARC)

Autor/Ano	ARC em relação à massa seca	Considerações
RAVINDRARAJAH e TAM, 1997a apud CABRAL, 2007	5,68%	
LEVY, 2001	3,7 a 5,6%	
GONÇALVES, 2001	4,9%	
POON et. al.; 2002	7,5%	
BUTTLER, 2003	5,48 a 6,41%	Absorção em 24h de ensaio.
LIMBACHIYA, 2004	5,5%	
TOPÇU e SENDEL, 2004	7%	Absorção em 30 min. de ensaio
MENDES et.al., 2004	5,30%	Absorção em 24h de ensaio, sendo que o agregado absorve 98% aos 5 min.
XIAO, et. al., 2005	9,25%	
SINGH, 2007	3,05% a 7,40%	
RAHAL, 2007	3,4%	
LÓPEZ-GAYARRE et. al., 2009	3,8% a 5% ²	Absorção em 24h de ensaio
WERLE et. al., 2010	5,24 e 6,07%	Para concretos com ARC oriundos de concretos com resistência à compressão de 37 MPa e 50 MPa respectivamente.

A literatura cita que os agregados graúdos naturais apresentam a absorção de água de 1,96% (BUTTLER, 2003), 2,2% (GRUBBA, 2009) e 2,19% (TROIAN, 2010; WERLE, 2010), no entanto, outros autores citam que a absorção de água dos agregados naturais é insignificante ou que apresentam valores numa ordem de 0,3 a 0,5%. Observa-se na Tabela 5 que a absorção de água do ARC sempre é maior quando comparado ao agregado natural e apresenta o limite de 10%, o qual é exigido pelas normas apresentadas na Tabela 3.

Segundo Abourizk e Rashwan (1997) apud Movassagh (2006), a absorção de água do ARC é maior para agregados oriundos de concretos com maiores graus de hidratação, provavelmente devido à perda de umidade no processo de hidratação do cimento e da formação do gel.

Segundo Gonçalves (2007), a Norma CUR:1997, da Holanda, indica que os concretos com agregados reciclados devem compensar as diferenças de absorção de água existente entre os agregados naturais e reciclados. A norma indica que os agregados reciclados devem ser adicionados à mistura no estado saturado ou deve-se utilizar água de compensação na mistura, onde a água adicionada na mistura é correspondente à quantidade de água absorvida pelos agregados. Na China, a Norma WBTC 12:2002 cita que os agregados reciclados devem ser

pré-molhados antes de serem usados. Esta medida, procura evitar que as diferenças de absorção de água alterem a relação água/cimento do concreto, necessária para a hidratação do cimento e para conferir a trabalhabilidade necessária à execução.

A Norma ABNT NBR 15116:2004 recomenda que, para a produção de concretos sem função estrutural, deve-se realizar a pré-molhagem de 80% da taxa de absorção de água do agregado reciclado.

Segundo López-Gayarre et al. (2009), a alta absorção de água dos agregados reciclados de concreto em relação ao agregado natural impossibilita que a relação a/c do concreto seja constante, isso pode ser compensado pelo uso de aditivo a fim de compensar a perda da trabalhabilidade.

A absorção de água do agregado depende das características do concreto que dá origem ao ARC e ao processo de moagem. Cabral (2007) verificou que a absorção de água em agregados de concreto é de 80% nos primeiros 10 min. de ensaio realizado até 24 horas, Butler (2003) citou que aos 10 min. de ensaio o ARC absorve 88% da absorção total de água, e Werle (2010) observou que os ARC absorvem cerca de 80% de toda a capacidade de absorção de água nos primeiros 5 minutos de contato com a água.

Além das características apresentadas sobre massa específica, massa unitária e absorção de água, cabe ressaltar as características do ARC quanto à distribuição granulométrica, que segundo Oliveira (2002), tem influência sobre a qualidade dos concretos, especialmente sobre a compactidade e a resistência do concreto aos esforços mecânicos. Segundo Buttler (2003), o aumento da resistência do concreto pode ser ocasionado pelos diâmetros dos grãos, pois quanto menor, conseqüentemente, maior é a superfície de contato entre o agregado e a pasta de cimento.

Em todas as pesquisas sobre ARC há um consenso que existem nos agregados reciclados partículas de argamassa aderidas aos agregados naturais e que esta quantidade de argamassa influencia muito as propriedades dos agregados reciclados assim como dos concretos produzidos com eles. Segundo Etxeberria (2004) as diferenças de absorção de água entre os agregados reciclados e naturais são dependentes da quantidade e a qualidade da argamassa aderida; há uma dependência entre a massa específica e a capacidade de absorção de água, provocada em grande parte pela existência de pasta aderida; e o tamanho do agregado influencia a capacidade de absorção do agregado, aumentando à medida que a granulometria diminui.

Na Tabela 6 são apresentadas as considerações sobre a granulometria do ARC, realizada por vários pesquisadores.

Tabela 6: Granulometria dos agregados reciclados de concreto (ARC).

Autor/Ano	Considerações
VAN ACKER, 1996 apud GONÇALVES, 2001	A granulometria do ARC varia bastante quando comparado ao do agregado natural. Durante o processo de peneiramento a argamassa aderida ao agregado reciclado se solta e gera grãos com várias dimensões.
RASHWAN, ABOURISK, 1997 apud BUTTLER, 2003	A quantidade de agregados miúdos aumenta à medida que se aumenta o período de cura antes da britagem do ARC, oriundo de concreto pré-misturado.
SAGOE-CRENTSIL et. al., 2001	O ARC tem 80% dos grãos retidos na peneira de malha 6,3mm.
OLIVEIRA, 2002 ^a	O ARC não selecionado apresenta 50% da distribuição granulometria na fração graúda; e o diâmetro máximo de 12,5 mm
BUTTLER, 2003	O ARC apresenta um diâmetro máximo de 19,0 mm, sendo que a maior parte dos grãos encontra-se retidos nas peneiras 12,5 e 9,5 mm.
TOPÇU e SENDEL, 2004	Para agregados reciclados oriundos de concreto com resistência à compressão de 14 MPa, o módulo de finura é igual a 5,50 enquanto que o do agregado natural é de 5,74.
OBLA et. al., 2007	Para os agregados oriundos de concretos de alta resistência (45 MPa) a fração graúda é de 70%, e os oriundos de baixa resistência (9 MPa) o valor é de 61%.
MARIANO, 2008	Em agregados obtidos de arrasamento de estacas, a porcentagem de finos é de 19%. A maioria do agregado graúdo fica retido nas peneiras 19 e 12,5mm
FERREIRA, 2009	Para os agregados oriundos de resíduos de tubos de concreto em empresas de artefatos pré-moldados a fração miúda é de 51% do total cominuído, e a maior porcentagem de agregado graúdo encontra-se retido na peneira 19mm (16%)
WERLE, 2010 TROIAN, 2010	As curvas granulométricas dos agregados gerados situam-se em zona entre 12,5 e 25 mm. O módulo de finura dos ARC estudados varia de 4,14 a 4,36 para concretos de 18 a 50 MPa.

Observa-se a grande variabilidade de propriedades entre os ARC utilizados nas pesquisas citadas.

A Norma ABNT NBR 15116:2004 recomenda a adição de agregados convencionais, visando corrigir a composição granulométrica do agregado reciclado, de modo a ficar de acordo com a ABNT NBR 7211:2009. No entanto, estes procedimentos aumentam o custo da reciclagem, além de desperdiçar parte do agregado reciclado.

A distribuição granulométrica dos agregados reciclados varia de acordo com o resíduo processado e os equipamentos utilizados no beneficiamento (LIMA 1999). Conforme Levy (2001) ainda não há um consenso no meio técnico a respeito da granulometria adequada para um agregado reciclado ser utilizado no concreto. Portanto, segundo os autores citados, a curva granulométrica especificada na Norma ABNT NBR 7211:2009, não deve ser utilizada como parâmetro de seleção do agregado reciclado a ser inserido no concreto.

Buttler (2003) estudou a influência da idade da reciclagem: (1 dia- 14,6 MPa; 7 dias- 45,3 MPa; e 28 dias- 52,1 MPa) nas propriedades dos agregados e concretos reciclados e concluiu que, os agregados reciclados apresentaram pequenas diferenças nas suas propriedades, e que os resultados mais satisfatórios foram obtidos para os resíduos de concreto com pequeno grau de hidratação e que apresentavam grande quantidade de partículas não-hidratadas de cimento. Essas partículas não-hidratadas produziram um maior empacotamento e preenchimento dos vazios da matriz e na interface, ocasionando um efeito parede que proporcionou uma maior compacidade localizada. Os concretos com agregados reciclados que apresentavam pequeno grau de hidratação e grande quantidade de cimento não-hidratado alcançaram os melhores resultados em termos de resistência à compressão, tração e módulo de elasticidade.

Segundo Tabsh e Abdelfatah (2009), a qualidade do agregado reciclado de concreto, normalmente varia de acordo com as propriedades do concreto de origem. As variações ocorrem devido às diferenças na qualidade do agregado, tamanho dos agregados, textura e da resistência à compressão do concreto de origem dos agregados.

Werle (2010) e Troian (2010) citam que a utilização de ARC com resistência inferior à da matriz de concreto no qual é inserido, resulta na redução da resistência do novo concreto em relação à do mesmo concreto com agregados naturais.

2.4 CONCRETO COM AGREGADOS RECICLADOS DE CONCRETO

Este item tem como objetivo apresentar as características do Concreto com ARC no estado fresco e endurecido; e as exigências para concretos com ARC, da Norma Brasileira e as principais Normas Internacionais. Além disso, também serão apresentados estudos referentes ao RCD misto e concretos convencionais, pois pode ser realizada a transferência de conhecimento, para o estudo do concreto com ARC.

Segundo Lima (1999), as características dos concretos com agregados reciclados variam mais que a de concretos convencionais, pois além das variações ligadas à relação a/c e ao consumo de aglomerantes, há ainda as mudanças determinadas por variações na composição e das características físico-químicas dos resíduos reciclados. Apesar disso, podem-se obter concretos com agregados reciclados adequados a diversas utilizações na construção civil, desde que se tomem cuidados com a produção do agregado e do novo concreto (escolha do resíduo, classificação e separação dos contaminantes, controle de qualidade, adoção de procedimentos corretos de aplicação, análise das condições de exposição e outros cuidados).

Brito e Robles (2010) citam que há uma grande heterogeneidade dos procedimentos utilizados pelos pesquisadores para o estudo do agregado reciclado e que mesmo em publicações internacionais, muitas vezes, não há informações suficientes sobre as propriedades dos agregados utilizados (naturais e reciclados); composição da mistura do concreto com agregado reciclado; e os resultados não são comparados ou são apresentados de forma desorganizada. Outro problema é o grande número de variáveis inseridas no processo de mistura do concreto, o que ocasiona uma difícil tarefa em comparar dados. A relação a/c dos concretos e o procedimento utilizado para inserir a água na mistura de concreto com agregado reciclado são aceitos como uma variável constante, enquanto o teor de substituição é considerado a variável de análise.

2.4.1 Especificações de diversas Normas para uso de agregados reciclados de concreto

As Normas tendem a restringir a porcentagem de substituição de agregados reciclados e especificamente o limite de resistência à compressão dos concretos elaborados com ARC, conforme apresentado na Tabela 7.

Tabela 7: Normas para concretos com agregado reciclado de concreto.

País /Norma	Máxima substituição de agregados naturais por		Condições de aplicação	Resistência máxima
	Grossos	Finos		
Brasil ABNT NBR 15116:2004	100%	100%	Concreto sem função estrutural	15 MPa
Alemanha DasStb 1998	20 a 35%, conforme a aplicação	0%	Não é permitido em concreto protendido	C30/37 (20% substituição) C25/30 (35% substituição)
Hong-Kong	20 ou 100%	0%	Concreto de baixa resistência ou concreto estrutural	20 MPa (100% substituição) 35 MPa (20% substituição)
RILEM:1997	100%	Apenas se cumprirem os requisitos impostos aos naturais	Ambiente seco, úmido e marítimo	C50/60
Holanda CUR:1994	100%	Apenas se utilizados com agregados graúdos convencionais	Ambientes não agressivos	C40/50
Portugal E 471:2006	25%	0%		C40/50
	20%	0%		C35/45
Suíça SIA 162/4:1994	100%	20%	São requeridos testes adicionais para utilização em concreto protendido	C30/37
Dinamarca DCA:1990	100%	20%	Ambientes não agressivos	40 MPa

Fonte: adaptado de GONÇALVES (2007)

A NBR 15116:2004 é a única norma que estabelece requisitos complementares para o emprego de agregados reciclados, ou seja, estes podem ser utilizados em concreto sem função estrutural, desde que provenientes de material da classe A, substituindo parcial ou totalmente os agregados naturais (fração graúda e miúda), respeitando as imposições do Quadro 4.1. da Norma.

2.4.2 Características do Concreto convencional e com ARC no estado fresco

Devido à escassez de literatura sobre o comportamento do concreto com agregado reciclado de concreto (CARC) no estado fresco, no texto que segue, serão realizadas análises dos concretos com RCD misto e aos concretos convencionais (CRef.).

As propriedades das pastas de cimento e dos concretos são sensíveis à sequência e intensidade de mistura, e podem influenciar a trabalhabilidade de forma significativa. (AGULLÓ et. al., 1999). Segundo Tattersall (1991) apud Castro e Libório (2005), o grau de uniformidade em um lote de concreto não depende apenas do misturador utilizado, mas também do método e da sequência de incorporação dos materiais constituintes da mistura.

Sob condições normais, na primeira meia hora após o contato entre a água de mistura e o cimento, a perda de abatimento em concretos sem aditivos é insignificante em função do pequeno volume de produtos de hidratação formado no período. Na sequência, o concreto começa a perder abatimento em função da hidratação, da temperatura, da composição do cimento e dos aditivos presentes na mistura. Como as reações de hidratação perduram por muito tempo, ultrapassando o tempo de fim de pega do cimento, garante-se água disponível para as reações de hidratação, sem que a mesma seja absorvida pelos agregados (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

Deve-se considerar, entretanto, que o comportamento das pastas (e também dos concretos) pode variar de forma significativa com a alteração do lote de cimento do mesmo tipo e proveniente da mesma fábrica (VIEIRA, 2010). Mesmo quando todo o cuidado necessário é tomado, ainda assim poderá haver uma variabilidade da trabalhabilidade dentro do lote de concreto considerado (CASTRO E LIBORIO, 2005).

Segundo Mehta e Monteiro (2008), os concretos com agregados naturais, sob condições normais, na primeira meia hora após o contato entre a água de mistura e o cimento, a perda de abatimento em concretos sem aditivos é insignificante em função do pequeno volume de produtos de hidratação formados no período. Na sequência, o concreto começa a perder abatimento sob uma taxa que é função da hidratação, da temperatura, da composição do cimento e dos aditivos presentes na mistura.

Segundo Melo et. al. (2009), como as interações entre aditivo e cimento resultam de interações físicas e químicas de grande complexidade, deve-se esperar que os resultados das análises de compatibilidade sejam válidos somente para as temperaturas nas quais os ensaios são realizados.

Em estudo realizado por Mendes et.al. (2004), a trabalhabilidade do concreto com agregado reciclado se manteve semelhante ao do concreto de referência, devido à realização da pré-molhagem no agregado. O estudo demonstra que somente utilizando água de compensação na mistura (sem pré-molhagem) a trabalhabilidade do CARC se mantém

semelhante ao concreto de referência. Entretanto a alta absorção de água dos agregados reciclados de concreto em relação ao agregado natural, segundo López-Gayarre et. al. (2009), impossibilita que a relação a/c do concreto seja constante, isso pode ser compensado pelo uso de aditivo a fim de compensar a perda da trabalhabilidade.

Cabral (2007) cita que a menor trabalhabilidade dos concretos com RCD, possivelmente é decorrente da maior absorção dos agregados reciclados, que tornam a mistura mais seca e, conseqüentemente, menos trabalhável. Em decorrência dos processos de britagem e moagem, os agregados reciclados tornam-se mais angulares (aumentando a fricção interna nos concretos com RCD, dificultando o deslizamento das partículas) com uma razão superfície/volume maior que a dos conhecidos agregados naturais, que são mais esféricos e de superfície mais lisa. Conseqüentemente, os concretos com RCD exigem maior quantidade de pasta para se ter uma mesma trabalhabilidade que a dos concretos com agregados naturais. A geração de finos, durante o processo de mistura do concreto, ocorre devido ao desgaste da argamassa antiga contida no agregado reciclado, em função do atrito dos agregados, aumentando a coesão dos mesmos. Estas considerações citadas podem ser extrapoladas para o agregado reciclado de concreto que além do exposto, também possui argamassa em sua composição.

Em seu estudo de concretos com RCD misto, Leite (2001) utilizou água de compensação devido à absorção de água dos agregados reciclados ser elevada, em relação aos agregados naturais, para que não houvesse diminuição excessiva da água livre das misturas de concreto; não comprometesse a trabalhabilidade; e não houvesse um excesso muito grande de água no concreto, no caso da adição empírica, o que reduziria a resistência mecânica. No entanto ainda foi necessário o uso de aditivo superplastificante em vários traços com teor de substituição de agregado igual ou superior a 50%. A autora determinou a consistência dos concretos através do abatimento do tronco de cone e observou que os concretos com agregados reciclados apresentaram valores de abatimento mais baixos e mais variáveis que o concreto convencional.

Cabral et al. (2007) realizou uma pré-molhagem 10 minutos antes da mistura na betoneira, com 80% da água que seria absorvida em 24 horas pela massa do agregado reciclado de concreto. Os autores utilizaram esse valor porque observaram que durante os ensaios de absorção de água dos agregados reciclados que esses agregados atingem 80% da absorção total de água, em média, nos primeiros 120 minutos após a mistura.

Carrijo (2005) e Leite (2001), utilizaram a taxa de compensação para o tempo de 10 minutos e justificaram a compensação de apenas parte da água total, com o argumento de que fazendo a compensação parcial não há um excesso de água no concreto, fato que levaria as resistências mecânicas a valores muito baixos.

Malesev et. al. (2010), citam que o agregado de concreto possui argamassa aderida em torno do grão de brita natural, por isso a absorção de água é aumentada significativamente em relação ao agregado natural. Portanto, a absorção da água interfere na perda de trabalhabilidade do concreto, sendo necessário adicionar uma determinada quantidade de água para saturar o agregado ou durante a mistura do concreto, a fim de manter a trabalhabilidade do concreto com ARC igual ao concreto com agregado natural. No caso deste estudo, onde foi utilizado ARC de concretos com uma faixa de resistência à compressão de 40 MPa, adotou-se a quantidade de água absorvida pelo ARC aos 30 minutos de ensaio, pois os autores consideraram que a mudança de consistência do concreto, sem aditivos, ocorria nos primeiros 20 a 30 minutos. Os autores citam ainda que os concretos com ARC, seja utilizando o agregado saturado ou água de compensação na mistura, apresentam a mesma trabalhabilidade do concreto com agregados naturais.

Segundo Topçu e Sengel (2004), concretos com mais de 50% de substituição do agregado natural pelo ARC tendem a dificultar a trabalhabilidade, causando problemas de execução do mesmo.

2.4.3 Características do Concreto convencional e com ARC no estado endurecido

Brito e Robles (2010) realizaram um estudo no qual analisaram algumas das propriedades mais importantes de concreto e desenvolveram correlações entre os valores relativos das propriedades do concreto, a partir de dados dos agregados reciclados referentes à densidade, absorção de água e a resistência à compressão aos 7 dias de cura, a fim de prever os resultados em longo prazo do concreto. Esta metodologia foi patenteada em Portugal (PT n°103756) pelos autores. As seguintes considerações foram apresentadas no estudo: com raras exceções, é possível estabelecer uma relação linear entre as propriedades de concreto e da razão sobre os três parâmetros mencionados, geralmente a densidade da mistura com agregados reciclados de concreto apresentaram os maiores coeficientes de correlação na análise gráfica para as propriedades do concreto endurecido, o parâmetro utilizado de resistência a compressão aos 7 dias apresenta o menor coeficiente de correlação, que pode ser explicado pela influência da variação dos processos de mistura do concreto; as propriedades

dos concretos com agregado reciclado de concreto (ARC) são sempre piores quando é aumentado a taxa de substituição do agregado natural pelo ARC.

López-Gayarre et al. (2009), citam que o percentual de substituição, de um agregado reciclado de alta resistência, não irá afetar a resistência à compressão do concreto, se a relação a/c for mantida constante na mistura de concreto e a perda de trabalhabilidade for compensada com aditivos.

Para Werle (2010); Troian (2010), a substituição de até 50% de agregado natural por ARC, não interfere na resistência a compressão das novas matrizes de concreto, no entanto, quando o teor de substituição é aumentado há uma queda brusca nesta propriedade, assim como um aumento na absorção da água do concreto. As mesmas autoras concluíram que em matrizes de 32 MPa utilizando ARC de 37 MPa, a pré-molhagem não se mostrou significativa para a resistência à compressão, no entanto foi relevante para a absorção de água dos novos concretos compostos com 50% de substituição de ARC. Através dos resultados obtidos, foi possível determinar um percentual limite de pré-molhagem de 50% da absorção total dos agregados reciclados.

As Tabela 8, Tabela 9 e Tabela 10, apresentam as propriedades do concreto com agregado reciclado de concreto (CARC), quanto à massa específica, resistência à compressão e absorção de água, respectivamente, quando comparado a concretos convencionais (CRef.).

Tabela 8: Massa específica (M.E.) do CARC.

Autor/Ano	M.E do CARC em relação ao Cref.	Conclusão/Comentários
BAIRAGI et al. ,1993 apud CABRAL, 2007	Menor 5,7%	
LIMBACHIYA, et. al., 2000		O teor de pasta de cimento com 100% de ARC é três vezes maior que o teor do mesmo concreto com 30% do mesmo agregado.
LEVY, 2001	Maior 6,6% a 8%	
POON et al., 2002	Menor 7%	Crescente decréscimo nos CARC, quando se aumenta o teor de substituição dos agregados naturais pelos reciclados. O valor apresentado é para 100% de substituição.
GÓMEZ-SOBERÓN, 2002	Maior 14,3 %	Para os teores máximos de substituição.
KATZ, 2003	Menor 12,5%	
TOPÇU e SENDEL, 2004	Menor 6%	Concreto com 100% de substituição: 2251 kg/m ³ Concreto com 50% substituição: 2301 kg/m ³
CARRIJO, 2005		2,2 g/cm ³
PADMINI et al., 2009		M.E. é maior para concretos com ARC de resistência elevada. Esse fato deve-se a maior quantidade de argamassa aderida a esses agregados.

Observa-se na literatura, Tabela 8, que a massa específica é normalmente menor nos concretos com ARC em relação aos concretos com agregados naturais.

De acordo com a Norma ABNT NBR 6118: 2003 os concretos estruturais devem ter massa específica entre 2.000 kg/m³ e 2.800 kg/m³.

Tabela 9: Resistência à compressão do CARC.

Autor/Ano	Resistência à compressão do CARC em relação ao Cref.	Conclusões/Comentários
RAVINDRARAJAH e TAM,1985 apud CARVALHO, 2008		A influência da qualidade dos agregados é insignificante, a maior influência está relacionada à relação água/cimento da dosagem.
ABOURIZK e RASHWAN, 1997 apud CARVALHO, 2008	Maior 25%	A resistência à compressão é maior com agregados com baixa hidratação devido à existência de partículas não hidratadas de cimento nos resíduos.

GONÇALVES e MACHADO JUNIOR, 2001		ARC com a mesma resistência das dosagens dos concretos reciclados, aditivo superplastificante, a substituição de 100% do agregado natural pelo ARC, fração graúda, em média, praticamente não condicionou a uma perda de resistência, conferindo valores até maiores que dos concretos com agregado natural.
LEITE, 2001		A resistência à compressão dos concretos com RCD misto é muito influenciada pela porosidade dos agregados reciclados e da matriz, determinada pela relação a/c
SAGOE-CRENTSIL et. al, 2002		Não há diferença significativa, entre o concreto de referência e os concretos com ARC, com diferentes teores de substituição (menos que 5%)
KATZ, 2003	Menor 9 a 13%	
KOU et al., 2004		Os concretos com ARC e cinza (na porcentagem de 25% da massa de cimento), adquiriram uma resistência igual ou superior ao do concreto sem cinza aos 90 dias de idade, independente do método de cura (sem cura, à vapor ou úmida)
TOPÇU e SENDEL, 2004	Menor 13%	
MENDES et.al., 2004	29,8 MPa	Aos 28 dias de cura. Relação a/c=0,50
POON, SHI e LAM, 2004		O CARC apresenta maior porosidade e menor resistência do que o concreto de referência devido à maior presença de argamassa aderida.
TAM et al., 2005		Sugerem que CARC seja misturado duas vezes, o que chamaram de estágios, resultando num enrijecimento da zona interfacial e conseqüente aumento da resistência à compressão. Consideram a zona interfacial entre o agregado reciclado e a matriz da argamassa de cimento fraca para aplicações que exigissem maior resistência.
SINGH, 2007	Menor 7,5 a 16%	Para 25% de substituição de ARC
OBLA et. al., 2007		Quanto maior a resistência do concreto de origem maior a resistência do novo concreto.
PROJECTO REAGIR, 2007	Menor 13%	
TABSH e ABDELATAH, 2009	Menor 30 a 40%	Maiores resistências são encontradas em concretos com ARC de 30 MPa e menor em concretos onde o ARC foi retirado de uma pilha de concreto de fonte desconhecida. Para ARC de 50 MPa a resistência à compressão é similar ao concreto com AN.
PADMINI et al., 2009	Menor 10 a 20%	Quanto maior a dimensão do agregado, maior é a resistência do CARC. Isso é devido que os agregados de maior dimensão possuem um maior percentual de agregados naturais contidos e quanto menor o agregado, maior o percentual de argamassa na fração granulométrica.

MALESEV et. al., 2010		Não há diferença significativa, entre o concreto de referência e os concretos com ARC, com diferentes teores de substituição, quando a nova matriz de concreto tiver menor resistência (aos 28 dias) que o ARC.
-----------------------	--	---

Através da observação da Tabela 9 pode-se concluir que geralmente os concretos com ARC possuem uma resistência à compressão similar ou menor que os concretos com agregados naturais.

Neville (1997), cita o estudo de Glanville, Collins e Matthews (1947), que relaciona o grau de adensamento da mistura com a resistência resultante. A maior presença de vazios reduz a resistência, sendo que apenas 2% de vazios podem significar a perda de 10% de resistência, enquanto que 5% de vazios podem significar uma perda de até 30% de resistência.

Segundo Silva (2004), a cura térmica faz com que a hidratação inicial cause rapidamente a formação de produtos de hidratação com estrutura mais pobre, e provavelmente mais porosa. Coerentemente a Werle (2010) quanto mais poroso o agregado inserido na mistura menor será a resistência alcançada pelo concreto que o incorpora.

Bauer et.al. (1998) em estudo realizado de concretos com agregados naturais, produzidos com CP V-ARI em diferentes tipos de cura, cita que os concretos com cura ao ar apresentam uma resistência a compressão menor em 11%, aos 28 dias, em comparação aos concretos que passaram por cura úmida.

Tabela 10: Absorção de água do CARC em comparação ao concreto de referência CRef.

Autor/Ano	Absorção de água	Comentários
SAGOE-CRENTSIL et. al, 2002	Aumenta 5,6%	
PROJECTO REAGIR, 2007	Aumenta 70%	Aos 42 dias de ensaio.
LÓPEZ-GAYARRE et al., 2009	Aumenta de 24,6 a 50%	O tipo de agregado reciclado de concreto e o teor de substituição do mesmo no concreto são os fatores que mais interferem na absorção de água do concreto com ARC. A argamassa aderida tem uma absorção de água elevada, por isso, os concretos com uma grande quantidade de ARC de baixa qualidade apresentam uma absorção de água maior que do concreto de referência.
PADMINI et al., 2009		A absorção de água do CARC aumenta com um aumento na resistência do concreto de origem do ARC, enquanto que diminui com o aumento no tamanho máximo do agregado.
MALESEV et. al., 2010	Aumenta de 22 a 44%	Para teor de substituição de 50 e 100% do AN pelo ARC.
WERLE, 2010	Aumenta até 28%	Aumentando o teor de substituição do ARC aumenta a absorção de água do concreto reciclado.

Pode-se concluir, conforme apresentado na Tabela 10, que concretos com ARC possuem maior absorção de água que os concretos com agregados naturais.

2.5 PRÉ-FABRICADOS DE CONCRETO

A construção civil, em todo o mundo, encontra-se em um período claramente dedicado à busca e implementação de estratégias de modernização do setor, em que a industrialização da construção tem um papel fundamental (PAULA, 2007). Portanto, é cada vez maior a utilização de peças pré-fabricadas de concreto na construção civil, pois representa um razoável progresso em termos construtivos, permitindo a racionalização e o aperfeiçoamento técnico das obras (SINPROSIM-BA, 2003).

A norma NBR 9062:2006 da ABNT apresenta uma distinção entre elementos pré-fabricados e elementos pré-moldados, com base no controle de qualidade da execução do elemento e seu local de produção. O elemento pré-fabricado é aquele “[...] executado industrialmente, em instalações permanentes de empresa destinada para este fim, que se enquadram e atendem aos requisitos mínimos”, requisitos estes, especificados no texto da referida norma e referentes ao uso de mão de obra treinada e especializada e processo de cura com temperatura controlada. Já o elemento pré-moldado, é aquele “[...] moldado previamente e fora do local de utilização definitiva na estrutura”, com controle de qualidade menos rigoroso que o elemento pré-fabricado. A mesma norma prevê que deve haver um controle tecnológico rigoroso do concreto e que o controle de qualidade e a inspeção de todas as etapas de produção, transporte e montagens dos elementos pré-moldados devem ser executados a fim de garantir as especificações do projeto; a resistência característica do concreto para a produção de peças estruturais pré-fabricadas não poderá ser inferior a 20 MPa, aos 28 dias, e especifica quanto ao uso de aditivos em pré-moldados (logo, em pré-fabricados). Divide a cura em dois tipos: cura normal, que enquanto não atingir endurecimento satisfatório, o concreto deve ser protegido contra agentes prejudiciais, como mudanças bruscas de temperatura, secagem, chuva forte, água torrencial, agentes químicos, bem com, o choque e vibrações de intensidade tal que possam produzir fissuração na massa do concreto, ou prejudicar a sua aderência à armadura, e cura acelerada, no qual o endurecimento do concreto pode ser antecipado por meio de tratamento térmico adequado e devidamente controlado, não se dispensando as medidas de proteção contra a secagem.

Segundo Couto e Couto (2007), na Europa, a pré-fabricação pode tornar as atividades de construção mais sustentáveis. Os autores citam que o programa PREPARE (Preventive Environmental Protection Approaches), verificou que a pré-fabricação tem avançado em

direção a sustentabilidade, e tem apresentado os seguintes potenciais de benefícios: redução de 50% na quantidade de água utilizada para construir uma casa típica; redução de 50% no uso de materiais oriundos de uma pedreira e redução de pelo menos 50% no consumo de energia.

A técnica da pré-fabricação apresenta as características de baixa relação água/cimento, nível de adensamento, possibilidade de cura controlada, garantia do cobrimento de armadura, dentre outros fatores de produção, que garantem a qualidade dos elementos pré-fabricados (MARCOS NETO, 1998).

Tendo em vista o incremento previsto na utilização de pré-fabricados e o nível tecnológico existente nestas indústrias, a reciclagem de resíduos de concreto nas mesmas torna-se uma alternativa atraente. Neste sentido, serão relacionados a seguir alguns aspectos relevantes do processo produtivo das empresas de pré-fabricados que podem ser impactados pela adoção da reciclagem de resíduos de concreto na produção de elementos pré-fabricados.

2.5.1 Projeto e planejamento

Segundo Paula (2007), os projetos e planejamentos voltados para a eficiência da montagem dos elementos pré-fabricados devem considerar alguns aspectos, como a sequência de fabricação e envio ao local da obra, localização das guias, método e sequência de montagem, içamento, fixação e armazenamento das peças. O método utilizado para o transporte de elementos pré-fabricados pode afetar o projeto arquitetônico e estrutural, devido às limitações de peso e dimensão do equipamento de transporte e aos efeitos dinâmicos impostos pelas condições da via pública. A mesma autora cita que a longo prazo, as condições ambientais podem proporcionar danos ao comportamento estrutural dos painéis, em intensidades até maiores que as cargas impostas à estrutura. A retração, a fluência e, principalmente, a amplitude térmica diária (que tem efeito cíclico) a que está exposto o painel, introduzem esforços de flexão no elemento e conseqüentemente, acarreta maiores esforços nas ligações, muitas vezes, não considerados na elaboração de projetos de painéis pré-moldados no Brasil. Se os painéis são fixados na estrutura por meio de pilares a ocorrência de tais deformações no painel devido à temperatura será influenciada, também, pela rigidez dos pilares.

Em geral os critérios utilizados para o dimensionamento das peças pré-fabricadas são idênticos aos de estruturas executadas "in loco" (BOIÇA & SANTOS FILHO, 2005).

2.5.2 Características do processo de produção de peças pré-fabricas

Segundo Richardson (1991) apud Marcos Neto (1998), o sucesso no emprego das estruturas pré-fabricadas situa-se na observação dos princípios da produção:

- diariamente ciclos de moldagem devem ser mantidos de forma que os serviços associados (cura, transporte interno, etc.) possam ser minimizados;
- o concreto deve estar disponível segundo a provisão. Um plano de apoio deve estar estabelecido de forma a garantir provisão no caso de quaisquer imprevistos;
- o local de produção deve ser dotado de equipamento de manuseio. Equipes de produção devem ser capazes de limpar e preparar as fôrmas disponíveis para posterior moldagem;
- somente os produtos acabados devem ser transferidos ao local de armazenamento.
- todos os elementos devem ser claramente identificados.

A qualidade dos elementos pré-fabricados pode ser assegurada desde que todas as recomendações das Normas relacionadas à sua fabricação sejam observadas. O controle de qualidade do produto final resume-se praticamente no controle da qualidade do concreto e no seu processo de cura. Entende-se por controle de qualidade do concreto, a verificação e o ajuste de suas características, de maneira a permitir, durante a execução, o cumprimento das especificações impostas (DI PIETRO, 2002).

O processo de produção de elementos pré-fabricados de concreto, segundo El Debs (2000), pode ser dividida em três fases: atividades preliminares (preparação dos materiais e transporte de materiais ao local de trabalho), de execução (preparação da fôrma e da armadura, moldagem, cura e desmoldagem) e posteriores (transporte interno, acabamentos finais e armazenamento). O fluxograma, visualizado na Figura 2, apresenta o processo exemplificado por El Debs (2000).

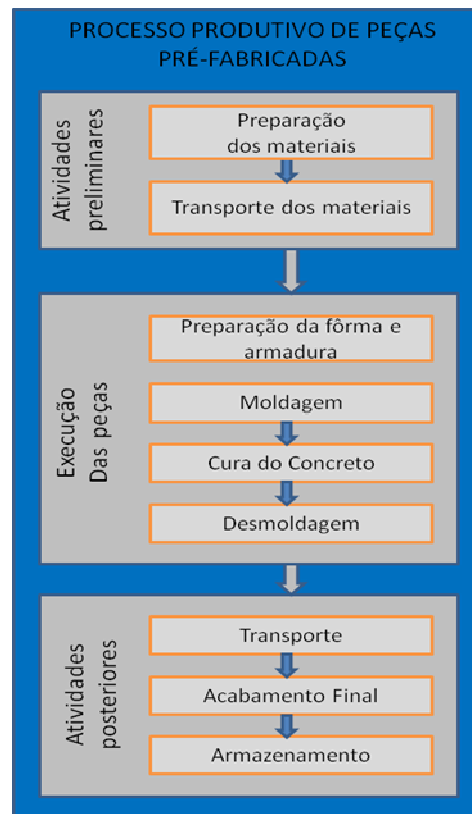


Figura 2: Fluxograma do processo produtivo de peças pré-fabricadas proposto por El Debs (2000).

2.5.2.1 Atividades preliminares

As atividades preliminares são as etapas que antecedem a execução das peças pré-fabricadas, ou seja, a preparação dos materiais que incluem a dosagem do concreto, a mistura do concreto, a produção das armaduras, como corte e dobramento das barras de aço, a produção das fôrmas, e o transporte dos materiais ao local de trabalho (EL DEBS, 2000).

Na dosagem de concretos para peças pré-fabricadas é comum serem utilizados mais de um tipo de britas. É recomendada a utilização de britas com formato cúbico em vez de lamelar, pois apresentam maior trabalhabilidade, já que as de formato lamelar travam facilmente nas armaduras (HELENE, 1993). Segundo Terzian (2005), devem ser evitados os agregados lamelares ou alongados devido a estes possuírem pó aderido à superfície, aumentando o consumo de água da mistura; e a variabilidade na distribuição granulométrica, a forma e o teor do pó dos agregados interferem significativamente na resistência do concreto.

Em estruturas pré-fabricadas as peças devem apresentar elevadas resistências iniciais (primeira idade), pois estas possuem a necessidade de desenforma rápida (EL DEBS, 2000).

Os tipos de cimentos mais indicados em sistemas de produção de peças pré-fabricadas são o CP V (alta resistência inicial) e o CP II (composto), de classe 40, pois proporcionam elevadas resistências iniciais. Além disso, para atender as características do concreto para pré-fabricados, utilizam-se aditivos, dos quais os mais indicados são os redutores de água de alta eficiência, como os polifuncionais e os superplastificantes (TERZIAN, 2005).

2.5.2.2 Execução de peças pré-fabricadas

A execução das peças pode ser entendida como a preparação da fôrma e da armadura, que envolve a limpeza da fôrma e aplicação de desmoldante e colocação da armadura montada; a moldagem, que é o lançamento do concreto nas fôrmas e realização de adensamento mecânico; a cura do concreto, período em que o concreto permanece na fôrma para adquirir a resistência à compressão de desmoldagem; e a desmoldagem, a etapa que envolve a retirada dos elementos de suas fôrmas. Durante o processo de produção, as peças pré-fabricadas de concreto podem ser feitas em fôrmas estacionárias ou móveis. A execução em fôrmas estacionárias corresponde àquela em que as atividades se desenvolvem em torno das fôrmas, que permanecem na mesma posição desde a concretagem até a desmoldagem. O concreto após ser lançado na fôrma passa pelo processo de adensamento, onde os mais utilizados em pré-fabricados são: vibração, centrifugação, prensagem e vácuo. O mais utilizado é o adensamento por vibração, podendo ser interna, com a utilização de vibradores de agulha (imersão), ou externa, com o auxílio de mesas vibratórias (EL DEBS, 2000).

O mesmo autor cita que como se utilizam cimentos de rápida liberação de energia, o processo de cura em pré-fabricados se torna importante para que não se desenvolvam patologias que afetem as resistências à compressão e em flexão. Os processos de cura, que além de garantir a diminuição de algumas patologias, favorecem o aumento da resistência à compressão do concreto nas primeiras idades, principalmente de duas maneiras: evitando a evaporação precoce da água de hidratação e a geração de calor para diminuir o tempo da reação de hidratação do cimento-

A cura é um fator de grande importância, pois se não for feita de modo correto, o concreto não terá a resistência e a durabilidade desejadas. Basicamente, os elementos que provocam a evaporação da água são a temperatura ambiente, o vento e a umidade relativa do ar. Conseqüentemente, a influência é maior quando existe uma combinação crítica destes fatores (COSTA, 2009).

A cura térmica é considerada a cura mais eficiente em empresas que trabalham com concreto pré-moldado (ou seja, pré-fabricado), pois reduz o tempo de cura em relação a um procedimento de cura convencional. "A cura térmica funciona como aceleradora das reações de hidratação do cimento. Uma temperatura mais alta durante e depois do contato inicial entre o cimento e a água reduz a extensão do período de latência de modo que a estrutura total da pasta de cimento hidratada se define mais cedo" (NEVILLE,1997).

Quanto maior o ganho de resistência nas primeiras idades, mais rápidas as peças podem ser desmoldadas das fôrmas, liberando-as para a fabricação de novas peças e possibilitando, com isso, uma maior produtividade (COSTA E SILVA et al., 2009); redução da área de estoque, no caso de peças pré-fabricadas.

Os procedimentos empregados na desmoldagem dependem do tipo de fôrma utilizada. No caso de painéis podem ser elas: direta, por separação dos elementos ou por tombamento da fôrma (EL DEBS,2000).

Em relação à capacidade resistente do painel pré-fabricado de suportar as atividades preliminares, de execução e posteriores, estes devem apresentar resistência de compressão na desmoldagem adequada em função da tensão de tração a que estão submetidos. Segundo PCI (1972 e 1989) apud Oliveira e Sabbatine (2004), a solicitação na desmoldagem não deve ultrapassar a metade da tensão de tração característica, aos 28 dias.

2.5.2.3 Atividades posteriores

As atividades posteriores podem ser divididas em transporte interno, que é o transporte do elemento do local de moldagem até o local de armazenamento; acabamentos finais que envolvem atividades de investigação e reparo de alguns detalhes, como por exemplo, bolhas que ficam expostas após a concretagem; e armazenamento, período no qual os elementos permanecem na fábrica até serem enviados à obra. O transporte interno das peças pode ser feitos através de pórticos rolantes, carrinhos de rolamento, pontes rolantes, monotrilhos e outros equipamentos do gênero (EL DEBS, 2000).

Segundo SINPROSIM-BA (2003), a falha mais comum, no momento do armazenamento, e também a mais grave é o erro no posicionamento dos calços sobre os quais a peça irá repousar. A posição correta deve ser indicada no projeto, e a não observância da indicação pode acarretar fissuras e variações indesejáveis na contra-flecha das peças protendidas, levando, às vezes, a inutilização do elemento pré-moldado (pré-fabricado).

Os cuidados com o armazenamento dos painéis, tanto na fábrica quanto no canteiro de obras, devem ser mais rigorosos quando esses forem armazenados em posição diferente da sua posição final, devendo-se protegê-los para que não apareçam linhas de manchamento em sua superfície de acabamento. Os acabamentos lisos ou de baixa rugosidade são mais suscetíveis ao manchamento que os de maior rugosidade (PCI, 1989 apud PAULA, 2007).

3 ESTUDO DE CASO

O estudo de caso a que se propõe o trabalho foi realizado numa empresa de pré-fabricados de concreto e no Laboratório de Materiais de construção civil, da Universidade do Rio dos Sinos (UNISINOS).

Foi realizada uma parceria com uma empresa de pré-fabricados de concreto, selecionada através dos seguintes critérios: possuir nível tecnológico adequado para a realização deste trabalho, geração de resíduos de concreto em quantidade aparentemente suficiente a reciclagem, disponibilidade de transferir conhecimentos e de executar painéis pré-fabricados com CARC, e com distância física relativamente próxima à Unisinos, São Leopoldo/RS. A empresa selecionada para o estudo, "Empresa de pré-fabricados", localiza-se em Porto Alegre-RS, possui cerca de 200 funcionários, detêm o Selo de Excelência da ABCIC, nível 2 e é certificada pela Norma ISO 9001:2008.

Para que a implementação seja realizada foi necessário ter um panorama geral da empresa de pré-fabricados, a fim de se obter subsídios para realização de uma proposta metodológica adequada a realidade da empresa parceira. Portanto foi realizado um diagnóstico da empresa de pré-fabricados quanto a sua estrutura física e seu processo produtivo. Segundo Ângulo et al., (2001) o conhecimento do processo produtivo que leva a geração de resíduos fornece subsídios para viabilizar uma estratégia de reciclagem.

Neste estudo de caso também foi realizado um diagnóstico dos resíduos de concreto na empresa, com o objetivo de identificar das etapas do processo produtivo em que são gerados os resíduos de concreto e de quantificar a geração de resíduos a fim de selecionar os dois resíduos gerados em maior quantidade a realização do estudo de suas propriedades.

3.1 DESCRIÇÃO DA ESTRUTURA FÍSICA

O diagnóstico da estrutura física da empresa consiste em identificar as áreas em que ocorrem as atividades da empresa de um modo geral, através da realização de entrevistas com encarregados da produção e engenheiros, acompanhamento "in loco" das atividades, folhetos explicativos e registro fotográfico.

A empresa de pré-fabricados possui uma área total de 12.400 m², onde são dispostas as instalações do setor administrativo (Figura 3); serralheria e carpintaria (Figura 4); pátio de armazenamento de peças (Figura 5); laboratório tecnológico (Figura 6); e duas naves de

produção industrial, interligadas. A primeira nave abriga a fábrica 1 (Figura 9 e Figura 10) com área de 2608 m²; e a segunda nave abriga a fábrica 2 (Figura 7 e Figura 8) e a fábrica 3 (Figura 11 e Figura 12), com as respectivas áreas de 1284 m² e 463 m².



Figura 3: Fig. Setor administrativo



Figura 4: Serralheria e Carpintaria



Figura 5: Pátio de armazenamento



Figura 6: Laboratório



Figura 7: Fábrica 2 – vista Norte



Figura 8: Fábrica 2- vista Sul



Figura 9: Fábrica 1- vista Sul (pista de produção de estacas e lajes)



Figura 10: Fábrica 1 – vista Norte



Figura 11: Fábrica 3- vista Sul



Figura 12: Fábrica 3- vista Norte

A fábrica 1 produz peças extrudadas (lajes e estacas) em 6 pistas de produção de 1,20 x 120 m, e gradil; abriga uma central dosadora de concreto onde se encontram o silo de armazenamento de cimento e cinza (Figura 13), três baias cobertas com divisórias em alvenaria, para estoque dos agregados (Figura 14), um misturador tipo planetário de eixo vertical e com capacidade de 1 m³ (Figura 15), cabine de comando (Figura 16), balança com célula de carga; e escritório da gerência de produção.



Figura 13: Silos de cimento e cinza



Figura 14: Baias de agregados



Figura 15: Misturador eixo vertical



Figura 16: Pannel de comando da central dosadora de concreto

As fábricas da nave 2 executam peças em concreto plástico tanto com fôrmas de madeira quanto metálicas, sendo que a fábrica 2 possui espaço disponível para fôrmas de maiores dimensões; abriga escritórios e salas de aula.

Na fábrica 3 encontra-se uma mesa basculante metálica, geralmente utilizada para peças que apresentem possibilidade de fissuração no momento da desenforma, como é o caso de alguns painéis e vigas esbeltas; e outros setores operacionais.

O transporte de materiais, peças e concreto é realizado através de 5 pontes rolantes.

3.2 DESCRIÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO

A descrição do processo produtivo de peças pré-fabricadas de concreto consiste em verificar as atividades necessárias e como elas ocorrem, para a produção das peças pré-

fabricadas na empresa (dando ênfase aos concretos plásticos) através da observação "in loco"; entrevistas com funcionários; verificação de planilhas e folhetos impressos dispostos nas dependências da indústria.

Foi elaborado um fluxograma das etapas e atividades do processo da empresa (Figura 17), adaptadas do proposto por El Debs (2000), onde constam: as atividades preliminares (divididas em 3 etapas), execução de peças pré-fabricadas e atividades posteriores; foram acrescentadas as atividades de projeto e planejamento de produção, anterior as atividades preliminares; de controle de qualidade das peças prontas nas atividades posteriores; e transporte e montagem de peças, devido à necessidade das mesmas para se descrever o processo produtivo completo realizado pela empresa desde a concepção do produto até a montagem das peças em obra.

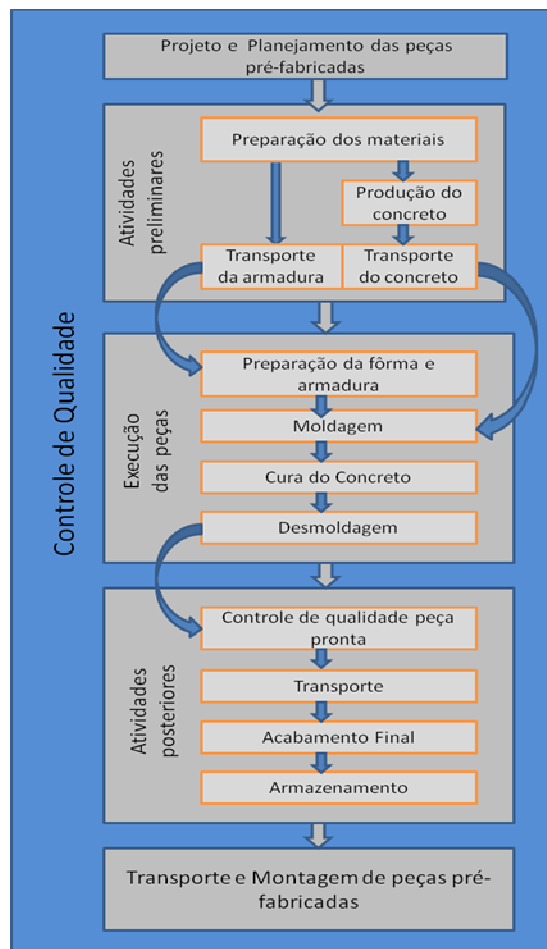


Figura 17: Fluxograma do processo produtivo da empresa adaptado de El Debs (2000)

Verifica-se na Figura 17, que o Controle de qualidade é realizado na empresa em todas as etapas do processo produtivo da peça pré-fabricada. A empresa realiza o acompanhamento das atividades através de preenchimento de planilha (vistoria da fôrma antes

da colocação da armadura; vistoria da armadura; vistoria depois da colocação da armadura na fôrma, vistoria da peça acabada e montagem das peças em obra).

3.2.1 Projeto

Entende-se como atividade do processo produtivo de peças pré-fabricadas, o projeto das peças a serem produzidas na empresa, pois nesta etapa são definidas as características da estrutura e das peças, dimensionamentos, processo de fabricação, resistência à compressão, traço de concreto e tipo de cura das peças.

3.2.2 Preparo dos materiais

O preparo das armaduras e das fôrmas é realizado respectivamente na serralheria e na carpintaria da empresa, ou podem ser confeccionados nas fábricas onde serão moldadas as peças. Todos os componentes de aço da armadura são comprados com corte e dobra, cabendo aos ferreiros a separação do aço e a montagem, conforme descrito no projeto.

Os materiais constituintes da mistura de concreto devem encontrar-se disponíveis no momento da produção de concreto. Os três tipos de agregados utilizados (brita 1, brita 0 e areia) são estocados em três baias e o cimento Portland CPV- ARI e cinza volante em dois silos metálicos, garantindo que os materiais fiquem protegidos das intempéries. Os agregados são transportados até a comporta da central de concretos, através de pá de arrastamento (Figura 18), para posteriormente serem despejados na caçamba que abastece o misturador de concreto.



Figura 18: Transporte dos agregados- pá de arrastamento

A determinação da umidade da areia é realizada antes da primeira mistura de concreto do dia, por funcionário especializado. Se as condições climáticas estiverem estáveis ou se não for recebido nova amostra de areia, a aferição não é repetida ao longo do turno. A umidade das britas não é aferida para a produção dos concretos.

3.2.3 Produção do concreto

A produção de concreto é realizada com base em traços de concreto dosados experimentalmente seguindo os parâmetros da ABNT NBR 6118:2007. A empresa produz oito tipos diferentes de traços de concreto, relacionados a seguir.

- Traço 1: Concreto seco vibro-prensado, usado somente na produção de laje alveolar tipo Roth com altura de 8 a 20cm, fck 35 MPa;
- Traço 2: Concreto plástico, fck 40 MPa, adensamento com vibrador de mangote;
- Traço 3: Concreto plástico, fck 27.5 MPa, adensamento com vibrador de mangote;
- Traço 4: Concreto seco vibro-prensado, usado somente na produção de estacas, Fck 35 MPa;
- Traço 5: Concreto plástico usado na produção de gradil, fck 25 MPa, adensamento com vibrador de mangote;
- Traço 6: Concreto plástico, fck 35 MPa, adensamento com vibrador de mangote;
- Traço 7: Concreto auto adensável, fck 35 MPa;
- Traço 8: Concreto seco vibro-prensado, usado somente na produção de laje alveolar tipo Roth com altura de 24 a 32cm, fck 35 MPa.

Os traços 2 e 3 são utilizados para a execução de pilares, vigas, e painéis entre outras peças, dependendo da resistência à compressão solicitada pelo projetista da empresa.

A produção do concreto é realizada na central dosadora de concreto, por operador especializado, que recebe a ordem de produção do concreto do dia, onde consta: linha de produção, nome da obra, traço do concreto a ser preparado, nome da peça que irá ser moldada, volume de concreto da peça, quantidades de peças, tipo de cura. O concreto somente é preparado após a liberação por escrito do responsável pela conferência das fôrmas e ferragens. O processo automatizado de mistura do concreto ocorre da seguinte forma:

- O operador registra no computador (CLP) a umidade da areia do dia ou do momento, o traço a ser executado e o volume de concreto a ser misturado (0.25 m^3 , 0.50 m^3 , 0.75 m^3 ou 1 m^3). Pode-se produzir duas vezes a dosagem do concreto, uma após a outra, com até 1 m^3 por vez para a moldagem de uma peça, pois a caçamba de transporte comporta até 2 m^3 .
- No painel de comando o operador dá início a pesagem dos três agregados. Quando o processo de pesagem é finalizado, os agregados são transportados pelo elevador de carregamento de materiais até o misturador. A programação do CLP prevê três tipos de agregados a serem pesados.

- O sistema também permite a pesagem do cimento e da cinza de maneira similar, a partir do silo localizado em cima do misturador. A liberação destes insumos é feita automaticamente, após os agregados estarem no misturador.
- A quantidade de água a ser adicionada na mistura é registrada no CLP, e a quantidade de aditivo é realizada através do acionamento da válvula dosadora. A dosagem do aditivo é feita de forma visual num mostrador que apresenta uma escala de 100 ml em 100 ml, a partir da leitura de um dosador (Figura 19).



Figura 19 Sistema de adição do aditivo utilizado pela empresa

- A mistura do concreto é executada de maneira que os materiais fiquem na betoneira por no mínimo 1 minuto após a entrada do último componente, e o esvaziamento do misturador é realizado em poucos segundos em caçamba em forma de cone.

Terminada a produção do concreto, antes do concreto ser transportado até as fôrmas, é coletado uma quantidade de concreto suficiente para a moldagem de quatro (4) corpos de prova, para resistência a compressão de 24 horas (ocasião da desmoldagem) e aos 28 dias (para o controle tecnológico), segundo a ABNT NBR 12655:2006.

3.2.4 Transporte da armadura e do concreto

As armaduras, o concreto plástico e o concreto seco são transportados através de ponte rolante até as formas ou até o equipamento de moldagem das lajes ou estacas na pista de produção, dentro de uma caçamba metálica. A Figura 20, Figura 21 e Figura 22 apresentam como ocorre o transporte do concreto.



Figura 20: Descarregamento do concreto na caçamba



Figura 21: Início transporte de concreto



Figura 22: Transporte do concreto através de ponte rolante

Todo concreto produzido pela central para moldagem de peças na fábrica 2 e 3 é conduzido inicialmente pela ponte rolante 1, até o vão que interliga a nave 1 a 2. Descarregada a caçamba em carrinho metálico, a ponte rolante 2, localizada na fábrica 2, transporta o concreto até a fôrma na mesma fábrica. Se a fôrma da peça estiver disposta na fábrica 3, a ponte desta fábrica é solicitada para o transporte do concreto.

3.2.5 Preparação da fôrma e armadura

A empresa utiliza fôrmas metálicas (Figura 23) ou fôrmas elaboradas com chapas de compensado naval (Figura 24) conforme solicitação do projeto, as quais são produzidas no local da moldagem e concomitantemente à execução da armadura. As tolerâncias dimensionais das fôrmas são respeitadas conforme a ABNT NBR 9062:2006, seção 5.2.2.



Figura 23: Fôrma metálica



Figura 24: Fôrma de compensado naval

A limpeza da fôrma é feita para garantir uma superfície lisa e sem resíduos para que o desmoldante vegetal seja aplicado. O desmoldante é aplicado com esponja ou rolo de espuma e é colocado antes da armadura, para que o espalhamento seja uniforme, e para que não haja contato da armadura com o mesmo. São utilizados espaçadores de plástico do tipo roseta entre a fôrma e armadura, a fim de garantir o recobrimento da armadura.

A execução das armaduras ocorre de forma convencional sendo a única diferença, decorrente ao uso de pré-fabricados, a inserção de alças de aço (Figura 25) para posterior transporte da peça. Estas alças são definidas na etapa de projeto, de acordo com o peso final da peça. No caso das peças extrudadas, não há a necessidade de fôrmas e a armadura é executada diretamente na pista de concretagem (Figura 26).



Figura 25: Alça de aço



Figura 26: armadura da laje

3.2.6 Moldagem e adensamento

A moldagem de peças com concreto plástico inicia-se com o lançamento do concreto de uma altura que varia entre 20 e 50 cm, e o adensamento é realizado concomitantemente, com auxílio de vibrador de mangote. A vibração é executada durante 5 segundos.

Imediatamente após o término do adensamento, os pedreiros regularizam a superfície da peça, utilizando régua de alumínio e colher

O acabamento final da peça, ou seja, a "queima do concreto" é realizada após a regularização, com auxílio de uma desempenadeira de aço. A perda de abatimento é desejada nesta etapa, para que a queima seja possível. A finalização do trabalho ocorre quando a peça fica com a superfície lisa e homogênea.

O concreto seco é encaminhado ao equipamento extrusor para a moldagem de estacas ou lajes (Figura 27), nas pistas de concretagem de 120 m x 1,20 m localizadas na fábrica 1



Figura 27: Equipamento extrusor

3.2.7 Cura

Na empresa realiza-se a cura denominada “convencional”, que consiste em deixar a peça na fábrica sem nenhum tipo de proteção; e a cura térmica, que consiste em cobrir as peças com lona para o recebimento de vapor a 65°C. Na primeira hora e meia é realizado o aquecimento da peça e nas 6 horas consecutivas é mantido o patamar de temperatura especificado. A cura térmica é utilizada na empresa, mediante a solicitação do projetista ou no caso das peças precisarem ser desmoldadas rapidamente. As peças produzidas com o traço 4 são sempre curadas térmicamente e as peças produzidas com os traços 1 e 8, são curadas termicamente somente em casos especiais.

3.2.8 Desmoldagem

A desmoldagem das peças produzidas com concreto plástico e auto adensável, são realizadas após a verificação da resistência à compressão dos corpos de prova, que geralmente

ocorre entre 14 e 24 horas de cura ao ar. Atingido a resistência à compressão especificada no projeto, o montador retira a fôrma, a ponte rolante se encarrega de retirar a peça do local, a peça é marcada e etiquetada. Em alguns casos é utilizado o tombamento da peça através da mesa basculante (Figura 28). A Figura 29 apresenta a desmoldagem de um pilar, onde a fôrma utilizada é metálica. As peças extrudadas (lajes e estacas), após a verificação da resistência à compressão dos corpos de prova, são liberadas para o corte da protensão e cortes das peças (Figura 30 e Figura 31).



Figura 28: desmoldagem e tombamento das peças



Figura 29: desmoldagem de pilar (forma metálica)



Figura 30: corte das estacas



Figura 31: corte da laje

3.2.9 Controle de qualidade das peças prontas

As peças desmoldadas, ou após a cura térmica, são inspecionadas pelos técnicos conferentes, que as liberam para o armazenamento e posterior acabamento. Caso a peça apresente danos graves, é requerida a supervisão dos engenheiros de produção, que autorizam ou não o descarte da mesma.

3.2.10 Transporte, acabamento final e armazenamento das peças

As peças liberadas pelo controle de qualidade são transportadas através da ponte rolante até o caminhão (Figura 32), que as levará até o pátio de armazenamento, onde é realizado o acabamento das peças com argamassa, por pedreiros. Raramente, o acabamento da peças é realizado na fábrica.

O armazenamento das lajes e pilares é realizado com as peças na horizontal e dispostas uma em cima da outra, separadas por apoios de rafia com areia. A Figura 33 apresenta o armazenamento de painéis, que geralmente são apoiados sobre sacos de areia e ficam dispostos na vertical, lado a lado.



Figura 32: Transporte de peça pronta



Figura 33: Armazenamento de peça (painéis)

3.2.11 Transporte e Montagem das peças

O transporte das peças até a obra é realizado pela própria empresa, com uso de caminhão com guincho e equipe especializada. O mesmo ocorre na montagem, que é particularizada em função das peculiaridades de cada projeto e condições do canteiro de obras.

3.3 DETERMINAÇÃO DOS TEMPOS DECORRIDOS PELO PROCESSO PRODUTIVO DE PEÇAS PRÉ-FABRICADAS DE CONCRETO

Com o objetivo de fornecer subsídios para as etapas do programa experimental, onde a trabalhabilidade dos novos concretos é exigida e deve ser adequada aos padrões da empresa, foi realizado um acompanhamento dos tempos decorridos entre as atividades para produção do concreto plástico e a moldagem das peças pré-fabricadas; e a determinação da consistência do concreto pelo abatimento do tronco de cone, conforme a ABNT NBR NM 67:98, ao término da mistura do concreto e aos 20 min. após a adição da água na mistura. Estes

procedimentos foram realizados em dias diferentes, com a produção e transporte de 1m³ e 2m³ de concreto de traço 2, para a moldagem de vigas esbeltas de um viaduto, devido a este ser um dos mais utilizados na empresa para execução de painéis.⁷

Para efeito de medição de tempo que a mistura de concreto é manuseada, desde adição de água na mistura até o término da moldagem das peças, considerou-se o momento da adição de água como tempo Zero. O resultado dos tempos decorridos pelas atividades do processo produtivo de concreto plástico (traço 2), é visualizado na Tabela 11.

Tabela 11: Tempos decorridos para o processo produtivo do concreto plástico (em minutos).

Atividade	1 m ³	1 m ³	2 m ³	2 m ³
Adição da água	0	0	0	0
Adição do aditivo	0:30	0:30	0:30	0:30
Final da mistura de 1 m ³	2:00	2:00	2:00	2:00
Carregamento dos insumos do segundo m ³			3:00	3:00
Adição da água			3:10	3:10
Adição do aditivo			3:20	3:20
Final da mistura			5:00	5:00
Descarregamento na caçamba	2:30	2:30	5:40	5:40
Saída do concreto da central	3:00	4:00	7:00	6:00
Início da concretagem	5:00	6:00	12:00	10:00
Término da concretagem	6:00	7:00	16:00	15:00
Média do tempo final e execução		6:30		15:30

Obs: os valores apresentados na tabela, em minutos, são cumulativos.

Verifica-se na Tabela 11 que os tempos decorridos entre a mistura do concreto até o descarregamento na caçamba são praticamente fixos, devido à automação do processo. A partir da saída do concreto da central o tempo torna-se variável devido a estas atividades dependerem do serviço humano e disponibilidade de equipamentos.

Observa-se na Tabela 1, que os tempos de término da moldagem variam entre 6 min. e 30 seg., e 15 min. e 30 seg., dependendo da quantidade de concreto transportado até a peça.

Através da determinação da consistência do concreto plástico (traço 2), das quatro amostras de concreto, foi verificado que no momento de início do transporte do concreto, a média do abatimento é de 200 mm, e aos 20 minutos, o abatimento diminui para 100 mm.

Considerando-se estes fatores, e a possibilidade de alguma demora não mensurada experimentalmente, considera-se que a trabalhabilidade do concreto fabricado com ARC

⁷ Traço 2- Concreto plástico, fck 40 MPa, adensamento com vibrador de mangote.

deverá possuir um abatimento de $100 \text{ mm} \pm 20 \text{ mm}$ por ao menos 20 minutos após a adição da água na mistura.

3.4 DIAGNÓSTICO DOS RESÍDUOS DE CONCRETO

Para que os resíduos de concreto gerados em uma empresa de pré-fabricados sejam considerados uma alternativa viável à reciclagem, transformação do resíduo de concreto em agregado reciclado de concreto (ARC), e à implementação do ARC no próprio processo produtivo da empresa, estes devem ser estudados quanto a sua disponibilidade quantitativa na empresa geradora e suas características qualitativas.

Portanto, neste item são apresentados as metodologias utilizadas e os resultados dos diagnósticos da geração de resíduos de concreto e do diagnóstico das propriedades de dois tipos de resíduos, propriedades mecânicas do concreto de origem do agregado reciclado de concreto (ARC) e propriedades físicas dos agregados oriundos deste mesmo concreto.

3.4.1 Geração de resíduos de concreto

O diagnóstico da geração de resíduos de concreto teve o objetivo identificar e quantificar a geração de resíduos na empresa e verificar os dois traços de concreto que apresentam maior potencial de reciclagem individual, ou seja, quais os que apresentam maior quantidade de concreto residual em peso, para posteriormente serem utilizados em concretos. Os dois traços de concreto que possuem maior quantidade de resíduos serão caracterizados no item seguinte.

Para realizar uma metodologia adequada a fim de alcançar o objetivo proposto foi necessário identificar quais os traços de concreto que geram resíduos e em quais etapas do processo produtivo são gerados resíduos, para posteriormente quantificar o volume de resíduo gerado de cada traço de concreto.

3.4.1.1 Identificação dos resíduos de concreto

A identificação da foi realizada através da análise visual, subsídios da descrição do processo produtivo da empresa em estudo e de uma entrevista informal junto aos encarregados de produção das fábricas 1 e 2. As questões formuladas para a entrevista foram:

1. Quais os traços de concreto que geram resíduos?
2. De que forma são gerados resíduos de concreto?

3. Há separação dos resíduos de concreto na empresa?
4. Em quais etapas do processo produtivo e como são gerados os resíduos?
5. Há algum reaproveitamento dos resíduos de concreto?

Através da entrevista e verificação "in loco", observou-se que todos os traços de concreto da empresa podem gerar resíduos e estes podem ser oriundos de quatro etapas do processo produtivo, apresentado na **Figura 34**.

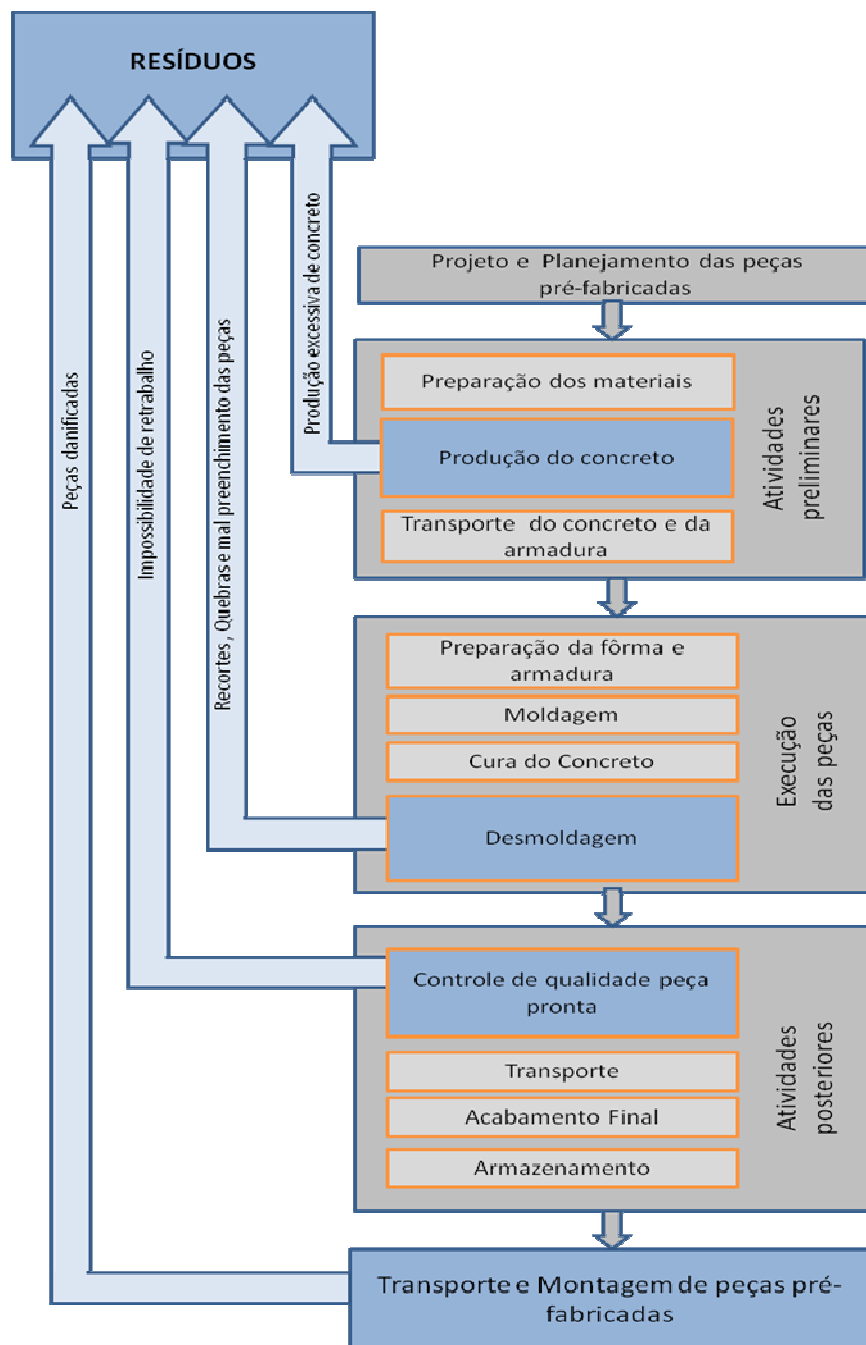


Figura 34: Fluxograma da geração de resíduos de concreto na empresa de pré-fabricados.

A primeira etapa do processo produtivo que pode gerar resíduos de concreto é a de atividades preliminares. Na produção de concreto, pode haver produção excessiva de concreto pela central de controle, pois ocorrem diferenças entre a metragem de concreto produzida (somente múltiplos de $0,25\text{m}^3$) e a quantidade necessária de concreto para a moldagem da peça (qualquer metragem cúbica). O concreto fresco excedente, após a moldagem das peças, é depositado no chão da fábrica ou em tonéis metálicos (Figura 35) para que ocorra o endurecimento, e posteriormente seja direcionado até a caçamba de entulhos.

A empresa tem adotado como forma de aproveitamento do concreto fresco residual, de forma descontínua, a moldagem de peças (vigas) que são destinadas ao uso interno da empresa como apoio para peças prontas produzidas, conforme visualizado na Figura 36.



Figura 35: Resíduo de concreto fresco em tonel



Figura 36: Viga com concreto fresco residual

Na etapa de execução das peças os resíduos são gerados no momento do recorte das lajes ou na retirada da protensão devido à fissuras e quebras, gerando peças de grandes dimensões; no corte das duas extremidades das estacas, denominado como "cabeça de estaca" e ao longo das peças; e na desmoldagem das peças produzidas com concreto plástico devido ao mal preenchimento, à fissuração ou quebras das peças. Nesta etapa também há geração de rebarbas de concreto, onde não há presença de agregados. Nas Figuras 37 e 38 são visualizados os resíduos de lajes e estacas.



Figura 37: Recortes de lajes



Figura 38: Cabeça da estaca

Nas atividades posteriores, todas as peças após a desmoldagem são vistoriadas pelo controle de qualidade. As peças que não podem ser retrabalhadas, devido apresentarem não conformidades graves, ou seja, erros no dimensionamento da peça e de posicionamento de elementos construtivos (furos, encaixes, peças acopladas), e mal preenchimento da peça são descartadas e consideradas resíduos.

A montagem das peças em obra, considerada como a última etapa do processo produtivo, pode gerar resíduos devido a quebras no transporte ou no momento da montagem. As peças que não podem ser retrabalhadas são encaminhadas ao pátio da empresa de pré-fabricados para posterior remoção por uma empresa de coleta de resíduos de obra.

A empresa não faz a dos resíduos oriundos da produção de concreto, sendo depositados diretamente em caçambas dispostas ao longo das fábricas (

), ou no caso das peças de laje primeiramente no chão e após nas cachambas. No entanto, a empresa disponibiliza lixeiras para coleta seletiva de materiais plásticos, papéis e materiais orgânicos.



Figura 39: Coleta de resíduos de concreto em geral

3.4.1.2 Quantificação dos resíduos de concreto

O levantamento quantitativo dos resíduos de concreto gerados na empresa foi antecedido por uma palestra aos encarregados de cada setor da produção, sobre a importância da gestão dos resíduos da construção civil e a sua reciclagem, bem como, sobre o papel sócio-ambiental da empresa no setor e sobre a utilização do agregado reciclado de concreto em peças pré-fabricadas. Na ocasião, foi explicada a metodologia a ser utilizada para a segregação dos diferentes traços produzidos na empresa.

A primeira metodologia proposta para a quantificação da geração de resíduos, em volume, através da separação dos resíduos, dos 8 traços de concreto, produzidos pela empresa, consistiu nas seguintes etapas:

- a) cada traço de resíduo deve ser disposto em diferentes tonéis plásticos identificados com o nome do traço;
- b) após a coleta dos resíduos, o volume deve ser anotado em uma planilha do traço correspondente.

Apesar de simples, esta metodologia não foi adequada, devido à falta de engajamento por parte dos funcionários em colaborar na segregação dos materiais, visto que os materiais foram misturados sistematicamente nos tonéis, impossibilitando a medição da quantidade de resíduos de cada traço produzido.

Com base nesta experiência, foi proposta uma segunda metodologia para o diagnóstico, que consistiu no acompanhamento da produção dos oito diferentes traços produzidos na indústria, durante cinco meses consecutivos, sendo computados os cinco primeiros dias úteis de cada mês. A quantificação, em m³, de resíduos oriundos do descarte da peça no controle de qualidade e retornos de peças das obras não foram computados no diagnóstico, devido a inviabilidade de acompanhamento do processo e indisponibilidade de dados referentes à todos os traços produzidos na empresa. As metodologias utilizadas para quantificação, em m³, são descritas a seguir.

a) Resíduos oriundos de concreto fresco (traços 2,3,5,6 e 7): através da verificação de planilhas de produção da central de concretos foi elaborada e preenchida uma nova planilha (Tabela 12) com os volumes de concreto de cada traço e peça. O resultado da quantidade de resíduo gerado por cada traço é obtido a partir da subtração da quantidade de

concreto produzido da quantidade de concreto necessário para execução da peça, em cada traço. No final do levantamento, foi realizado o somatório do volume de resíduo de concreto de cada traço no período estipulado.

Tabela 12: Planilha para diagnóstico de volume gerado de resíduo plástico.

CONCRETO PLÁSTICO		TRAÇO:	
Data de produção	Volume de concreto produzido	Volume de concreto utilizado nas peças	Total de resíduo de concreto

Um exemplo: se foram produzidos 2m³ de concreto para uma peça que necessita de 1,95m³ de concreto, a diferença de 0,05m³ é computada como resíduo do processo de produção da peça.

b) Resíduos oriundos de concretos secos (traço 1-laje, traço 4- estacas e traço 8-laje): elaborou-se uma planilha de acompanhamento para cada tipo de peça pré-fabricada:

Resíduos das estacas: a planilha utilizada para a verificação do volume do resíduo de estacas pode ser visualizado na Tabela 13.

Tabela 13: Planilha para diagnóstico de volume gerado de resíduo de estacas.

RESÍDUO DE ESTACA					
Data de produção	Largura (L)	Altura da estaca(H)	CCE	Outros	Total deResíduo gerado em m ³ (equação1)
	1,10		0,20	0,05	
	1,10		0,20	0,05	

O cálculo do total de resíduo de estaca gerado ocorre da seguinte forma:

$$2x (H \times L \times CCE) + 0,05 \text{ m}^3$$

Equação 1

Onde:

H - Altura da estaca -varia entre 0,16m e 0,35m;

L - Largura total de todas as estacas – fixo em 1,10 m;

CCE - Comprimento da cabeça da estaca que é descartada (resíduo), para o qual se adotou, após a verificação de dez processos de execução da estaca, o valor médio de 0,20 m;

Outros- o valor adotado para o concreto desperdiçado na cabeceira da pista de concretagem foi de 0,05 m³.

A equação é multiplicada por 2 devido ao corte das cabeças das estacas ocorrerem nas duas extremidades.

Resíduos das lajes: a planilha utilizada para a verificação do volume de resíduos produzido pelo traço 1 e 8 pode ser visualizada na Tabela 14.

Tabela 14: Planilha para diagnóstico de volume gerado de resíduo de lajes.

RESÍDUO DE LAJE.....			TRAÇO:	
Data de produção	Metragem da pista (m ²)	A=Altura da Laje (m)	R=Recorte da lajes (m ²)	Total deResíduo gerado em m ³ (A x R)

Para a quantificação de resíduos, em cada traço foi verificado no projeto executivo de lajes as dimensões (em m²) dos recortes que foram feitos na peça inteira produzida na pista de concretagem. A área total dos recortes (Figura 40) é multiplicada pela altura da laje, resultando no total de resíduo gerado, em m³.



Figura 40: recortes da laje

Através do acompanhamento da produção dos oito diferentes traços produzidos na indústria, dos primeiros cinco dias úteis de cada mês durante cinco meses, foram originados os valores da geração de resíduos do período, apresentados na Tabela 15.

Tabela 15: Diagnóstico quantitativo de resíduos de concreto do período.

Traço	Produção de concreto do período (5 dias por mês em 5 meses)			Geração de resíduos do período (5 dias por mês em 5 meses)								
	Volume aparente (m ³)	M.U das Peças (kg/m ³)	Concreto produzido (kg)	1º Mês (m ³)	2º Mês (m ³)	3º Mês (m ³)	4º Mês (m ³)	5º Mês (m ³)	Soma (m ³)	Total (kg)	(%)	
1	466,56	1.666	777.288	2,4	1,4	0,84	2,03	3,88	10,55	17.576	2,26	
2	173,75	2.300	399.625	0,3	0,45	0,70	0,30	0,25	2,01	4.623	1,15	
3	176,25	2.300	405.375	0,7	0,50	0,15	0,10	0,30	1,79	4.117	1,01	
4	1.000,60	2.300	2.301.380	0,9	0,62	0,39	0,69	0,86	3,36	7.958	0,34	
5	72,50	2.300	166.750	0	0	0	0	0	0	0	0	
6	0	2.300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
7	81,25	2.300	186.875	0	0,78	0,27	0	0	1,05	2.415	1,29	
8	104,00	1.517	157.768	0	0	2,00	0	0	2,00	3.036	1,92	
Total	2.074,91		4.395.0622	4,3	3,75	4,35	3,12	5,29	20,36	39.723		

Onde: M.U= massa unitária do traço de concreto fornecido pela empresa; (%)= (geração de resíduo x 100)/ produção de concreto do período analisado.

Observa-se na Tabela 15 que cada traço de concreto produzido na empresa gera na ordem de 0,34 a 2,26 % de resíduo. O traço 5 geralmente não produz resíduos (exceto quando a umidade da areia não é corrigida) e o traço 6 não foi produzido nos meses analisados.

Durante a realização da primeira metodologia de quantificação da geração de resíduos, observou-se que resíduos dos traços 1 e 4 apresentavam maior volume de resíduos que os demais gerados na empresa, o que foi confirmado através dos dados, em peso, apresentados na Tabela 15. Estima-se que os resíduos oriundos do traço 4 devam ter um acréscimo de aproximadamente 300%, no período analisado, devido ao resíduo de peças que não passaram no controle de qualidade (verificado em documentação disponível na empresa).

Os traços 1, 4 e 8 quase não geram de resíduos advindos de concreto fresco, no entanto, são gerados após a cura, no momento do corte das peças ou na inspeção do controle de qualidade da peça pronta. No entanto as lajes produzidas com o traço 8 possuem grande possibilidade de perda, devido a deformações ocorridas nas peças no momento da ruptura da protensão, o que dificilmente ocorre no traço 1, que também é destinado a produção de lajes. A estimativa de geração de resíduos destes traços considerou o peso das armaduras que estão dispostas nos resíduos das lajes e estacas como resíduo de concreto (que devem ser retiradas na cominuição), o que diminuirá o montante total dos agregados produzidos.

A média da geração de resíduos do período foi de 0,9% da produção de concreto, no entanto se for acrescentado os resíduos não computados, estima-se que a média total ficará superior a 1,50% (com base na documentação disponível, verificação "in loco", entrevistas com encarregados de produção).

Através do diagnóstico do período, foram realizadas estimativas da geração de resíduos da empresa em estudo, visualizada na Tabela 16.

Tabela 16: Estimativa de geração de resíduos de concreto.

Traço	Geração de resíduos		Estimativa da geração de resíduos (média em kg)	
	Média 5 dias (m ³)	*1 5 dias por mês (kg)	*2 Mensal (kg)	*3 Anual (Ton.)
1	2,11	3515,26	15.467,14	185,60
2	0,40	924,6	4.068,24	48,81
3	0,35	823,4	3.622,96	43,47
4	0,62	1591,6	7.003,04	84,03
5	0	0	0	0
6	0	0	0	0
7	0,21	483	2.125,20	25,50
8	0,40	606,8	2.669,92	32,03
Total	4,172	7944,66	34956,50	419,47

Onde: *1= média 5 dias (m³) x M.U. do traço de concreto; *2= (estimativa 5 dias em kg / 5) x 22 dias úteis; *3 = (estimativa mensal (kg) x12 meses) /1000.

M.U. dos traços de concreto encontram-se na

A partir da Tabela 16 verifica-se que são gerados cerca de 35 ton/mês, totalizando no mínimo 419 toneladas/ano de resíduos de concreto. Considera-se que este volume é suficiente para justificar ações visando sua reciclagem.

Observa-se que as peças produzidas com os traços 1, assim como do traço 8, possuem massa unitária menor que os demais, por m³, pois possuem vazios internos típicos das lajes alveolares, portanto o resíduo oriundo do recorte das lajes, possui geralmente grandes dimensões, necessitando uma maior área para descarte ou armazenamento.

Foi constatado que a produção de concretos de um mesmo traço é sazonal (devido á produção ser realizada a partir dos pedidos de execução de peças pelos clientes), assim como, a geração de resíduos de um mesmo traço, portanto os valores apresentados devem ser considerados como médias. No entanto foi observado que nos meses analisados a produção de concretos com os traços 1 e 4 foi realizada diariamente. No departamento técnico verificou-se, através da análise de planilhas, que estes traços são produzidos quase que interruptamente durante todo ano.

Os resíduos de concretos do traço 1 (concreto seco com cura convencional, denominado nesta dissertação por RCC), representam cerca de 44% do total, enquanto os do traço 4 (concreto seco com cura térmica, denominado como RCT) representam cerca de 20% da quantidade total de resíduos gerados na empresa de pré-fabricados.

Apesar de haver alteração periódica na quantidade de resíduos de um mesmo traço, optou-se por utilizar neste estudo os dois traços (traço 1 e traço 4) mais representativos em quantidade gerada no período analisado, e por serem resíduos que são produzidos diariamente.

3.4.2 Propriedades dos resíduos de concreto

Para que os resíduos de concreto sejam utilizados em concretos, é necessário que estes sejam cominuídos na forma de agregados. Segundo Mehta e Monteiro (2008) é necessário conhecer certas características dos agregados, para a definição das dosagens de concreto. Em geral, as propriedades do agregado, a massa específica, forma e textura dos grãos, resistência e absorção de água, afetam não apenas as características de dosagem do concreto, mas também o comportamento do concreto nos estados fresco e endurecido

O estudo das propriedades dos dois tipos de resíduos, gerados com maior representatividade na empresa (RCC-traço 1 cura convencional e RCT-traço4, cura térmica, ambos concretos secos), foram caracterizados separadamente. O fluxograma, visualizado na Figura 41, apresenta os ensaios realizados neste estudo.

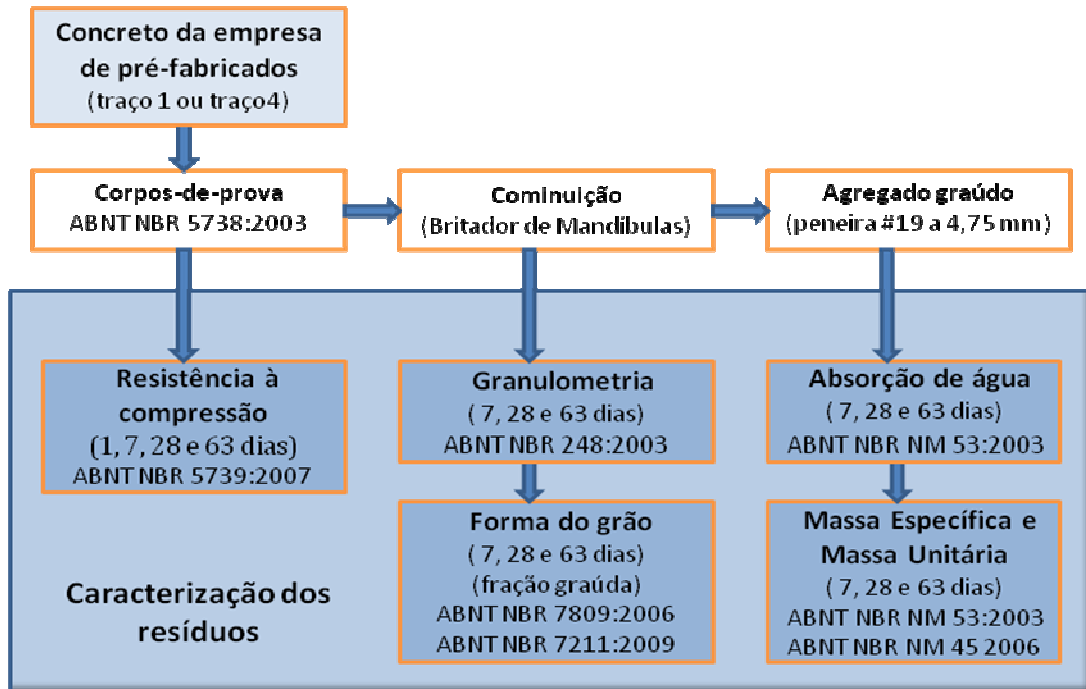


Figura 41: Fluxograma da caracterização dos resíduos de concreto.

A seguir são discutidos, de forma sucinta, os resultados dos ensaios realizados. As tabelas e gráficos referentes a este item encontram-se no Apêndice A.

O RCT apresenta uma resistência à compressão superior à do RCC, em qualquer idade analisada. Em função dos resultados obtidos, e considerando que a empresa onde foi realizado o estudo trabalha com resistências de dosagem na ordem de 35 MPa, considera-se necessário adotar para a cura do concreto residual, que será reciclado, de 28 dias para RCC e 7 dias para RCT, a fim de garantir que seja atingida uma resistência adequada (mínimo de 35 MPa) para fabricação de novos concretos.

Com o aumento da idade em que o resíduo é cominuído, tanto RCC quanto RCT, há um aumento no teor de agregados miúdos gerado. No entanto, RCC apresenta maior porcentagem de agregados miúdos que o RCT em todas as idades analisadas, e uma diminuição do módulo de finura. Esta diminuição é atribuída ao desgaste dos grãos de maior diâmetro (retidos na peneira #19 mm), possivelmente devido à perda de argamassa ocasionada no momento da cominuição.

A distribuição granulométrica dos agregados retidos entre as peneiras # 19 e 4,75 mm, tanto de RCC quanto de RCT, apresenta uma pequena diferença entre os agregados cominuídos em idades diferentes de cura, no entanto RCC apresenta maior módulo de finura que o RCT em todas as idades analisadas.

A forma dos grãos dos agregados reciclados de concreto atende as especificações da Norma ABNT NBR 7211:2009, que especifica que o índice de forma dos agregados não deve ser superior a 3. Observa-se que há uma melhora no índice de forma do grão à medida que é aumentada a idade de cominuição dos resíduos RCC e RCT. Este resultado é coerente com o aumento de geração de agregado miúdo, provavelmente decorrente da perda de argamassa durante a cominuição.

A massa específica e unitária do ARCT é superior à do ARCC, em todas as idades analisadas. Não foi observada relação entre massa específica e a idade do agregado. A massa específica dos agregados reciclados aos 28 dias foi menor que a massa específica dos agregados naturais graúdos, na ordem de 1 % (ARCT) e 3 % (ARCC). As reduções de massas específicas e unitárias dos agregados reciclados ressaltam a necessidade de compensar o volume de material reciclado utilizado em misturas de concreto obtidas a partir de traços de concreto convencional.

Há uma considerável variação nos resultados de absorção de água por imersão quanto ao tipo de resíduos e a idade de cominuição. Em geral, ARCC, em geral, absorve mais água que ARCT, no entanto, em ambos agregados considerou-se que não há relação entre o grau de hidratação do concreto de origem do ARC e a absorção de água do agregado. Pressupõe-se que as diferenças são provenientes das elevadas variabilidades do resíduo (diferenças no teor de argamassa das amostras) e não da idade de cominuição do resíduo. Estas características deverão ser consideradas para a reciclagem dos resíduos.

Os agregados reciclados nos primeiros 10 minutos de ensaio apresentam uma expressiva absorção de água (por imersão), representando de 60% a 87% da absorção do agregado em 1 hora de ensaio e apresenta uma absorção de água até três vezes maior em relação ao agregado natural.

Para a produção de concretos com ARC deve-se considerar a diferença de absorção da água entre os agregados reciclados, o que exige diferentes teores de água de compensação na mistura de concreto.

Os resultados apresentam coerência, visto que ARCT possuem uma maior resistência à compressão e uma maior massa específica e em conseqüência absorvem menos água; e que os agregados naturais possuem uma menor absorção de água em relação ao agregado reciclado de concreto.

4 IMPLEMENTAÇÃO DO AGREGADO RECICLADO DE CONCRETO NA PRODUÇÃO DE PEÇAS PRÉ-FABRICADAS

O capítulo 4, buscando subsídios no capítulo anterior, tem a finalidade de apresentar a metodologia e os resultados do objetivo geral deste estudo que é a implementação do ARC na produção de painéis pré-fabricados.

Para este estudo foi projetado e construído um protótipo na Unisinos, que teve o intuito de reproduzir, em pequena escala, uma situação real de uso do ARC (resíduos RCC e RCT cominuídos) em peças pré-fabricadas, e verificar possíveis diferenças na produção das peças pré-fabricadas e no processo de transporte e montagem do protótipo.

Visando a produção de concretos, em escala industrial, foi realizada uma dosagem do concreto de referência, em laboratório, com traço semelhante ao concreto produzido pela empresa para a produção de painéis pré-fabricados. O concreto de referência tem por finalidade estabelecer um padrão de comparação em relação aos concretos com agregado reciclado de concreto, que foi produzido com o mesmo traço, no entanto com substituição de 50% do agregado gráudo natural, pelo agregado reciclado de concreto.

No estudo em laboratório, os resíduos utilizados para obtenção do agregado são oriundos da moldagem de corpos-de-prova do traço 1 (RCC) e do traço 4 (RCT), e foram submetidos, respectivamente, a cura convencional e a cura térmica, conforme usualmente ocorre na empresa. Após a cura e desmoldagem os mesmos foram encaminhados a Unisinos onde permaneceram armazenados em tambores plásticos até a idade de 28 dias para a sua cominuição no britador de mandíbulas. Esta idade para cominuição foi adotada em função dos resultados obtidos na caracterização dos resíduos e agregados reciclados, para padronizar do tempo de estocagem, e possibilitar um comparativo entre os agregados reciclados.

Os agregados denominados ARCC (RCC) e ARCT (RCT), retidos entre as peneiras #19,00 mm e # 4,75 mm, foram utilizados previamente secos, em concretos. O concreto de referência (CRef) e o concreto com agregado reciclado de concreto (CARCC e CARCT) foram produzidos com os mesmos insumos (fornecidos pela empresa de pré-fabricados), traço, relação água/cimento, adensamento e método de cura. Os teores de aditivo superplastificante foram ajustados para que fosse obtida a trabalhabilidade especificada pela empresa, que é de 200 ± 30 mm.

Durante o análise do estudo de caso verificou-se que o processo de seqüência das misturas do concreto, insumos e aditivo, utilizado pela empresa de pré-fabricados difere do realizado pelo grupo de pesquisa em RCD da Unisinos. Portanto, neste programa experimental, foram estudados dois métodos de mistura para a produção de concreto, a fim de retratar o método realizado na empresa de pré-fabricados; possibilitar a comparação da trabalhabilidade dos concretos utilizando o aditivo superplastificante em momentos diferentes na mistura, pois uma das preocupações do estudo é relacionada com a perda de trabalhabilidade do concreto ao longo do tempo.

O método de mistura adotado pela empresa de pré-fabricados consiste na adição do aditivo conjunta com a água (AC); que tem como característica a inserção dos materiais secos na betoneira, após é adicionado água e o aditivo. Após a adição de água, considerado tempo zero, os insumos permanecem na betoneira por cerca de 2 minutos.

O método de mistura realizado pelo grupo de pesquisa GMAT, denominado neste estudo por AP, tem como característica adicionar os agregados graúdos, parte da água, o cimento e a pozolana, a areia e o restante da água. O aditivo é inserido na mistura 18 minutos após a adição da água. Este tempo de espera foi especificado devido a tornar o tempo hábil a realização do abatimento da mistura sem aditivo e com o intuito de se aguardar a absorção de água pelos agregados reciclados, uma vez que não foi utilizada pré-molhagem nos mesmos, pois ela provavelmente não seja viável no processo produtivo da empresa de pré-fabricação.

A Tabela 17 identifica os concretos produzidos em laboratório, onde 50% do agregado graúdo natural foi substituído pelo agregado reciclado de concreto.

Tabela 17: Concretos produzidos, em laboratório.

Legenda	Descrição	Composição
CRef-	Concreto de referência	100% AN
CRCT	Concreto de resíduo com cura térmica	50% AN e 50% ARCT
CRCC	Concreto de resíduo com cura convencional (ar)	50% AN e 50% ARCC

Onde: AN-agregado graúdo natural.

A dosagem e a produção de concretos, realizada em laboratório, pelo método de mistura AP, a moldagem de corpos-de-prova para caracterização dos concretos quanto à absorção de água por capilaridade e resistência à compressão, foram realizados em conjunto com Gonçalves (2011), cujo trabalho teve como objetivo caracterizar concretos com ARC em diferentes matrizes de concreto. A autora denomina o traço utilizado neste trabalho de traço intermediário, onde a relação água/aglomerante é igual a 0,49 para uma matriz com

resistência à compressão (fcj) de 35 MPa, a mesma utilizada em parte dos painéis pré-fabricados da empresa.

4.1 METODOLOGIA DA IMPLEMENTAÇÃO DE ARC EM PEÇAS PRÉ-FABRICADAS

Através da revisão bibliográfica e verificação das atividades do processo produtivo, descritas no estudo de caso, foram identificados alguns possíveis pontos críticos na implementação do ARC em peças pré-fabricadas, que serviram de subsídios para a elaboração da metodologia de cada atividade que consta nesta etapa do estudo.

Foi realizado um fluxograma (Figura 42) das atividades necessárias para que o ARC fosse implementado no processo produtivo de peças pré-fabricadas, reproduzindo o traço de concreto realizado em laboratório. Todas estas atividades foram analisadas, e são consideradas como fatores de grande importância e complexidade, devido à necessidade de um planejamento prévio e discussão sobre sua exequibilidade.

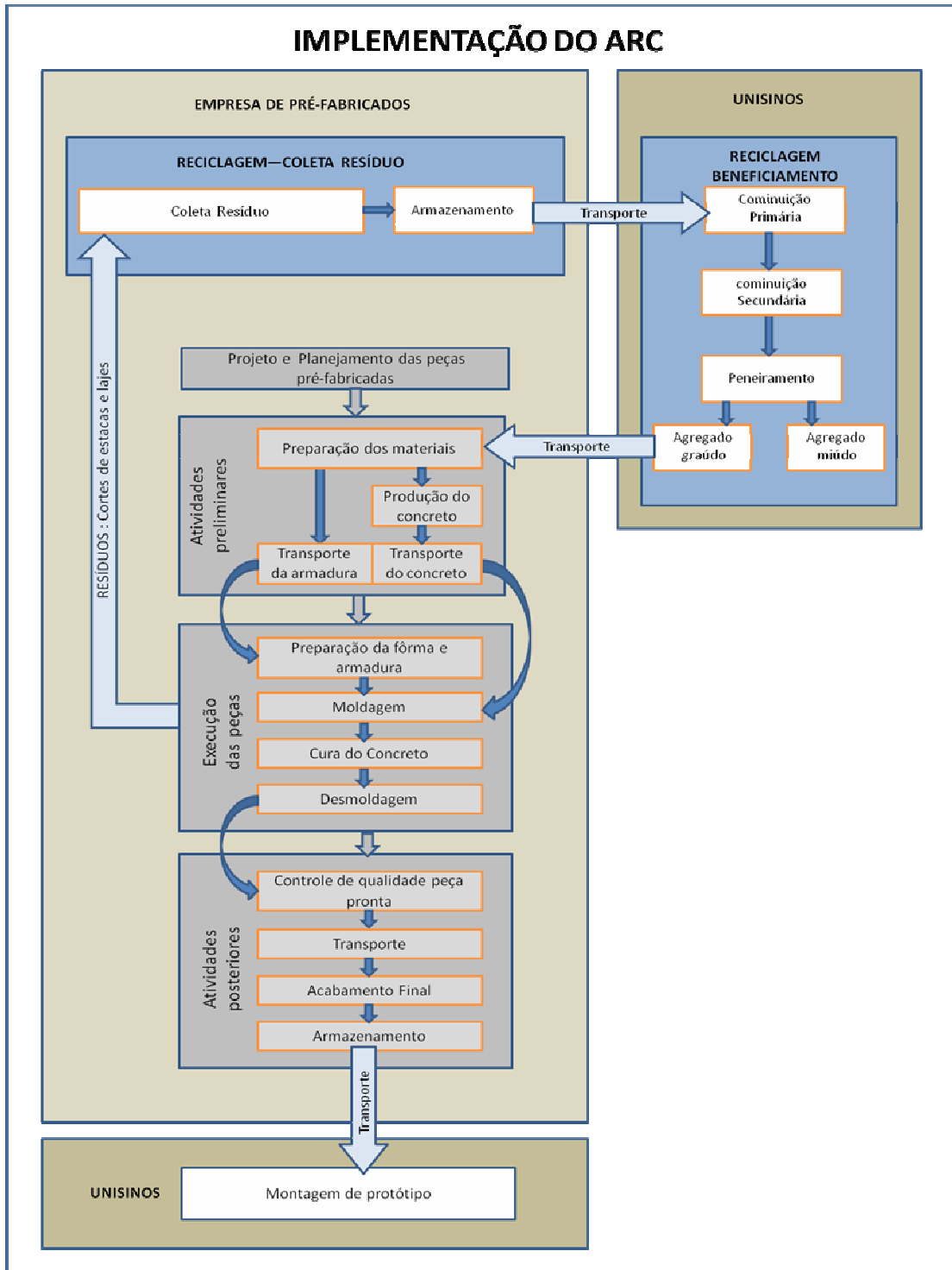


Figura 42: Fluxograma da implementação de ARC na produção de peças pré-fabricadas

As etapas de atividades preliminares, execução das peças e atividades posteriores foram verificadas através de uma lista de verificação, inserida no Apêndice B.

A seguir são apresentadas as atividades realizadas para a reciclagem dos resíduos, implementação do ARC na empresa de pré-fabricados e montagem do protótipo.

4.1.1 Projeto e Planejamento dos painéis pré-fabricados visando à montagem do protótipo

O projeto das peças e estruturas e o planejamento da produção das mesmas foram realizados pela empresa de pré-fabricados, como parte integrante do processo.

4.1.1.1 Projeto

O ante-projeto do protótipo com painéis pré-fabricados de concreto foi desenvolvido a partir do levantamento do local a ser construído o protótipo e seu entorno, assim como, da tipologia existente do laboratório de materiais; viabilidade construtiva e técnica, de transporte e tráfego nas dependências da universidade e local de montagem.

O projeto foi elaborado de forma que o protótipo tivesse duas fachadas de estudo, onde cada uma possui os três tipos de concretos produzidos no programa experimental (CRef, CRCT e CRCC).

O projeto executivo (geométrico, fôrmas e armadura) e detalhamento das peças pré-fabricadas para confecção do protótipo foi realizado pelo do setor de projeto da empresa parceira, conforme a NBR 9062:2006. No projeto geométrico foi realizada a identificação das peças pré-fabricadas, para que houvesse um planejamento de execução e controle das peças pré-fabricadas.

4.1.1.2 Planejamento da execução das peças pré-fabricadas com ARC visando à montagem do protótipo

O planejamento da execução das peças pré-fabricadas com ARC e do canteiro de obras, visando à montagem do protótipo, tem como subsídio o projeto realizado na etapa anterior, foi realizado em conjunto com o departamento de projeto e de produção da empresa, através de reuniões.

A metodologia proposta referente ao planejamento consistiu em primeiramente produzir os painéis das fachadas Norte e Sul (sem ARC), e acompanhar o processo produtivo das peças, visando obter subsídios para a implementação do ARC no processo produtivo da empresa. Posteriormente as peças pré-fabricadas das fachadas Leste e Oeste foram produzidas e terão seus resultados analisados e comparados entre si.

Os painéis das fachadas Norte e Sul e pilares foram executados com o concreto de referência, elaborado neste estudo, em 3 dias para que houvesse um melhor aproveitamento das fôrmas. A empresa utilizou como medida preventiva a moldagem destes painéis em

fôrmas de madeira sobre a mesa basculante localizada na fábrica 3, pois os mesmos possuem dimensões reduzidas, o que poderia acarretar quebras no momento da desmoldagem. Já os pilares foram moldados na fábrica 2.

Para a execução dos painéis das fachadas Leste e Oeste foram montadas, na fábrica 2, fôrmas para a moldagem de 4 painéis concomitantemente. A moldagem dos painéis ocorreu em 3 dias, sendo um dia para realização de cada traço de concreto (CRef, CRCC e CRCT).

O planejamento da obra do protótipo foi realizado a partir da orientação do departamento de projeto. As fundações, vigas de fundação e cálices de espera dos pilares do protótipo foram executadas por uma empresa de construção civil terceirizada.

4.1.2 Preparação dos materiais

Este item tem o objetivo de verificar se há alteração nas atividades compreendidas na preparação dos materiais ocorridas usualmente na empresa e analisar a reciclagem dos resíduos de concreto.

Os materiais utilizados no concreto de referência, em escala laboratorial e industrial, são os mesmos utilizados pela empresa de pré-fabricados. As propriedades do cimento CPV-ARI, cinza volante, areia, brita 1, brita 0 e aditivo superplastificante podem ser visualizadas no Apêndice C.

Foi realizada uma inspeção visual das fôrmas e armaduras, com auxílio do encarregado pela vistoria das mesmas, e a determinação da umidade da areia, do ARCC e do ARCT, foi realizada de acordo com a ABNT NBR 6467:2006, pelo método da frigideira, a fim de corrigir a quantidade de água adicionada na mistura de concreto. O teor de aditivo superplastificante foi pesado em balança digital, para posterior inserção na mistura de concreto.

A reciclagem dos resíduos de concreto pode ser considerada como parte integrante da etapa de preparação dos materiais, pois os agregados graúdos reciclados de concreto devem ficar disponíveis e prontos para o uso juntamente com os outros materiais usuais em concretos.

A obtenção de agregados reciclados a partir dos resíduos de concreto (reciclagem) foi realizada em duas etapas, sendo a primeira na empresa de pré-fabricados (coleta e armazenamento) e a segunda etapa na Unisinos (beneficiamento).

4.1.2.1 Coleta e armazenamento dos resíduos de concreto

Inicialmente foi previsto, com subsídios da análise do diagnóstico dos resíduos, que seriam coletados de cerca de 2500 kg de cada tipo de resíduo (RCC e RCT) a fim de gerar ARC suficiente para execução dos painéis pré-fabricados, e que a coleta e armazenamento seriam realizados num período adequado para que os resíduos obtivessem a idade média de 28 dias, no momento do beneficiamento. No entanto, no decorrer do texto serão descritos as causas destes critérios não terem sido contemplados.

Foi previsto que cada tipo de resíduo deveria ser armazenado em uma caçamba, localizadas pelo grupo de pesquisa, devido à dificuldade de instalação de uma baia provisória na empresa, em local protegido de intempéries e sem contaminação de outros materiais.

Para a realização da coleta RCT, provenientes das cabeças das estacas, foi proposto ao encarregado da produção à troca do isopor colocado nas pontas das estacas por plástico (Figura 43) devido à dificuldade de remoção quando a peça alcança o estado endurecido.



Figura 43: Cabeças das estacas com isopor

Estimou-se que a coleta seria realizada durante três semanas, e que o resíduo seria armazenado por 21 dias após o encerramento da coleta, garantindo que o beneficiamento não fosse realizado em resíduos com idade inferior a esta. No entanto, em função de dificuldades para a organização da coleta e do processo de cominuição, a coleta de RCT foi realizada ao longo de 50 dias e o armazenamento do resíduo ocorreu na própria caçamba até seu beneficiamento. A Figura 44 apresenta os resíduos de estacas coletados e armazenados.



Figura 44: Resíduos do RCT (estacas)

A metodologia inicial previu que resíduos RCC, provenientes do resíduo das lajes, ou seja, descartes dos cortes ou peças rejeitadas das peças seriam coletados em aproximadamente duas semanas e posteriormente armazenados, na fábrica 1, por um período de aproximadamente 21 dias, obtendo em média 28 dias de idade no momento do beneficiamento.

Entretanto, não foi possível respeitar a idade inicialmente estipulada para a coleta e beneficiamento, uma vez que em função da escala de produção da fábrica houve uma pequena produção deste tipo de concreto (lajes alveolares), e conseqüentemente não foi gerado resíduo suficiente para o volume de concreto estipulado para a cominuição.

Os resíduos de RCC utilizados neste estudo foram coletados no pátio da empresa, originados de lajes de um viaduto, com idades de aproximadamente 240 dias (8 meses). A Figura 45 apresenta a coleta do RCC no pátio da empresa.



Figura 45: Coleta do RCC (lajes alveolares) no pátio da empresa

4.1.2.2 Beneficiamento do resíduo de concreto

Antes de iniciar a etapa de beneficiamento dos resíduos, procurou-se parceria com uma empresa para a cominuição dos resíduos de concreto que possuísse um equipamento compatível com a granulometria adotada pela pesquisa.

A empresa "A" iniciou o processo de beneficiamento onde a próprio britador separava a fração graúda da miúda, no entanto, o processo foi cancelado devido a problemas internos da empresa.

Em função da inexistência de centrais de britagem de resíduos na região, para a realização da cominuição primária e secundária dos resíduos. Em consequência, os resíduos foram transportados e armazenados, em caçambas, no pátio junto ao laboratório da Construção Civil da Unisinos, para a realização do processo de beneficiamento para este estudo.

O beneficiamento dos resíduos RCC e RCT foi realizado através da cominuição primária (diminuição do tamanho do resíduo), cominuição secundária (obtenção de agregados) e peneiramento, visando obter agregados graúdos para uso em painéis pré-fabricados do protótipo.

Foi necessária a contratação de serventes da construção civil, onde os mesmos utilizando marteletores e picões (Figura 46 e Figura 47) diminuíram de tamanho os resíduos; removeram as ferragens de ambos resíduos; e transportaram o material até o laboratório. Cada resíduo teve seu processo realizado separadamente para que não houvesse a mistura dos mesmos.



Figura 46 Cominuição primária das estacas (RCT)



Figura 47 Cominuição primária das lajes (RCC)

A cominuição secundária foi realizada no mesmo moinho de mandíbulas utilizado para a obtenção do ARC empregado nos estudos em laboratório, conforme a Figura 48. Para o peneiramento dos agregados reciclados foi utilizado a peneira de abertura # 4,75 mm, visando a separação entre agregados graúdos e agregados miúdos.

No momento da realização do beneficiamento dos resíduos por cominuição secundária, em função dos contratempos ocorridos na coleta, os resíduos RCC apresentavam uma idade aproximada de 300 dias e os resíduos RCT possuíam uma idade variando entre 120 e 150 dias.



Figura 48 Moinho de mandíbulas- Cominuição secundária



Figura 49 Peneiramento dos agregados reciclados de concreto

O material retido na peneira de abertura # 4,75 mm foi colocado em sacos plásticos, pesado e armazenado. A fração passante na peneira de abertura # 4,75 mm, também foi pesada e ficou armazenada, para ser utilizada posteriormente em outra pesquisa do grupo.

Os agregados de RCC e RCT foram transportados em caçambas por empresa de tele-entulhos, até a empresa de pré-fabricados. Devido à indisponibilidade de execução de baias para o armazenamento dos ARC, na empresa, os mesmos foram mantidos em caçambas; em local protegido de intempéries até sua utilização.

Durante as atividades de beneficiamento foram registradas em planilha o peso do material beneficiado, as horas trabalhadas pelos serventes e bolsistas, a fim de verificar a produtividade (peso do resíduo/horas trabalhadas) das atividades envolvidas, e a porcentagem de agregados miúdos gerados na cominuição.

4.1.3 Produção de concreto

A análise da produção do concreto, em escala industrial, consistiu na verificação do processo de abastecimento do misturador e de mistura do concreto, na determinação do teor de aditivo, e do tempo decorrido entre a produção do concreto e a moldagem (etapa entre atividades preliminares e execução das peças). Nesta etapa também foram produzidos corpos-de-prova para caracterização dos concretos.

Na produção de concretos com agregados reciclados foram utilizados os agregados reciclados (ARCC ou ARCT), em substituição a 50% do agregado graúdo natural, fração graúda. O traço utilizado é apresentado no Apêndice D.

A Tabela 18 identifica os concretos produzidos neste estudo, onde 50% do agregado graúdo natural foi substituído pelo agregado reciclado de concreto, fração graúda.

Tabela 18: Concretos produzidos, na indústria.

Legenda	Descrição	Composição
CRef - IND	Concreto de referência	100% AN
CRCT-IND	Concreto de resíduo com cura térmica	50% AN e 50% ARCT
CRCC-IND	Concreto de resíduo com cura convencional (ar)	50% AN e 50% ARCC

Onde: AN-agregado graúdo natural.

4.1.3.1 Abastecimento do misturador e mistura do concreto

A metodologia adotada para o abastecimento do misturador foi ajustada à realidade da empresa, para a produção experimental de concretos com ARC.

Foram utilizados os recursos da central dosadora de concretos, com exceção do dosador de aditivos, o qual foi adicionado manualmente. No momento da produção industrial verificou-se que o teor de aditivo utilizado em laboratório deveria ser ajustado.

O processo de carregamento dos agregados naturais para o misturador ocorreu na caçamba sobre a balança e foi realizado através do acionamento manual pelo operador da central de dosagem, até que a quantidade necessária fosse atingida. A ordem de colocação dos materiais ocorreu na respectiva ordem: areia, brita 1 e brita 0, onde os agregados são pesados um após o outro em valores cumulativos.

Os agregados reciclados de RCC e RCT ficaram dispostos em caçambas de tele entulhos, em local próximo a central de concretos, e levados de carrinho de mão no momento de serem inseridos diretamente na caçamba sobre a balança. A pesagem do ARC foi realizada diretamente na caçamba. A inserção do cimento e cinza diretamente no misturador ocorre de maneira semelhante, mas com acionamento de fluxo contínuo, onde o processo é cessado quando o operador interrompe o fluxo.

O processo de carregamento dos materiais, desde a colocação da areia até do agregado reciclado, foi cronometrado e anotado em planilha a fim de se verificar quanto tempo é despendido pelo processo no momento em que uma segunda mistura de concreto seja realizada imediatamente após a anterior.

4.1.3.2 Caracterização do concreto produzido

No momento da produção de concretos foi realizado o ensaio de Consistência do concreto ao longo do tempo e produzidos corpos-de-prova para a determinação da absorção de água por capilaridade e resistência à compressão dos concretos produzidos. Os resultados, deste estudo, gráficos e tabelas, encontram-se no Apêndice E.

4.1.3.3 Determinação do tempo decorrido entre a produção do concreto e a moldagem de painéis pré-fabricados

Devido à alteração de trabalhabilidade do concreto pela absorção de água dos agregados reciclados de concreto, foram cronometrados os tempos decorridos ao longo do processo produtivo dos painéis CRef, CRCC e CRCT, visando observar quanto tempo é necessário para realização de cada atividade e avaliar se os tempos decorridos foram influenciados pela implementação do ARC na mistura de concreto. A Tabela 19 apresenta a

planilha utilizada para acompanhamento dos tempos decorridos das atividades a partir da adição da água na mistura até o término da moldagem das peças pré-fabricadas.

Tabela 19: Tempos decorridos pelo processo produtivo para execução de painéis pré-fabricados.

Atividade	Tempo em minutos
Entrada dos agregados no misturador	0:00
Adição da água	
Adição do aditivo	
Descarregamento da mistura de 1 m ³	
Saída do concreto da central	
Chegada na fabrica 2	
Início da moldagem	
Término da moldagem	

4.1.4 Transporte da armadura, fôrmas e do concreto

Considerando que o transporte da armadura e das fôrmas não sofre interferência com o uso de ARC, este item não foi considerado neste estudo. No entanto, o acompanhamento do transporte do concreto ocorre através da visualização do processo e verificação do tempo decorrido (Tabela 19), com o objetivo de se verificar se há alteração no transporte de concretos com ARC.

4.1.5 Preparação das fôrmas e armaduras

O acompanhamento destas atividades consistiu em, verificar se o processo de preparação utilizado para a produção dos painéis com ARC é o mesmo utilizado freqüentemente pela empresa, através da verificação "in loco".

4.1.6 Moldagem das peças

Nesta etapa, procurou-se determinar se o uso de ARC gera segregação do concreto, falhas ou dificuldade de regularização da superfície e do acabamento final da peça, devido às características do agregado e à perda de abatimento ser maior que em concretos convencionais. A verificação foi realizada visualmente e através de questionamento aos operários que realizaram o trabalho.

4.1.7 Cura e desmoldagem

A cura dos painéis foi realizada ao ar e protegido de intempéries, segundo o procedimento padrão da empresa. Conforme estabelecido em projeto, os painéis somente podem ser desmoldados quando atingirem resistência à compressão de 15 MPa. O tempo

necessário para a desenforma foi controlado a partir da resistência dos corpos-de-prova moldados por ocasião da fabricação do concreto.

4.1.8 Controle de qualidade da peça pronta

O acompanhamento desta atividade foi realizado visualmente quando as peças encontravam-se na fôrma e após a desmoldagem das mesmas. Foi utilizada a lista de verificação, encontrada no apêndice 1, onde constam as possíveis manifestações patológicas encontradas em peças pré-fabricadas, adaptadas de Moreira (2009) e Fib (2009), e a planilha de peças não conformes.

4.1.9 Transporte, Acabamento final e Armazenamento

O acompanhamento destas atividades foi realizado através da observação "in loco" dos procedimentos realizados.

4.1.10 Transporte externo das peças e Montagem do protótipo

Nesta etapa foram observadas eventuais alterações no procedimento de transporte externo até a montagem do protótipo (painéis pré-fabricados CRef, CRCC e CRCT), através do acompanhamento das atividades "in loco" e de registro fotográfico.

4.2 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Este item tem a finalidade de apresentar e discutir os resultados pertinentes a implementação do ARC em uma empresa de pré-fabricados, cujo é o escopo deste trabalho.

4.2.1 Projeto e Planejamento dos painéis pré-fabricados visando à montagem do protótipo

Neste item é apresentado o projeto elaborado e discute-se o projeto e o planejamento das peças produzidas para a execução do protótipo.

4.2.1.1 Projeto das peças pré-fabricadas

Não foi realizada nenhuma alteração no projeto do protótipo, em relação aos projetos elaborados freqüentemente na empresa, devido à implementação de ARC nas misturas de concreto.

No projeto arquitetônico foi definido que apenas os painéis das fachadas Leste e Oeste do protótipo seriam moldados com concreto com agregado reciclado, e por isso foi realizada uma modulação das mesmas. Estas fachadas foram elaboradas com três linhas de painéis horizontais, cada uma subdividida em 2 painéis. Cada linha de painéis foi produzida com um tipo de concreto (concreto de referência-CRef, concreto com agregado reciclado de cura convencional-CRCC e concreto com agregado reciclado de cura térmica-CRCT), totalizando 4 peças de cada tipo de concreto. Cada painel do estudo mede 3,90 x 1,45 x 0,10 m.

Os painéis das fachadas Norte e Sul foram projetados para serem executados com o concreto de referência. A Figura 50 apresenta o projeto desenvolvido na qual pode ser visualizada a planta baixa e as vistas do protótipo.

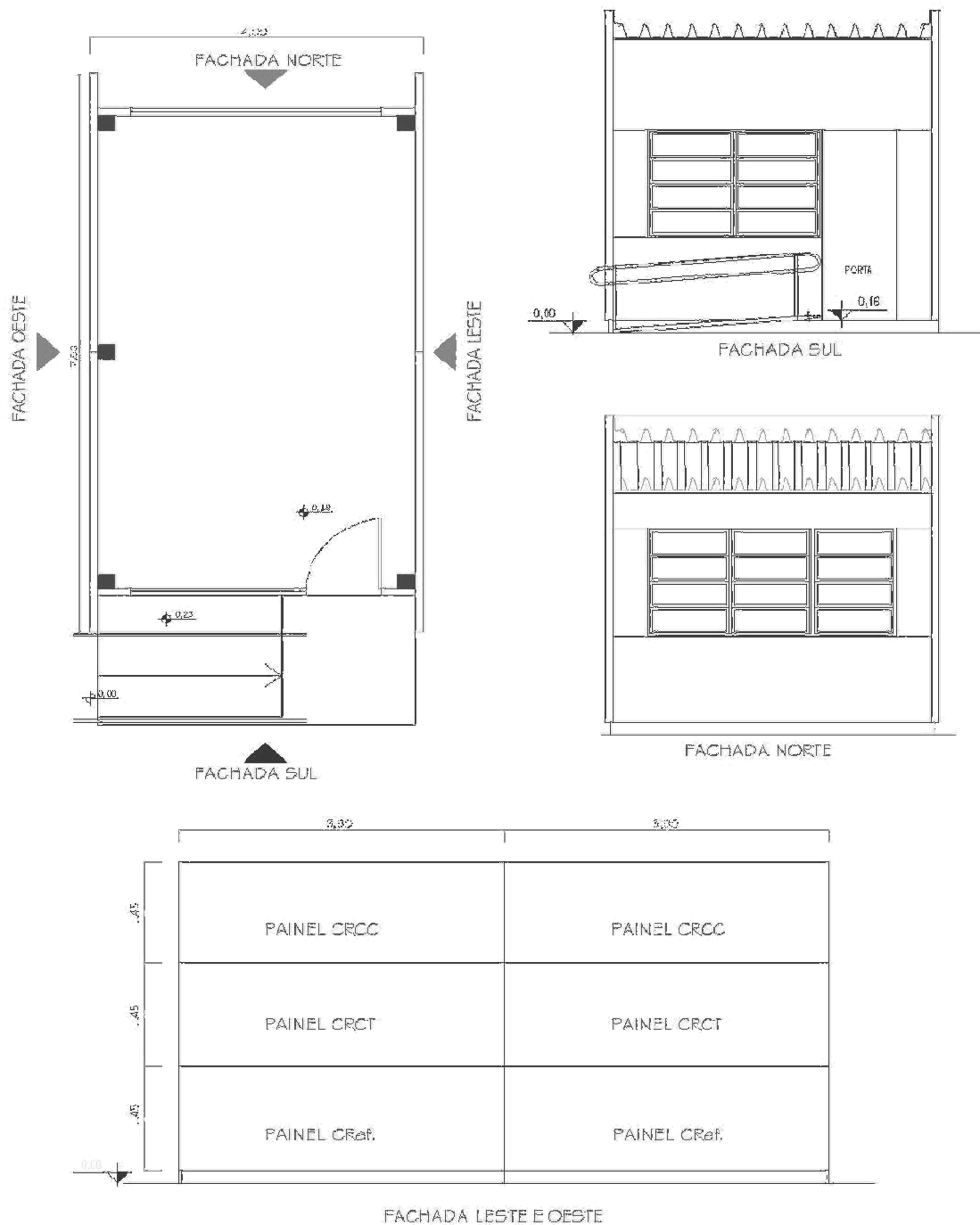


Figura 50: Planta Baixa e vistas do protótipo.

4.2.1.2 Planejamento da execução das peças pré-fabricadas com ARC visando à montagem do protótipo

O planejamento de moldagem das peças teve duas alterações, não previstas inicialmente. Os painéis com ARC foram produzidos em dias alternados e não em dias

consecutivos, e foi realizado o transporte de 1m^3 de concreto por vez, para a moldagem das peças (diferentemente dos 2m^3 convencionalmente transportados). As considerações referentes a esta atividade estão descritas nos itens a seguir.

4.2.2 Preparação dos materiais

A preparação das fôrmas (em madeira compensada) e armaduras (malha de aço) das peças pré-fabricadas com CARC foi realizada do mesmo modo que a empresa costuma trabalhar com concretos convencionais. Os materiais utilizados usualmente para a produção de concreto encontram-se disponíveis e previamente analisados pela empresa, na central de concretos.

Os resíduos de concreto, que não são utilizados normalmente na produção de concretos, tiveram que ser coletados e beneficiados. Juntamente com a areia e os agregados graúdos naturais, os agregados graúdos reciclados foram levados ao laboratório da empresa para a determinação da umidade, onde se verificou que estes possuíam umidade interna superior à dos agregados naturais, portanto esta umidade deveria ser compensada na água da mistura de concreto.

4.2.2.1 Obtenção de agregado reciclado a partir dos resíduos de concreto

O processo de coleta dos resíduos de estacas (RCT) foi realizado conforme a metodologia apresentada e demonstrou-se eficiente, devido à facilidade de remoção das cabeças de estaca e ao baixo custo. Já o processo de coleta das lajes (RCC) foi facilitado devido a estarem armazenadas no pátio da empresa. No entanto, foi iniciada a coleta dos resíduos de lajes, nas pistas de concretagem, juntamente com os resíduos de estacas, e pode-se observar a dificuldade dos operários em armazenar os dois tipos de resíduos em caçambas distintas, que estavam dispostas na fábrica.

Um fator não previsto inicialmente foi a dificuldade de se realizar a cominuição do volume de concreto requerido para a execução dos painéis do protótipo. Como os resíduos possuíam grande volume (algumas lajes alveolares superavam 2m^2 de área) e continham armadura, foi necessário realizar a cominuição em etapas: britagem primária, que consistiu na diminuição dos concretos até uma dimensão que permitisse o transporte manual e fossem compatíveis com o tamanho da boquilha do britador, e separação da armadura; e britagem secundária, visando à geração de agregado graúdo. Apesar de inúmeros esforços da equipe de pesquisa, em função da inexistência de centrais de britagem numa distância cujo custo

tornasse o processo de britagem viável (a central mais próxima localiza-se no Município de Santa Maria, a cerca de 350 km de São Leopoldo), foi necessário realizar a cominuição primária manualmente com o auxílio de martelos rompedores, e a cominuição secundária no moinho de mandíbulas disponível no Laboratório de materiais de construção civil da Unisinos. Após a cominuição secundária foi realizado o peneiramento, a fim de separar a fração graúda da fração miúda do material.

Em função dos contratempos ocorridos na coleta e para a realização do beneficiamento dos resíduos, no momento da cominuição secundária os resíduos RCC apresentavam uma idade de 300 dias e os resíduos RCT possuíam uma idade aproximada de 150 dias.

Na Tabela 20 pode ser visualizada a quantidade de material reciclado no beneficiamento secundário, o tempo necessário para realização das atividades e a quantificação dos agregados gerados na etapa de cominuição secundária.

Tabela 20: Processo de beneficiamento e geração de agregados reciclados.

Resíduos	Nº de Operários	Total de Resíduo Cominuído	Cominuição primária	Cominuição Secundária e peneiramento	Agregado Miúdo		Agregado graúdo	
		Peso (kg)	Tempo (horas)	Tempo (horas)	Peso (kg)	%	Peso (Kg)	%
RCC	2	4972	16:00	20:30	1100	2	387	7
RCT	2	2800	22:00	17:00	450	1	235	8

Observa-se na Tabela 20 que a produtividade na cominuição primária de RCC é de 310,75 kg/h e do RCT é de 127,27 kg/h. A baixa produtividade de RCT deve-se ao fato que as estacas apresentam uma armadura em espiral, dificultando a sua retirada do concreto e necessitando de equipamento mais robusto (martetele).

Observa-se que na atividade de cominuição secundária e no peneiramento as diferenças de produtividade são geradas pela mão de obra e não pelo tipo de resíduo.

Neste estudo somente foi necessário a utilização de um tipo de cominuição secundária, pois o equipamento utilizado (moinho de mandíbulas) apresentou-se eficiente gerando agregados graúdos com diâmetro máximo característico de 25 mm, para produção de concretos.

O processo completo de beneficiamento do RCC teve uma produtividade de 138 kg/h, enquanto do RCT foi de 71 kg/h. Nota-se que a produtividade da atividade de beneficiamento

do RCT é menor em 50% comparado ao do RCC. Embora seja esperado que a produtividade seja muito maior numa central de reciclagem, cabe ressaltar que há diferenças entre os dois tipos de resíduos, quanto ao grau de dificuldade da cominuição primária, que devem ser consideradas.

Constata-se no beneficiamento secundário que a geração de agregados miúdos de RCC é superior ao de RCT. A porcentagem de agregados miúdos gerados a partir de RCC é semelhante à obtida no ensaio de granulometria realizado em laboratório, para resíduos aos 63 dias de idade. Diante disso pode-se dizer que o aumento da idade do resíduo RCC não interferiu na quantidade de agregado miúdo gerado pelo processo de cominuição. Já os agregados RCT geraram uma quantidade de agregado miúdo maior que a encontrada em laboratório, 60% superior, para resíduos com 63 dias de idade, demonstrando que o aumento da idade dos resíduos RCT pode interferir na quantidade de agregado miúdo gerado na cominuição.

4.2.3 Produção de concreto

O traço do concreto, a partir da dosagem realizada em laboratório (Apêndice D), com a quantidade de água e as massas dos agregados ajustadas, foi entregue ao operador da central de concretos, e iniciado o carregamento dos materiais.

4.2.3.1 Abastecimento do misturador

No acompanhamento da produção dos painéis de referência das fachadas Norte e Sul do protótipo, foi cronometrado o tempo decorrido para a realização do processo de carregamento dos materiais, e verificou-se que o processo demanda de 9 a 12 minutos, sem a utilização do ARC. Verificou-se que o tempo de abastecimento dos materiais para produção de CRef, painéis das fachadas Leste e Oeste, foi de 7 minutos, esta diferença decorre da maior habilidade do operador no momento.

Embora a empresa possua caçamba com capacidade de 2 m³ para transporte do concreto, foi analisado que a moldagem de 4 painéis concomitantemente (aproximadamente 0,50 m³ cada peça) poderia resultar numa perda da trabalhabilidade do concreto no momento da moldagem, devido à demora no abastecimento do misturador, portanto optou-se por produzir e transportar 1 m³ de cada vez. Considerando que foram produzidos 2 m³ de concreto em duas bateladas de 1 m³, na produção de CRCT o abastecimento foi realizado em 12 e 18 minutos, e de CRCC em 10 e 13 minutos.

CRCC e CRCT apresentam maiores tempos necessários para o abastecimento, em relação ao concreto de referência, decorrente da necessidade do carregamento manual do agregado reciclado na caçamba do misturador. Na produção de CRCT, o ARCT foi estocado solto numa caçamba (Figura 51) precisando ser transportado através de carrinho de mão e inserido através de pá na caçamba, já na produção de CRCC, o ARCC foi transportado do local de armazenamento até a caçamba em sacos plásticos, o que facilitou o abastecimento.

Foi constatado que o abastecimento do misturador para produção de CARC (Figura 52), em função de inexistência de uma baia específica para a estocagem destes agregados e conseqüentemente transporte específico e não automatização do processo através da central de comando para uso do ARC é considerada uma atividade onerosa, pois gera custos de mão de obra; devido ao deslocamento de operários, pois há solicitação de transporte e abastecimento manual; atraso na produção, devido à morosidade do processo, o que não é aceitável em empresas de pré-fabricados que inerentemente visam à alta produtividade; e dificuldade de circulação na fábrica, devido ao armazenamento em local improvisado e inadequado.



Figura 51 Retirada do ARCT da caçamba



Figura 52 Abastecimento da caçamba com ARCC

4.2.3.2 Dosagem do aditivo em escala industrial

Embora usualmente o aditivo seja utilizado como redutor de água, neste estudo o aditivo foi utilizado a fim de manter a trabalhabilidade necessária para a moldagem dos painéis pré-fabricados, visto que concretos com ARC apresentam uma diminuição da trabalhabilidade decorrente da absorção de água dos agregados reciclados.

O aditivo superplastificante, tendo como parâmetro o teor utilizado em laboratório, foi adicionado manualmente, para produção de 1 m³ de concreto da seguinte forma:

- CRef: No momento da adição do aditivo (teor de 0,156%) foi verificado que o concreto ainda não se encontrava com a trabalhabilidade adequada sendo necessária a adição de mais aditivo, cujo teor final foi de 0,165 %.

- CRCT: Com a adição do aditivo no teor de 0,251 %, verificou-se que o abatimento se encontrava dentro do valor pré-estabelecido.

- CRCC: Para evitar a exudação do concreto, foi tomada a cautela de adicionar aos poucos o aditivo. Com a adição do aditivo no teor de 0,251 % (mesmo teor utilizado para CRCT), verificou-se que o abatimento se encontrava dentro do valor pré-estabelecido, não necessitando a adição do restante do aditivo pré-estabelecido.

A Figura 53 apresenta a determinação da consistência, através do tronco de cone na empresa de pré-fabricados, após a adição do aditivo superplastificante.



a) Abatimento concreto de referência

b) Abatimento concreto com ARC

Figura 53: Abatimento do concreto em escala industrial.

As possíveis causas para esta diferenciação no abatimento, entre o laboratório e a empresa, são a diferença de temperatura ambiental e do teor de umidade do agregado graúdo utilizado, uma vez que no laboratório foram utilizados agregados secos e em escala industrial há uma pequena umidade interna no agregado, que precisou ser compensada; e também

porque os agregados naturais utilizados são provenientes de lotes diferentes, o que resulta na alteração da trabalhabilidade do concreto.

4.2.3.3 Determinação do tempo entre a produção do concreto e a moldagem

A verificação do tempo decorrido pelo processo produtivo, de 2 lotes de concreto com 1 m³ cada dos concretos CRef, CRCC e CRCT, pode ser visualizado na Tabela 21, Tabela 22 e Tabela 23.

Tabela 21 Tempo decorrido pelo processo produtivo por CRef

Atividade	Tempo em minutos	
	1º m ²	
Entrada dos agregados no misturador	00:00	
Adição da água	01:15	
Adição do aditivo	06:00	
Descarregamento da mistura	14:00	
Saída do concreto da central	15:00	
Chegada do concreto na fábrica 2	16:15	
Início da moldagem	18:30	
Término da moldagem	25:30	

Tabela 22 Tempo decorrido pelo processo produtivo por CRCT

Atividade	Tempo em minutos	
	1º m ²	2º m ²
Entrada dos agregados no misturador	0:00	0:00
Adição da água	02:00	01:50
Adição do aditivo	09:00	05:50
Descarregamento da mistura de 1 m ³	14:00	11:00
Saída do concreto da central	17:20	13:00
Chegada do concreto na Fábrica 2	18:45	15:00
Início da moldagem	31:50	17:30
Término da moldagem	40:00	27:45

Tabela 23 Tempo decorrido pelo processo produtivo por CRCC

Atividade	Tempo em minutos	
	1º m ²	2º m ²
Entrada dos agregados no misturador	0:00	0:00
Adição da água	01:15	01:10
Adição do aditivo	06:00	05:05
Descarregamento da mistura de 1 m ³	09:00	09:45
Saída do concreto da central	11:45	12:10
Chegada do concreto na Fábrica 2	13:30	13:20
Início da moldagem	15:00	17:00
Término da moldagem	19:00	21:50

Na Tabela 21 verifica-se que o concreto de referência teve tempo decorrido para o término da moldagem de cerca 25 min., no entanto no procedimento habitual da empresa esse tempo ocorre em cerca de 7 min., conforme visualizado na Tabela 11. Neste caso o atraso no início da moldagem decorre da dificuldade de manejo manualmente realizado pelo operador da central de comando (abastecimento do misturador), além do tempo necessário da determinação da consistência dos concretos através do abatimento por tronco de cone.

Analisando as Tabelas 21 a 23 observa-se que o tempo entre a adição da água e do aditivo (determinação da consistência do concreto sem aditivo), e entre a adição do aditivo e o descarregamento da mistura (determinação da consistência do concreto com aditivo), é em média de 5 min. Estes tempos são decorrentes do estudo experimental onde o teor de aditivo está sendo determinado, devido às diferenças que ocorrem na trabalhabilidade dos concretos em laboratório e na empresa.

Na Tabela 22, observa-se que o atraso no término da moldagem dos painéis, ocorre devido à demora no transporte do concreto, no momento da troca de pontes rolantes da fábrica 1 para a fábrica 2 (inerente ao processo desta empresa), pois a ponte rolante da fábrica 2 não se encontrava disponível para efetuar o transporte até as fôrmas.

O tempo decorrido pelo processo produtivo pelos concretos com ARC foi de 19 a 40 minutos. Considera-se que a causa da diferença de tempos decorridos não é relacionado ao tipo de agregado utilizado, mas ao processo de fabricação e transporte do concreto.

4.2.3.4 Caracterização dos concretos produzidos em laboratório e na empresa

Neste item são discutidos os resultados do ensaio de Consistência, ao longo do tempo, determinação da absorção de água por capilaridade e resistência à compressão, dos concretos produzidos em escala laboratorial (LAB.) e industrial (IND.). As figuras e tabelas referentes a este item podem ser visualizadas no Apêndice E.

- No ensaio de determinação da consistência dos concretos, foi observado que a perda de trabalhabilidade ocorreu de maneira contínua e gradual durante a duração do ensaio, o que era esperado em função do uso de ARC nas misturas e da perda de ação do aditivo superplastificante.

Em laboratório, O CRCT apresentou um comportamento similar ao CRef., e entre eles não houve diferença expressiva de comportamento em relação ao procedimento de mistura. O

CRCC, em laboratório, apresentou a menor trabalhabilidade, no entanto, esta diferença não foi constatada na execução do concreto na indústria de pré-fabricados.

No método AP a trabalhabilidade do CRCT apresentou-se adequada até aproximadamente os 45 min. após a adição do aditivo, ou seja, 1h e 03 min. após a adição da água na mistura; já no método AC, este concreto apresentou trabalhabilidade adequada até aproximadamente os 40 min. após a adição da água na mistura. O CRCC, no método AP, apresenta uma perda de consistência mais rápida que os demais concretos, provavelmente decorrente da maior absorção de água deste agregado e possivelmente pela temperatura e umidade ambiente em que o ensaio foi realizado, visto que no laboratório não houve a possibilidade de fixar estes parâmetros. No entanto, a trabalhabilidade manteve-se adequada até aproximadamente os 35 min.

Observou-se que até os 35 min. no método AC, os concretos apresentam trabalhabilidade semelhantes e adequadas a produção de peças pré-fabricadas, no entanto, e após este tempo o CRCC teve a perda de trabalhabilidade mais acentuada que os demais concretos.

Os concretos produzidos na indústria possuem uma variação em sua consistência (ao longo do tempo) similar à determinação de consistência observada nos experimentos realizados em laboratório. No entanto, observou-se que com a temperatura ambiente mais baixa ocorrida durante a moldagem na empresa (em torno de 15°C), ocorreu um pequeno acréscimo no tempo em que o concreto mantém-se com trabalhabilidade adequada, sugerindo que o aditivo tenha ampliado o seu tempo de atuação, e que não há diferença expressiva entre o comportamento das misturas com os diferentes tipos de agregado.

Portanto, deve-se considerar a perda de abatimento nos CARC em função da temperatura ambiente e tempo de atuação do aditivo utilizado. Em todas as situações, o tempo que a trabalhabilidade se manteve adequada foi até aos 50 min.

- Na determinação da resistência à compressão dos concretos produzidos em laboratório (método de mistura AP e AC) e na empresa, nas idades de 1, 7, 28 e 63 dias de cura úmida, observou-se que tanto nos concretos produzidos em laboratório quanto nos produzidos na empresa, que o CRCC apresenta maior resistência que o concreto de referência em qualquer idade analisada (coerente com o esperado) e que o CRCT possui resistência similar ou menor em relação ao CRef (contrário ao esperado).

Provavelmente, os concretos com ARCT foram influenciados pela cura térmica do concreto que originou o ARCT inserido na mistura, que possui uma estrutura mais porosa (SILVA,

2004; WERLE, 2010). Outra hipótese a ser considerada é que o maior teor de água de compensação utilizado na produção de concretos com ARCT tenha ocasionado a diminuição da resistência à compressão, em relação ao CRCC. Pode-se supor que utilizando o mesmo teor de água de compensação os concretos com agregado reciclado apresentem uma maior semelhança nos resultados, pois observou-se que os agregados utilizados apresentam uma absorção de água muito semelhante nas primeiras 24 horas. Com a diminuição da água da mistura, o aumento de trabalhabilidade do CRCT pode ser obtido através do aumento do teor de aditivo na mistura. Diante disso é necessário caracterizar estes concretos para validar a hipótese.

Observou-se que os resultados obtidos pela moldagem de corpos-de-prova com os concretos produzidos na empresa, obtiveram melhores resultados comparados aos produzidos em laboratório, aos 28 dias de idade, no entanto não são expressivas. Este fato pode ser decorrente da idade dos resíduos utilizados, sendo que em laboratório os agregados possuíam idade de 28 dias e os utilizados na indústria possuíam idades acima de 330 dias (ARCC) e 150 dias. Outro fator que pode favorecer a resistência dos concretos moldados na indústria é a diferença de método de adensamento dos corpos de prova, pois na empresa foi utilizada mesa vibratória e no laboratório adensamento manual.

- Quanto a absorção de água por capilaridade dos concretos produzidos em laboratório e na indústria, considerando as primeiras 24 horas, o CRef apresenta maior absorção que CRCC e CRCT, sendo que o CRCC apresenta uma inferioridade na ordem de 18,00% (IND.) a 36,36% (LAB.) e CRCT na ordem de 6% (LAB.) a 19,7% (IND.), em relação ao concreto de referência do mesmo ensaio. No entanto, no ensaio de 28 dias, observou-se uma modificação nos valores finais, onde o CRCT apresenta uma absorção superior ao CRef. na ordem de 1,16 (IND.) e 3,94% (LAB.), e CRCC apresenta absorção inferior ao CRef. na ordem de 12,33% (IND.) e 8,23% (LAB.). Portanto, o CRCC absorve menos água que CRCT, numa ordem de inferioridade entre 9,30% (IND.) e 15,79% (LAB.).

4.2.4 Transporte da armadura e do concreto

O transporte da armadura para as fôrmas de madeira foi realizado manualmente, sem qualquer diferença com relação ao processo utilizado nas peças com concreto convencional.

O transporte do concreto ocorreu da forma habitual, no entanto, em algumas situações transporte ocorreu num tempo fora do habitual, devido a o atraso na movimentação da ponte rolante, que não estava disponível no momento solicitado.

4.2.5 Preparação da armadura e fôrmas

Observou-se que a armadura utilizada tem uma malha com distância de 7 cm entre as a barras. Conforme visualizado na Figura 54, a malha permite o uso do agregado reciclado, cujo diâmetro máximo é de 25 mm, sem qualquer dificuldade. Portanto, esta etapa foi realizada sem qualquer diferença com relação ao processo utilizado nas peças com concreto usado habitualmente na empresa.



Figura 54: Amadura utilizada para produção de todos os painéis pré-fabricados.

4.2.6 Moldagem das peças

A moldagem foi realizada conforme os procedimentos padrão da empresa, em todos os concretos produzidos. Nas figuras a seguir são visualizados a moldagem das peças, que consiste em lançamento, adensamento, regularização da superfície (Figura 55) e queima⁸ do concreto (Figura 56).

Figura 55: Moldagem dos painéis pré-fabricados.



Figura 55: Moldagem dos painéis pré-fabricados.

Figura 56: Queima dos painéis pré-fabricados



Figura 56: Queima dos painéis pré-fabricados

⁸ Entende-se por queima o acabamento final dado à peça pré-fabricada, utilizando desempenadeira de aço.

Os concretos com ARC apresentaram-se coesos, e o adensamento foi realizado através de mangote de imersão, adequado em todos os concretos. O CRCC aparentou mais facilidade de lançamento e adensamento, comparando-se com o CRCT e o CRef, o que é coerente com a consistência no momento da moldagem.

Na etapa de planejamento do programa experimental foi criada a hipótese de que a superfície do concreto com ARC poderia apresentar falhas ou um acabamento irregular devido a perda de abatimento ser maior que em concretos convencionais. No entanto a consistência dos concretos apresentou-se adequada do início ao fim da moldagem e regularização da superfície.

A regularização da superfície dos concretos CRCT e CRCC foi realizada com a mesma facilidade do CRef, no entanto, os operários tiveram que aguardar alguns minutos para o início da "queima", pois os concretos ainda apresentavam-se com grande trabalhabilidade, dificultando a atividade. A queima também foi dificultada devido à superfície dos concretos com ARC apresentarem-se com mais irregularidades, devido ao ARC possuir uma granulometria maior que a da brita natural.

Durante o acompanhamento da produção dos pilares pré-fabricados, para montagem do protótipo, observou-se que houve atraso para moldagem das peças uma vez que às mesmas se encontravam em fábricas diferentes. Portanto, é recomendado que as fôrmas estejam localadas numa mesma fábrica, para que não seja necessária a mudança de ponte rolante, atrasando a moldagem, e conseqüentemente, não interfira na perda de trabalhabilidade dos concretos com ARC no momento da moldagem.

4.2.7 Cura e desmoldagem

Verificou-se que a resistência à compressão do CRef após 16 horas foi de 8,5 MPa e em 24 horas na ordem de 12 MPa, ambos valores inferiores a resistência estipulada em projeto, de 15 MPa, o que ocasionou que a desmoldagem sofresse um atraso, visto que geralmente as peças são desmoldadas após 16 horas após a moldagem. A desmoldagem dos concretos ocorreu após aproximadamente 40 horas da moldagem dos painéis, ou seja, 40 horas de cura ao ar, em função da baixa temperatura ambiente, em torno de 15°C, o que prejudica o acréscimo de resistências nas primeiras idades das peças pré-fabricadas.

Este procedimento foi adotado para os demais painéis, antecipadamente as moldagens a fim de padronizar o tempo e cura dos concretos com ARC, em relação ao CRef.

A Tabela 24 apresenta os resultados de resistência à compressão dos painéis nas primeiras idades (16h e 24h).

Tabela 24: Resistência à compressão dos painéis pré-fabricados nas primeiras idades.

Idades	CRef	Rel. CRef	CRCC	Rel. CRef	CRCT	Rel. CRef
16 horas	8,62	1	10,15	1,18	4,62	0,54
24 horas	12,00	1	13,65	1,14	9,75	0,81

Pode-se observar na Tabela 24 que os concretos com ARC não atingiram a resistência de 15 MPa as 24 horas de cura ao ar, igualmente como o CRef. O CRCC apresentou o melhor desempenho para que a desmoldagem ocorra neste período, o que é uma vantagem em comparação aos demais. Segundo Moreira (2009), as quebras podem ser originadas pelo saque prematuro das peças pré-fabricadas, ou seja, quando o concreto ainda não possui resistência ao manuseio. Foi verificado, através de planilha da empresa, que os concretos do traço 2, produzidos nas mesmas datas dos CRef, CRCT e CRCC, apresentaram resistência à compressão similar a estes e menores que habitualmente.

No horário estipulado a ponte rolante realizou o içamento das peças, e posicionou as mesmas ao lado das fôrmas, sem quebras das peças, conforme visualizado na Figura 57.



Figura 57: Processo de desmoldagem dos painéis.

4.2.8 Controle de qualidade da peça pronta

Os painéis CRef apresentaram as mesmas conformidades de peças executadas com o concreto da empresa, sem fissuras, sem manchas, com acabamento relativamente liso (Figura 57) , e com pequenas quebras nos pontos da alça de içamento (Figura 58). As quebras juntas as alças são decorrentes do processo de içamento em peças pouco espessas. No CRCC, em função de diferenças no acabamento da borda (são painéis de topo), não houve quebras evidentes. Pode-se afirmar que os painéis CRCT e CRCC apresentaram características semelhantes ao CRef.



Figura 58: Quebras ocorridas nos painéis CRef e CRCT junto as alças de içamento

A hipótese que a superfície do concreto com ARC apresentasse falhas ou um acabamento irregular devido a perda de abatimento ser maior que em concretos convencionais não se confirmou, pois os concretos apresentaram a trabalhabilidade compatível com a produção de peças pré-fabricadas. Em apenas um painel moldado com CRCT foram constatadas algumas bordas com quebra e falhas de preenchimento, mas segundo a empresa este tipo de falha é comum em painéis moldados com os concretos usuais utilizados pela empresa.

Após a verificação as peças foram liberadas para a realização do acabamento.

4.2.9 Transporte, Acabamento final e Armazenamento

O acabamento final das peças foi realizado no local de moldagem, com os materiais habituais e o armazenamento foi realizado no mesmo local (juntos as fôrmas da moldagem)

O acabamento final de todos os painéis foi similar, a partir de análise visual. Pode-se constatar um pequeno aumento de rugosidade superficial, ao tato, nos painéis moldados com agregado reciclado. Na Figura 59 é apresentado o acabamento final dos painéis com ARC.



Figura 59: Acabamento final dos painéis com ARC.

4.2.10 Transporte externo das peças e Montagem do protótipo

O transporte das peças ao local da montagem do protótipo ocorreu através de caminhão Muck, da própria empresa. A retirada dos painéis do caminhão ocorreu de habitual em obras utilizando peças pré-fabricadas. No entanto, houve ocorrências de lasqueamento (quebra) de cantos e na base de apoio da peça, devido ao mau posicionamento dos calços no caminhão. Portanto, não pode ser considerado que o ARC tenha interferido na quebra das peças, pois estes eventos também ocorreram com os painéis com CRef. e por serem inerentes do processo de transporte e montagem de peças pré-fabricadas.

A primeira etapa da montagem do protótipo consistiu no posicionamento dos pilares, concretagem dos mesmos no pedestal executado previamente, junto com as fundações. Posteriormente foi realizada a montagem dos painéis na seguinte ordem: Fachada Leste, fachada Sul, fachada Norte e fachada Oeste.

A montagem dos painéis consistiu no içamento e posicionamento das peças, onde foram colocadas faixas de neoprene entre painéis; e na fixação nos pilares através de parabout. A atividade ocorreu da mesma forma para todos os painéis e não houve diferenças entre os painéis produzidos com CRef e com ARC. As figuras a seguir (figuras 60 a 65) apresentam algumas das atividades envolvidas na montagem do protótipo com peças pré-fabricadas produzidas neste estudo.



Figura 60: Painéis posicionados em forma de "V" no caminhão



Figura 61: Içamento da peça



Figura 62: Posicionamento da primeira linha de painéis (CRef.)



Figura 63: Retirada das alças de aço



Figura 64: Posicionamento da segunda linha de painéis (CRCT)



Figura 65: Finalização das fachadas Leste e Norte

Na Figura 66 é apresentada as falhas ocorridas durante o transporte dos painéis.



Figura 66: Quebras ocorridas no transporte dos painéis

4.3 AVALIAÇÃO E RECOMENDAÇÕES PARA IMPLEMENTAÇÃO DE ARC NA EMPRESA DE PRÉ-FABRICADOS

Visando que ocorra de forma efetiva a implementação de concreto com agregado reciclado de concreto na fabricação de peças pré-fabricadas na empresa de pré-fabricados de concreto, utilizando o próprio resíduo da empresa como fonte de obtenção do agregado, se faz as seguintes avaliações e recomendações de alterações no processo de produção de peças:

O conhecimento da empresa foi fundamental para iniciar e desenvolver a metodologia de pesquisa. A observação de sua estrutura física possibilitou obter-se um panorama geral da organização operacional e de produção, assim como a verificação do processo produtivo forneceu subsídios para a tomada de decisões quanto a produção de concretos com ARC e implementação do uso de ARC na empresa.

Através do acompanhamento da produção dos oito diferentes traços produzidos na indústria, dos primeiros cinco dias úteis durante cinco meses, foi estimada que geração de resíduos, de cada traço, encontra-se entre 0,34 e 2,26 % de sua produção de concreto, no entanto, a média de geração de resíduos na empresa é de 0,9%. Foi observado que há alterações de produção a cada semana, portanto, decidir por reciclar resíduos oriundos de somente um traço de concreto aparentemente não é a melhor opção, pois em alguns períodos haverá escassez ou inexistência de determinado tipo de resíduo para a produção de agregados reciclados.

Para que o ARC seja utilizado em concretos, especificamente neste trabalho, para a produção de painéis pré-fabricados foi necessário coletar os resíduos, separá-los, armazená-los e beneficiá-los.

A separação dos resíduos para obtenção de agregados reciclados utilizados em escala industrial, não contou com o apoio de todos os funcionários, assim como ocorreu na primeira metodologia do diagnóstico de geração de resíduos, que sistematicamente misturaram outros tipos de resíduos ao resíduo estipulado. Entretanto foi atingido o objetivo e os resíduos apresentavam-se sem a presença de contaminantes, que é essencial para a geração de agregados reciclados.

Sob o ponto de vista do desempenho, seria favorável a separação dos resíduos em duas categorias: com resistência à compressão abaixo de 35 MPa (traço 3 e 5) e acima de 35 MPa (demais traços), devido as diferenças de desempenho que os resíduos podem conferir ao concreto novo.

No entanto, devido às dificuldades para separação dos resíduos e ao montante de resíduos gerados, considera-se mais adequado que todos os resíduos de concreto da empresa sejam reciclados conjuntamente, excluindo-se a etapa de separação dos resíduos. Para que sejam produzidos novos concretos com agregados reciclados oriundos dos diversos resíduos de concretos existentes na empresa, deve ser realizada uma nova caracterização dos agregados e dos novos concretos, a fim de observar a viabilidade técnica dos mesmos.

Observou-se que o beneficiamento dos resíduos é um dos fatores determinantes para o uso de agregado reciclado em concretos. A inexistência de uma central de beneficiamento na região quase inviabilizou o beneficiamento dos resíduos, para este estudo, e a implementação da reciclagem somente será viável se houver a implementação de uma estação de beneficiamento na região ou na própria empresa. Caso o beneficiamento seja feito na própria empresa, deve-se prever que esta estação fique próxima ao local de armazenamento dos resíduos, fim de otimizar a reciclagem dos resíduos, e que ambos locais não sofram ações das intempéries.

Para que a reciclagem de resíduos de concreto seja efetiva na empresa, esta deverá investir em programas de treinamento sobre meio ambiente, importância da reciclagem, coleta de resíduos, separação de resíduos (caso houver), beneficiamento primário e secundário, a fim de conscientizar os funcionários e capacitar às novas atividades.

Acredita-se que a quantidade total de resíduos gerados por mês, aproximadamente 35 toneladas/mês, é pequena proporcionalmente aos possíveis custos decorrentes da reciclagem, por isso propõe-se que seja realizado uma análise de viabilidade econômica, para a reciclagem dos resíduos na própria empresa, onde deverá ser levado em consideração os custos como

mão-de-obra, equipamentos de beneficiamento, equipamento de proteção individual (EPI); transporte interno, adequação da estrutura física para o armazenamento e beneficiamento dos resíduos, visto que a empresa tem pouco espaço disponível, e energia elétrica.

Para que o beneficiamento dos resíduos seja realizado na própria empresa, deve-se escolher um tipo de britador adequado a quantidade de resíduos a serem beneficiados e a granulometria requerida pelos concretos, para que não haja necessidade de mais de uma passagem pela etapa de cominuição secundária.

A produção de concreto é outro ponto crítico na implementação do CARC em peças pré-fabricadas, devido à quantidade de atividades que constituem esta etapa, as modificações necessárias no processo, a dificuldade de exequibilidade e habilidade do operador da central de concretos.

Para que seja produzido concreto com ARC é necessário realizar um estudo de dosagem específico, e para a reprodução do traço, os agregados reciclados devem passar pelo ensaio de determinação da umidade em diversos momentos, devido a possíveis alterações da umidade ocorridas ao longo do dia, e que devem ser compensadas no traço específico.

No sistema de abastecimento, considerado uma atividade onerosa, observa-se a necessidade que o ARC fique disposto junto aos outros agregados, em espaço delimitado na baía e que a inserção dos agregados reciclados e o transporte até o misturador sejam automatizados. Para isso deve ser realizado um estudo de adequação do layout das baias e da central de controle. Como medida de emergência, enquanto não houver as adequações necessárias, a fim de minimizar e facilitar as atividades envolvidas no abastecimento do misturados é necessário que o material se encontre no local de abastecimento antecipadamente, já pesado e armazenado em sacos plásticos, para que o local de armazenamento seja otimizado e a inserção na caçamba ocorra rapidamente.

O transporte de 1m³ de concreto por vez, para a moldagem das peças (diferentemente dos 2m³ convencionalmente transportados) ocorreu devido à morosidade do carregamento do misturador com os materiais usuais e do ARC, o que poderia resultar numa perda de abatimento dos concretos com ARC maior do que a esperada, para as operações de lançamento, adensamento e acabamento superficial das peças.

A perda da trabalhabilidade é uma preocupação em concretos utilizando ARC, já que os agregados reciclados absorvem um maior teor de água quando comparados aos agregados graúdos naturais. Por isso devem ser tomadas algumas medidas para a minimização dos

tempos decorridos pelo processo produtivo pelos concretos com ARC, para que a perda da trabalhabilidade dos concretos com ARC não prejudique a moldagem das peças.

No momento em que o abastecimento dos agregados reciclados for realizado automaticamente pela central de concretos, será possível o carregamento do misturador num tempo próximo do decorrido para os concretos convencionais, possibilitando o transporte de 2m³ de concreto, otimizando o tempo de produção das peças pré-fabricadas com concreto reciclado.

O transporte do concreto é uma etapa importante dos pré-fabricados e geralmente deve ser realizado no menor tempo possível, no entanto, o tempo decorrido entre a adição de água e o término das moldagens dos painéis pré-fabricados, durante a implementação do ARC, foi muito elevado (variando de 19 a 40 min.), superando a média da empresa (média de 6 minutos, para produção de 1m³). Este fato decorreu da necessidade da determinação da consistência do concreto após cada betonada, da adição manual do aditivo e de problemas na logística do processo de fabricação e do transporte do concreto (indisponibilidade da ponte rolante), sendo que este último não está associado ao uso de ARC nos concretos.

Estes fatores devem ser considerados na produção de CARC, pois tempos superiores a 40 minutos podem resultar em alterações substanciais na trabalhabilidade do concreto com ARC e consequentes falhas no adensamento e acabamento das peças.

A minimização dos tempos decorridos no processo pode ser realizada, a partir das seguintes observações:

- A adição do aditivo superplastificante (em ml) pode ser realizada automaticamente pela central de comando, utilizando o dosador. Para isso o dosador de aditivo utilizado na empresa deve ser modificado, possibilitando maior precisão do teor a ser adicionado.
- As fôrmas devem estar estrategicamente posicionadas em somente uma fábrica, para que não haja perda de tempo no transporte do concreto ocasionado pela longa movimentação ou troca de mais de uma vez da ponte rolante;
- A ponte rolante deve estar disponível para realizar o transporte do concreto, no momento da produção, visto que foi a atividade que mais se destacou como demora (atraso) entre as atividades.

5 CONCLUSÃO

Este item visa apresentar as conclusões dos resultados obtidos no trabalho e recomendações genéricas para uma empresa que queria implementar o ARC em peças pré-fabricadas.

5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO ESTUDO

- O uso de agregado reciclado de concreto pode trazer benefícios ao desenvolvimento sustentável, uma vez que preserva fontes naturais de extração de agregados graúdos, reduz a necessidade de disposição do resíduo de concreto e aparentemente gera redução de custos da empresa que o insere em seu processo produtivo;
- Para que seja viável realizar o beneficiamento dos resíduos de concreto na própria empresa e implementar do ARC no processo produtivo da empresa, é necessário que haja uma reestruturação do espaço físico e dos equipamentos de produção de concretos, treinamento de funcionários, e o controle de qualidade dos concretos com ARC. É necessária a caracterização dos resíduos (beneficiamento de todos resíduos de concreto gerados pela empresa) e ensaios de durabilidade dos novos concretos, realizar um estudo de viabilidade econômica das alterações necessárias, e principalmente o engajamento da alta gerência da empresa para garantir que as mudanças necessárias sejam efetuadas garantindo assim que a reciclagem seja implementada e incorporada ao dia a dia da empresa.
- A viabilidade para a reciclagem dos resíduos decorre do montante a ser beneficiado, o agregado oriundo do beneficiamento dos resíduos deve ter boa qualidade e deve conferir propriedades satisfatórias aos novos concretos. Observou-se neste trabalho que as duas últimas premissas são satisfatórias, porém que a quantidade de resíduos gerados na empresa é relativamente pequena;
- A empresa possui disponibilidade para o controle tecnológico necessário para a implementação do ARC;
- Os agregados de concreto estudados possuem propriedades adequadas ao emprego em concretos. Comparado com os agregados graúdos de origem basáltica, os agregados reciclados de concreto apresentam menor massa específica, maior absorção de água e maior módulo de finura. De maneira geral os resíduos estudados neste estudo apresentam também

diferenças entre si, provavelmente devido ao tipo de cura realizada nos concretos de origem do ARC;

- Os concretos com produzidos com ARCC (cura convencional- ao ar) apresentam iguais ou superiores características em relação ao CRef, enquanto, os produzidos com ARCT (cura térmica) possuem desempenho similar ou inferior ao CRef., tendendo a inviabilizar seu uso isolado em peças pré-fabricadas.

5.2 CONSIDERAÇÕES FINAIS PARA A IMPLEMENTAÇÃO DO ARC EM UMA EMPRESA DE PRÉ-FABRICADOS

Neste item são apresentadas considerações e discutidas recomendações para a viabilidade de implementação do ARC numa empresa de pré-fabricados, utilizando o próprio resíduo para obtenção ARC, conforme o roteiro das etapas de estudo de caso apresentado neste estudo.

1. O diagnóstico da empresa visa verificar quais as condições tecnológicas da empresa para produção de peças pré-fabricadas com CARC. Este diagnóstico pode ser realizado através de um mapeamento da estrutura física e do processo produtivo da empresa e quantificação da geração de resíduos. Através da identificação das condições tecnológicas da empresa, pode-se prever quais são os pontos críticos da reciclagem e da implementação do ARC. Deve-se observar o modo de operação das seguintes atividades:

- Produção de concreto na Central de concretos- se há painel de controle automatizado, como é realizada a automação da produção de concreto, o volume de concreto que pode ser misturado;
- Abastecimento do misturador- como são inseridos os insumos no misturador, se há transporte por elevador dos insumos, a capacidade do misturador e como é feita a adição de aditivo;
- Transporte do concreto- equipamento de transporte e capacidade da caçamba que leva o concreto para a moldagem das peças;
- Preparação e execução de fôrmas e armaduras;
- Moldagem das peças- espaço físico adequado, equipamentos suficientes e eficientes, e operadores treinados;

- Cura- tipos utilizados nas diversas peças produzidas;
- Controle de qualidade- em quais etapas é realizado, lista de verificação;
- Transporte, acabamento final e armazenamento- equipamentos, materiais;
- Transporte externo e montagem das peças- equipamentos, modo de operação.

O diagnóstico quantitativo da geração de resíduos de concretos da empresa geradora é um fator importante para se determinar a viabilidade de utilização do resíduo na própria empresa. A partir da estimativa da quantidade de resíduos gerados é possível prever a capacidade de produtividade dos equipamentos de britagem e quanto concreto poderá ser produzido com o agregado reciclado de concreto, e conseqüentemente padronizar a idade em que os resíduos sejam beneficiados.

2. A elaboração de uma metodologia para a realização da reciclagem dos resíduos deve ser adequada à realidade da empresa, visando a minimização de etapas de beneficiamento e de custos, e o reaproveitamento da maior quantidade de resíduos possíveis.
3. É necessário elaborar uma planta para a reciclagem, prevendo um local de armazenamento e beneficiamento dos resíduos, para que não ocorra contaminação com outros materiais, próximo à central de concretagem.
4. Para que a reciclagem de resíduos de concreto seja efetiva na empresa, esta deverá investir em programas de treinamento dos funcionários sobre coleta, separação de resíduos de concreto (caso houver) e de materiais de diferentes classificações, e beneficiamento, a fim de conscientizar os funcionários e capacitar às novas atividades.
5. O projeto arquitetônico e o planejamento para execução das peças com concreto com ARC devem prever que o volume de concreto a ser utilizado, numa mesma peça ou num conjunto de peças, seja compatível com a produção de concreto realizado pela central e ao volume máximo de carregamento da caçamba de transporte, afim que não haja desperdício de material e geração de resíduos de concreto.
6. É determinante para otimizar a produção e para obter agregados com granulometria adequada para utilização em concretos a escolha de uma equipamento de cominuição (britador) compatível com as funções requeridas. Por isso, é necessário avaliar quantos ciclos de beneficiamento os resíduos necessitam para atingirem a granulometria especificada e a quantidade de agregados miúdos gerados na cominuição. Recomenda-se que sejam testados

vários equipamentos de cominuição, e a cada um deles se faça os ensaios de composição granulométrica;

7. As propriedades dos agregados graúdos reciclados de concreto, devem ser verificadas através dos ensaios de absorção de água, massa específica e massa unitária, assim como, a dos concretos que dão origem ao ARC, quanto a resistência à compressão e absorção de água por capilaridade, conforme as Normas Brasileiras (ABNT NBR) vigentes. Estes ensaios também balizaram a idade em que os resíduos devem ser beneficiados;

8. Para que seja produzido concreto com ARC deve-se realizar um estudo de dosagem específico, substituindo o agregado natural no teor de 50% pelo ARC, compensando a água absorvida pelo agregado graúdo reciclado na mistura de concreto, e adicionando aditivo até a trabalhabilidade requerida pelas peças no momento da moldagem.

A cada composição de agregados reciclados é necessário que se façam ensaios nos concretos com ARC, pois diferentes agregados reciclados conferem diferentes propriedades aos novos concretos.

Os concretos compostos por agregados naturais (referência) e os produzidos com ARC podem ser caracterizados no estado fresco (massa específica e consistência) e no estado endurecido (resistência à compressão, resistência à tração, massa específica, absorção de água por capilaridade, módulo de elasticidade, etc) conforme as Normas Brasileiras (ABNT NBR) vigentes.

O concreto produzido com ARC deve ter propriedades similares ao concreto de referência ou compatíveis à função da peça produzida, no entanto, para que a empresa implemente o ARC deve-se ter um rigoroso controle de qualidade na produção a fim de manter as propriedades do concretos com ARC;

9. O transporte do concreto é uma etapa importante dos pré-fabricados e deve ser realizada no menor tempo possível, devido à necessidade de atender grandes volumes de produção e para que não haja influência expressiva na trabalhabilidade.

5.3 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com a finalização do estudo, observa-se que algumas questões poderiam ser exploradas, a fim de contribuir para aumentar o conhecimento sobre o assunto tratado. Assim, são feitas as seguintes sugestões para trabalhos futuros:

- Viabilidade econômica da reciclagem na empresa de pré-fabricados;
- Análise econômica para viabilidade de uma central de reciclagem de pequeno porte, em empresas da construção civil, visando a utilização de agregado reciclado em concretos com função estrutural;
- Avaliação técnica da utilização de todos os resíduos de concretos oriundos de empresa de pré-fabricados, como agregado graúdo na produção concreto auto-adensável para peças pré-fabricadas;
- Avaliação de desempenho das painéis pré-fabricados do protótipo, produzidas com CARC;
- Estudo comparativo de concretos com inserção de ARC oriundo de centrais de dosagem de pré-misturados, peças pré-fabricadas e de demolição de estruturas;
- Análise do ciclo de vida de peças pré-fabricadas;
- Avaliação da redução da geração de CO₂;
- Utilização de diferentes teores de água de compensação e de aditivo superplastificante a fim de verificar a trabalhabilidade e a resistência a compressão dos concretos com ARC;
- Influência da temperatura ambiente na trabalhabilidade de concretos com agregado reciclado de concreto, com adição de aditivo superplastificante.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABESC – Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Concretagem, disponível em: <<http://www.abesc.org.br>> acesso em: 16 de janeiro de 2011

ANGULO, S. C. Variabilidade de Agregados Graúdos de Resíduos de Construção e Demolição Reciclados. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia de Construção Civil. Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2000.

ANGULO, S. C. Caracterização de Agregados de Resíduos da Construção e Demolição Reciclados e a Influência de suas Características no Comportamento de Concretos. Tese (Doutorado) – Departamento de Engenharia de Construção Civil. Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2005.

ÂNGULO, S. C.; ZORDAN, S. E. ; JOHN, V. M. Desenvolvimento sustentável e a reciclagem de resíduos na construção IV Seminário Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil - Materiais Reciclados e Suas Aplicações. CT206 - IBRACON. São Paulo, SP, 2001.

ÂNGULO, S. C.; KAHN H.; JOHN, V. M.; ULSEN, C. Metodologia da caracterização de resíduos de construção e demolição. In: Seminário Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil – Materiais Reciclados e Suas Aplicações, São Paulo. Anais IBRACON, v.6, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 3435: Cimento Portland - determinação da expansibilidade de Le Chatelier. Rio de Janeiro, 1991.

_____ **NBR 5733: Cimento Portland de alta resistência inicial.** Rio de Janeiro, 1991.

_____ **NBR 5738. Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto.** Rio de Janeiro, 2003.

_____ **NBR 5739. Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos.** Rio de Janeiro, 2007.

_____ **NBR 6118. Projeto e execução de obras de concreto armado.** Rio de Janeiro, 2007.

_____ **NBR 6467. Agregados - Determinação do inchamento de agregado miúdo - Método de ensaio.** Rio de Janeiro, 2006.

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

_____ **NBR 7215: Cimento Portland – determinação da resistência à compressão.** Rio de Janeiro, 1996.

_____ **NBR 7809. Agregado graúdo - Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro - Método de ensaio.** Rio de Janeiro, 2006.

_____ **NBR 9062. Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado.** Rio de Janeiro, 2006.

_____ **NBR 9202: Cimento portland e outros materiais em pó - Determinação da finura por meio da peneira 0,077 mm (n° 325) - Método de ensaio.** Rio de Janeiro, 1985.

_____ **NBR 11579: Cimento Portland - determinação da finura por meio da peneira 75 micrometros (número 200).** Rio de Janeiro, 1991.

_____ **NBR 12655: Concreto de cimento Portland - Preparo, controle e recebimento – Procedimento.** Rio de Janeiro, 2006.

_____ **NBR 14656: Cimento Portland e matérias-primas - Análise química por espectrometria de raios X - Método de ensaio.** Rio de Janeiro, 2001.

_____ **NBR 15116. Agregados Reciclados de resíduos sólidos da construção civil – utilização em pavimentos e preparo de concreto sem função estrutural.** Rio de Janeiro, 2004.

_____ **NBR NM 12: Cimento Portland - Análise química - Determinação de óxido de cálcio livre.** Rio de Janeiro, 2004.

_____ **NBR NM 15: Cimento Portland - Análise química - Determinação de resíduo insolúvel.** Rio de Janeiro, 2004.

_____ **NBR NM 18: Cimento Portland - Análise química - Determinação de perda ao fogo.** Rio de Janeiro, 2004.

_____ **NBR NM 23. Resistência à compressão de argamassas.** Rio de Janeiro, 1998.

_____ **NBR NM 43: Cimento Portland - Determinação da pasta de consistência normal.** Rio de Janeiro, 2003.

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

_____ **NBR NM 53. Agregado Graúdo - Determinação de Massa Específica Massa Específica Aparente e Absorção de Água.** Rio de Janeiro, 2003.

_____ **NBR NM 65. Cimento Portland - Determinação do tempo de pega.** Rio de Janeiro, 2003.

_____ **NBR NM 67: Concreto fresco - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.** Rio de Janeiro, 1998.

_____ **NBR NM 76. Cimento Portland - Determinação da finura pelo método de permeabilidade ao ar (Método de Blaine).** Rio de Janeiro, 1998.

_____ **NBR NM 248: Agregados – Determinação da composição granulométrica.** Rio de Janeiro, 2003.

BRASIL. Lei 9.605 de 12/02/98. **Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências.** Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9605.htm> acesso em: 20 de setembro de 2008.

BRUMATI, D. **Uso de pré-moldados - Estudo e viabilidade.** Monografia. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2008.

BAUER. R. J. F.; CURTI, R.; MARTINS, A.; TAKASHIMA, S. **Estudo de característica física e mecânica do concreto pelo efeito de vários tipos de cura.** 1998. Disponível em:

<http://www.allquimica.com.br/arquivos/websites/artigos/Influencia_da_cura_nas_propriedades_do_concreto2006520132314.pdf>

BOIÇA, S. M. R.; SANTOS FILHO, M. L. **Análise da Performance de Elementos Pré-Fabricados de Concreto**. 1º Encontro Nacional de Pesquisa-Projeto-Produção em Pré-Moldado, São Carlos, SP, 2005.

BRITO, J.; ROBLES, R. **Recycled aggregate concrete (RAC) methodology for estimating its long-term properties**. Indian Journal of Engineering & Materials Sciences. v.17, p.449-492, 2010.

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 Paulo, 2003.

CABRAL, A. E. B.; SCHALCH, V.; DAL MOLIN, D. C. C.; RIBEIRO, J. L. D. **Modelagem da resistência à compressão de concretos produzidos com agregados de RCD**. Revista Minerva. v.4, p.75-84, 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. Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2007.

CAPELLO, G in THÉCHNE. **Reciclagem: uso de resíduos da construção**. Revista Técnica: a revista do engenheiro civil. São Paulo: Editora Pini, v.112, p. 32-35, jul. 2006.

CARNEIRO, A. P. *et. al*. **Características do entulho e do agregado reciclado**. In: CARNEIRO A. P. *et. al* (ORG). Reciclagem de Entulho para a Produção de Materiais de Construção. Salvador: Editora EDUFBA; Caixa Econômica Federal, p.142-186, 2001.

CARVALHO, A. D. C. **Reciclagem na indústria do concreto: Uma possibilidade econômica e tecnicamente viável para a construção civil**. Monografia. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2008.

CARRIJO, P. **Análise da influência da massa específica de agregados graúdos provenientes de resíduos de construção e demolição no desempenho mecânico do concreto**. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica - Engenharia. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

CASTRO, A. L.; LIBÓRIO, J. B. L. **Considerações sobre o processo de produção de concreto de alto desempenho para estruturas pré-moldadas**. 1º Encontro Nacional de Pesquisa-Projeto-Produção em Pré-Moldado, São Carlos, SP, 2005.

CBIC - CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL. 2010. Disponível em: <<http://www.cbic.org.br>>, acesso em: 15 de outubro de 2010.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CONAMA nº 307/2002**. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30702.html>>, acesso em: 17 de fevereiro de 2010.

COSTA, M. A. Centro de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico – CDT. Universidade de Brasília, 2009. Disponível em: <http://www.divisiengenharia.com.br/site/dicas/cura-do-concreto/>< acesso: 02 de fevereiro de 2010.

COUTO, A. M.; COUTO, J. P. **Os benefícios ambientais e a racionalização do efeito de aprendizagem na Indústria de pré-fabricação.** Congresso Construção, Coimbra, Portugal, 2007.

CPCI - CANADIAN PRECAST/PRESTRESSED CONCRETE INSTITUTE. Disponível em: <http://www.sustainableprecast.ca/production_precast_concrete>, acesso em: 08 de agosto de 2010.

CPCI - CANADIAN PRECAST/PRESTRESSED CONCRETE INSTITUTE. 2011 Disponível em < http://www.sustainableprecast.ca/production_precast_concrete/precaster_sustainability/canada/index.do>, acesso em: 20 de outubro de 2011.

COSTA E SILVA, A. J; BARBOSA, F. R.; MOTA, J. M. F.; VIEIRA FILHO, O. **Influência da temperatura na evolução da resistência à compressão do cimento portland.** Anais IBRACON, São Paulo, 2009.

DI PIETRO, J.E. **Critérios para otimização da produção e controle de qualidade para elementos pré-fabricados em concreto.** XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Curitiba, PR, 2002.

DNPM – DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. **Anuário Mineral Brasileiro.** 2006. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/conteudo.asp?IDSecao=68&IDPagina=789>>, acesso em: 15 de outubro de 2010.

EL DEBS, M. K. **Concreto pré-moldado: fundamentos e aplicações.** EESC. Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2000.

ETXEBERRIA, M. **Experimental study on microstructure and structural behavior.** Tese (Doutorado). Universidade Politécnica da Catalunha, Barcelona, Espanha, 2004.

FERNANDES, A. L. **Oferta e demanda de agregados para a construção civil no município de São Carlos-SP .** Dissertação (Mestrado) – Centro Universitário de Araraquara, Araraquara, SP, 2007.

FERREIRA, T. N. S. **Concreto ecológico: o uso de agregados reciclados para concretos na região metropolitana de Belém.** Monografia. Universidade da Amazônia, Belém, PA, 2009.

Fib - **Resumo do boletim nº41, Tratamento de patologias em elementos estruturas pré-moldados, parte 4/6.** Revista FCI. p.102-105, fev.2009.

FHWA – FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION. 2010. Disponível em: <<http://www.fhwa.dot.gov/pavement/recycling/rcaca.cfm>>, acesso em: 05 de julho de 2010.

GAUZIN-MULLER, D. **Arquitetura Ecológica, Editorial.** Gustavo Gili, Barcelona, 2002.

GÓMEZ-SOBERÓN, J. M. V. **Porosity of recycled concrete with substitution of recycled concrete aggregate: an experimental study.** Cement and Concrete Research. v.32, p.1301-1311, 2002.

GOMES, M. M. B. **Avaliação do plano de gerenciamento de resíduos sólidos (PGRS) em uma empresa incorporadora no município de Fortaleza.** Monografia - Curso de Engenharia Civil. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 2009.

GOMES, P. C. C.; SILVA, K. A. N.; SANTOS, A. C.; TENÓRIO, J. J. **Caracterização dos resíduos de construção civil do município de Maceió-AL**. ENARC, Feira de Santana, BA, 2009.

GONÇALVES, P. C. M. **Betão com agregados reciclados. Análise comentada da legislação existente**. Dissertação (Mestrado) - Instituto Técnico Superior - Engenharia Civil. Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal. 2007.

GONÇALVES, R. D. C. **Agregados Reciclados de Resíduos de Concreto - Um Novo Material para Dosagens Estruturais**. Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2001.

GONÇALVES, M. S. **Análise da viabilidade técnica de utilização de resíduos de concreto oriundos da pré-fabricação como agregado graúdo para a produção de novos concretos**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, RS, 2011.

GONÇALVES, R. D. C.; MACHADO JUNIOR, E. F. **Agregado reciclado de resíduos de concreto – um novo material para dosagens estruturais**. Anais IBRACON. 2001.

GRUBBA, D. C. R. P. **Estudo do comportamento mecânico de um agregado reciclado de concreto para utilização na construção rodoviária**. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

HELENE, P. R. L.; TERZIAN, P. R. **Manual de dosagem e controle do concreto**. São Paulo: Editora Pini, 1993.

JACOBI, P. R.; BESEN, G. R. **Gestão de resíduos sólidos em São Paulo: desafios da sustentabilidade**. Estudos Avançados. V.25, nº71, 2011.

JOHN, V. M. **Reciclagem de Resíduos na Construção Civil**. Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

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 . Vol. 4, nº2. P 69-87. 2008

KATZ, A. **Properties of concretes made with recycled aggregate from partially hydrated old concrete**. Cement and Concrete Research. v.33, 2003.

KAZMIERCZAK, C.S.; KULAKOWSKI, M. P.; BOITO, D.; GARCIA, A. C.A. **Estudo comparativo da geração de resíduos de construção e demolição em São Leopoldo e Novo Hamburgo**. In: XI Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído, ENTAC, 2006.

KOU, S.C.; POON, C.S.; CHAN, D **Properties of steam cured recycled aggregate fly** In: International RILEM Conference on the Use of Recycled Materials in Building and Structures pgs 590-599. 2004.

LA SERNA, H. A. **Agregados para construção civil – 2010**. Disponível em: https://sistemas.dnpm.gov.br/publicacao/mostra_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=5451 >acesso em: 18 de outubro de 2011.

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

- LEITE, P. R. **Logística Reversa-Meio Ambiente e competitividade**. São Paulo: Editora Prentice Hall, 2003.
- LEVY, S. M. **Contribuição ao estudo da durabilidade de concretos, produzidos com resíduos de concreto e alvenaria**. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.
- LIMA, J. A. R. de. **Proposição de diretrizes para produção e normalização de resíduos de construção reciclado e de suas aplicações em argamassas e concretos**. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia. Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.
- LIMBACHIYA, M. C.; LEELAWAT, T.; DHIR, R. K. **Use of recycled concrete aggregate in high-strength concrete**. *Materials and Structures*. v.33, 2000.
- LÓPEZ-GAYARRE, F; SERNA, P.; DOMINGO-CABO, A.; SERRANO-LÓPEZ, M.A.; LÓPEZ-COLINA, C. **Influence of recycled aggregate quality and proportioning criteria o recycled concrete properties**. *Waste Manag*. v.12, p.3022-3028, 2009.
- LOVATO, P. S. **Verificação dos parâmetros de controle de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição para utilização em concreto**. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2007.
- MALESEV, M.; RADONJANIN, V.; MARINKOVIC, S. **Recycled concrete as aggregate for structural concrete production**. *Sustainability*. 2010.
- MARCOS NETO, N. **Estruturas pré-moldadas de concreto para edifícios de múltiplos pavimento de pequena altura: uma análise crítica**. Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 1998.
- MARIANO, L. S. **Gerenciamento de resíduos da construção civil com reaproveitamento estrutural: estudo de caso de uma obra com 4.000m²**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2008
- MARQUES NETO, J. C. **Gestão dos resíduos de construção e demolição no Brasil**. São Carlos: Editora RiMa, 2005.
- MARQUES NETO, J. C.; SCHALCH, V. **Gestão dos Resíduos de Construção e Demolição: Estudo da Situação no Município de São Carlos-SP, Brasil** Disponível em: <http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/10886>>, acesso em: 10 de agosto de 2011.
- MENDES, T. M.; MORALES, G.; CARBONARI, G. **Study on ARC' aggregate utilization recycled of concrete**. Conference on the use recycled materials in building and structures. Barcelona, Espanha, 2004.
- MELO, K. A.; MARTINS, V. C.; REPETTE, W. L. **Estudo de compatibilidade entre cimento e aditivo redutor de água**. *Ambiente Construído*. Porto Alegre, v.9, n.1, p.45-56, jan./mar2009.
- METHA, P. K., MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: Editora IBRACON, 2008.
- MINERAL PRODUCTS**, 2010. Disponível em: http://www.mineralproducts.org/prod_agg_recy01.htm , acesso em: 19 de julho de 2010.
- MIRANDA, C. A. de. **Modelo para a Gestão de Resíduos de Construção e Demolição uma solução para as empresas de construção civil**. Dissertação (Mestrado). Universidade dos Açores, Ilha de São Miguel, Açores, 2009.

- MOREIRA, K.A.W. **Estudo das manifestações patológicas na produção de pré-fabricados de concreto**. Dissertação (Mestrado)- Universidade Tecnológica federal do Paraná, Curitiba, PR. 2009.
- MOVASSAGUI, R. **Durability of Reinforced Concrete Incorporating Recycled concrete as Aggregate (RCA)**. Dissertação (Mestrado). University of Waterloo, Ontario, Canadá, 2006.
- NEVILLE, A. **Propriedades do Concreto**. São Paulo: Editora PINI, 2ª Edição, cap.1, 2 e 3, 1997.
- NBMCW, 2007. Disponível em: <<http://www.nbmcw.com/articles/concrete/576-use-of-recycled-aggregates-in-concrete-a-paradigm-shift.html>>, acesso em 16 de março de 2010.
- OBLA, K.; KIM, H., LOBO, C. **Crushed returned concrete as aggregates for new concrete. Final report**. RMC Research e Education Foundation. 2007.
- OLIVEIRA, L. A. **Tecnologia de painéis pré-fabricados arquitetônicos de concreto para emprego em fachadas de edifícios**. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica. Universidade São Paulo, São Paulo, 2002a
- OLIVEIRA, M. J. E. de. **Materiais descartados pelas obras de construção civil: Estudo dos resíduos de concreto para reciclagem**. Tese (Doutorado). Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, SP, 2002a.
- OLIVEIRA, M. E. D.; SALES, R. J. M.; CABRAL, A. E. B. **Resultados preliminares do diagnóstico da geração e da composição dos resíduos de construção e demolição do município de Fortaleza**. Encontro Nacional Sobre Aproveitamento de Resíduos da construção-ENARC, 2009.
- OLIVEIRA, L. C. P. de; PRADO, R. A. D. P. do; MAIA, L. C. C. **Análise da variável ecológica: oportunidade e desafios para a inserção em novas redes de operações**. In: XIII Simpósio de Administração da Produção, Logística e Operações Internacionais - SIMPOI 2010, São Paulo. Anais, 2010.
- OLIVEIRA, L. A.; SABBATINI, F. H. **Fachadas em painéis pré-fabricados arquitetônicos de concreto: Estudo de Caso**. In: X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído ENTAC, 2004.
- PADMINI, A. K.; RAMAMURTHY, K.; MATHEWS, M. S. **Influence of parent concrete on the properties of recycled aggregate concrete**. Construction and Building Materials. v.23, 2009.
- PAULA, G. F. **Interação entre painéis pré-moldados de concreto e a estrutura principal por meio de modelos numéricos em elementos finitos**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, 2007.
- PIOVEZAN JÚNIOR, G. T. A. **Avaliação dos resíduos da construção civil (RCC) gerados no município de Santa Maria**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2007.
- PINTO, T. P. P.; GONZÁLEZ, J. L. R. **Manejo e gestão de resíduos da construção civil**. Brasília: Caixa Econômica Federal, v.1, 2005.
- POON, C. S.; SHUI, Z. H.; LAM, L. **Use of recycled aggregates in molded concrete bricks and blocks**. Construction and Building Materials. v.16, 2002.

POON, C. S.; SHUI, Z. H.; LAM, L. **Effect of microstructure of ITZ on comprehensive strength of concrete prepared with aggregates.** Construction and Building Materials. v.18, 2004.

PROJECTO REAGIR. **Reciclagem de entulho no âmbito da Gestão Integrada de Resíduos. Apresentação de resultados.** 2007. Disponível em: <<http://www.cm-montemornovo.pt/reagir/documentos/ce41.pdf>>, acesso em: 10 de janeiro de 2011.

PNSB - PESQUISA NACIONAL DE SANEAMENTO BÁSICO. 2011. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaoodevida/pnsb2008/PNSB_2008.pdf>, acesso em: 10 de janeiro de 2011.

PCI - REVISTA PRECAST CONCRETE INDUSTRY. Disponível em: <<http://www.pci.org>>, acesso em: 08 de agosto de 2010.

PURIFICAÇÃO, E. B. **Estudo do uso de agregados reciclados de concreto e substituição do cimento por resíduo de polimento de porcelanato na produção de piso intertravado de concreto.** Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2009.

RAHAL, K. **Mechanical properties of concrete with recycled coarse aggregate.** Building and Environmental. v.42, p.407-415, 2007.

RIBEIRO, F.; SERRA, N. G. da S. **Utilização de Entulho na Pavimentação.** Monografia. Universidade Estadual de Goiás, Anápolis, GO, 2001.

RILEM TC 116 PCD. **Permeability of concrete as a criterion of its durability. Concrete durability – an approach towards performance testing.** Materials and Structures, v. 32, 1999.

ROCHA, J. C.; CHERIAF, M. **Aproveitamento de resíduos na construção.** Coletânea Habitar - Utilização de Resíduos na Construção Habitacional. v.4, 2003.

SANTOS, A. N. **Diagnóstico da situação dos resíduos de construção e demolição (RCD) no município de Petrolina (PE).** Dissertação (Mestrado). Universidade Católica de Pernambuco, Recife, PE, 2008.

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

SAGOE-CRENTSIL, K. K.; BROWN, T.; TAYLOR, A. H. **Durability And Performance Characteristics Of Recycled Aggregate Concrete.** CSIRO Building Construction and Engineering, Victoria, Australia, 2002.

SINGH, S. K. **Use of recycled aggregate in concrete - Paradigm Shift.** Out.2007. Disponível em: <<http://www.nbmcw.com/articles/concrete/576-use-of-recycled-aggregates-in-concrete-a-paradigm-shift.html>>, acesso em: 16 de março de 2010.

SINPROCIM - Sindicato da Indústria de Produtos de Cimento do Estado de São Paulo. Disponível em: <<http://www.sinprocim.com.br>>, acesso em: 11 em novembro de 2009.

SILVA, C. A. R. **Aplicação do conceito de maturidade em concreto com adição de cinza de casca de arroz.** Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Civil. Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, SP, 2004.

SINPROCIM – PROGRAMA SETORIAL DA QUALIDADE - Setor de Produtos Pré-fabricados. Bahia, 2003. Disponível em:

<http://www.sucab.ba.gov.br/2006/psq/psq_setordeprodutos_prefabricados.doc>, acesso em: 11 de novembro de 2009.

SNIC - SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO. 2010. Disponível em: <<http://www.snic.org.br>>, acesso em: 15 de outubro de 2010.

STEFANO, N.; CHAPONAL NETO, A.; GOGOY, L. P. **Seis Sigma, ISO 14000 e Quality Function Deployment (QFD) ferramentas gerenciais nas organizações para melhoria da qualidade e produtividade.** XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Rio de Janeiro, RJ, 2008.

TABSH, S. W.; ABDELFAH, A. S. **Influence of recycled concrete aggregates on strength properties of concrete.** Construction and Building Materials. v.23, p.1163–1167, 2009.

TAM, V, W, Y.; GAO, X. F.; TAM, C. V. **Microstructural analysis of recycled aggregate concrete produced from two-stage mixing approach.** Cement and Concrete Research. v.35, p.1195-1203, 2005.

TAM, W. Y.; TAM, L.; LE, K. N. **Cross-cultural comparison of concrete recycling decision-making and implementation in construction industry.** Waste Management. v.30, p.291–297, 2010.

TENÓRIO, J. J. L. **Avaliação de propriedades do concreto produzido com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição visando aplicações estruturais.** Dissertação (Mestrado) - Engenharia Civil. Universidade Federal de Alagoas, Maceió, AL, 2007.

TERZIAN, P. **Concreto Pré-Fabricado** In: Isaia, Geraldo. Concreto Ensino, pesquisas e realizações. Editora IBRACON, v.2, 2005.

TOPÇU, I. B.; SENDEL, S. **Properties of concretes produced with waste concrete aggregate.** Cement and Concrete Research. v.34, n.8, 2004.

TOZZI, R. F.; BRAGA, M. C. B. **Caracterização, avaliação e gerenciamento da geração de resíduos da construção civil (RCC) em duas obras no município de Curitiba/PR-Brasil.** Engenharia e Construção. v.10, nº127, p.35-40, 2007.

TROIAN, A. **Avaliação da durabilidade de concretos produzidos com agregado reciclado frente à penetração de íons cloreto.** Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, RS, 2010.

VIEIRA, G. L. **Estudo do processo de corrosão sob a ação de íons cloreto em concretos obtidos a partir de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição.** Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

VIEIRA, J. P. **Interacção cimento-superplastificante. Avaliação da estabilidade do comportamento.** Dissertação (Mestrado) - Instituto Superior Técnico. Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal, 2010.

XIAO, J.; LI, J.; ZHANG, C. **Mechanical properties of recycled aggregate concrete under uniaxial loading.** Cement and Concrete Research. v.35, n.6, p.1187-1194, jun. 2005.

VÁZQUEZ, E.; ALAEJOS, P.; SANCHEZ, M.; ALEZA, F.; BARRA, M.; BURÓN, M.; CASTILLA, J.; DAPENA, E.; ETXEBERRIA, M.; FRANCISCO, G.; GONZÁLEZ, B.; MARTÍNEZ, F.; MARTÍNEZ, I.; PARRA, J.; POLANCO, J.; SANABRIA, M. **Utilización**

de árido reciclado para la fabricación de hormigón estructural. Monografía M-11 ACHE, Madrid, 2006.

WELLENKAMP, F. J.; CAMPOS, A.R.; HUNDERTMARK, A. **Reciclagem.** Tratamento de minérios 4ª edição. capítulo 17. CETEM. Rio de Janeiro, 2004.

WERLE, A. P. **Determinação de propriedades de concretos com agregados reciclados de concreto com ênfase na carbonatação.** Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, RS, 2010.

WERLE, A. P.; TROIAN, A.; KULAKOWSKI, M. P.; KAZMIERCZACK, C. S. **Análise de metodologias utilizadas para a caracterização da absorção de água de concreto reciclado como agregado.** In: XIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído – ENTAC, 2010.

ZAHARIEVA, R.; BUYLE-BODIN, F; SCOCZYLAS, F.; WINQUIN, E. **Assessment of the surface permeation properties of recycled aggregate concrete.** Cement and Concrete Composites. v.25, p.223-232, 2003.

ZORDAN, S. E. **A utilização do entulho como agregado, na confecção do concreto.** Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Civil. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 1997.

APÊNDICE A

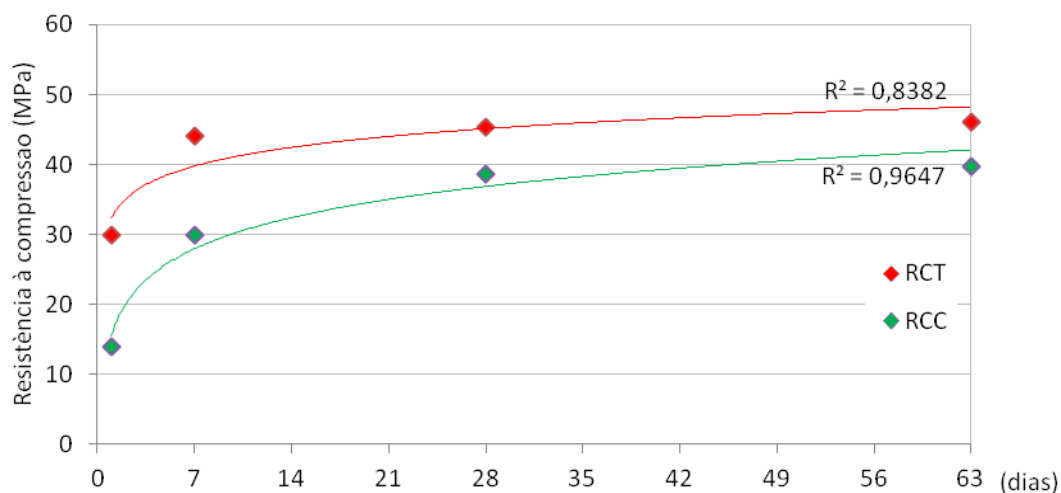


Figura A 1: Resistência à compressão dos resíduos RCC e RCT ao longo do tempo.
ABNT NBR 5739:2007.

Tabela A 1: Distribuição granulométrica e módulo de finura do RCC e RCT.

Peneira # (mm)	RCC						RCT					
	Idades						Idades					
	7 dias		28 dias		63 dias		7 dias		28 dias		63 dias	
	% retida	% Acum	% retida	% Acum	% retida	% Acum	% retida	% Acum	% retida	% Acum	% retida	% Acum
25	3,32	3,32	2,29	2,29	3,42	3,42	2,87	2,87	0,59	0,59	2,06	2,06
19	18,16	21,48	14,96	17,25	10,69	14,11	21,79	24,66	19,52	20,11	16,51	18,57
12,5	33,97	55,45	39,42	56,67	37,32	51,43	46,50	71,16	46,08	66,19	48,31	66,88
9,5	8,80	64,25	8,25	64,92	9,28	60,71	9,29	80,45	10,14	76,33	9,83	76,71
6,3	13,35	77,60	12,60	77,52	13,39	74,10	11,18	91,63	11,08	87,41	9,55	86,26
4,75	5,57	83,17	5,36	82,88	4,46	78,56	4,69	96,32	4,90	92,31	3,80	90,06
<4,75	16,83	100,00	17,12	100,00	21,44	100,00	3,68	1000	7,69	1000	9,94	100
M.F.	6,69		6,65		6,53		7,01		6,88		6,85	

ABNT NBR NM 248:2003

Tabela A 2: Distribuição granulométrica e módulo de finura dos agregados, RCC e RCT, retidos entre as peneiras #19 mm e #4,75 mm.

Peneira # (mm)	RCC						RCT					
	Idades						Idades					
	7 dias		28 dias		63 dias		7 dias		28 dias		63 dias	
	% retida	% Acum	% retida	% Acum	% retida	% Acum	% retida	% Acum	% retida	% Acum	% retida	% Acum
19	23,31	23,31	21,28	21,28	18,76	18,76	22,76	22,76	18,58	18,58	14,22	14,22
12,5	49,75	73,09	50,24	71,52	54,89	73,67	42,54	65,3	48,91	67,49	49,66	63,9
9,5	9,94	83,03	11,05	82,57	11,17	84,84	11,02	76,32	10,23	77,72	12,35	76,25
6,3	11,96	94,99	12,08	94,65	10,85	95,69	16,71	93,03	15,63	93,35	17,82	94,07
4,75	5,01	100	5,35	100	4,31	100	6,97	100	6,65	100	5,93	100
M.F.	7,06		7,04		7,04		6,99		6,96		6,90	

ABNT NBR NM 248:2003. - Fração utilizada para substituição do agregado natural em 50% nos concretos produzidos em laboratório

Tabela A 3: Forma do Grão dos agregados reciclados.

Peneiras # (mm)	ARCC			ARCT		
	Idades			Idades		
	7 dias	28 dias	63 dias	7 dias	28 dias	63 dias
19,0	2,40	2,23	2,35	2,22	2,05	1,99
12,5	2,28	2,23	2,31	2,13	2,11	2,08
9,5	2,37	2,40	2,22	2,42	2,35	2,30
6,3	2,64	2,60	2,46	2,63	2,96	2,53
4,75	2,91	2,70	2,54	3,80	2,89	3,06
Índice de forma	2,53	2,43	2,38	2,64	2,47	2,39

ABNT NBR 7809:2006 e ABNT NBR 7221:2009

Tabela A 4: Massa específica ¹ e Massa Unitária ² dos resíduos RCC e RCT

Resíduos	Massa Específica (g/cm ³)			Massa unitária (g/cm ³)
	Idades			
	7 dias	28 dias	63 dias	
ARCC	2,30	2,33	2,28	1,16
ARCT	2,38	2,37	2,44	1,07

¹ABNT NBR NM 53:2003; ² ABNT NBR NM 45:2006

Tabela A 5: Absorção de água por imersão de ARCT e ARCC, nas idades de 7, 28 e 63 dias; e de AN.

	Tempo (min.)	Raiz t (min.)	Absorção de Água(%)						
			ARCC			ARCT			AN
			7 dias	28 dias	63 dias	7 dias	28 dias	63 dias	
1min.	1	1,000	3,52	3,52	3,63	3,85	3,67	3,32	0,89
2 min.	2	1,414	4,37	3,90	6,94	4,10	6,35	4,68	1,76
4 min.	4	2,000	4,93	4,55	7,58	4,75	7,14	5,10	1,86
5 min.	5	2,236	5,23	4,81	7,80	4,93	7,47	5,28	1,90
10 min.	10	3,162	5,98	5,63	8,63	5,53	8,37	5,84	2,18
30 min.	30	5,477	7,18	7,80	10,18	6,75	9,31	6,89	2,38
1h	60	7,746	8,12	9,25	10,67	7,32	9,53	7,98	2,77
2h	120	10,954	8,53	9,57	11,35	7,77	9,74	8,65	2,87
4h	240	15,492	8,83	9,96	11,65	8,18	9,96	8,75	3,01
6h	360	18,974	9,04	10,07	12,40	8,47	10,72	8,89	3,18
24h	1440	37,947	10,33	10,47	13,53	8,65	10,93	9,39	3,46
48h	2880	53,666	10,88	10,61	14,55	8,71	11,37	9,39	
7 dias	10080	100,399	12,72	10,82	15,23	8,91	11,73	9,67	
14 dias	20160	141,986	13,05	11,15	15,46	9,16	11,77	9,88	
21 dias	30240	173,897	13,36	11,41	15,76	9,35	11,91	9,91	
28 dias	40320	200,798	13,58	11,86	16,32	9,40	12,20	9,95	

ABNT NBR 53:2003 – Segundo método citado por Werle (2010).

Onde: AN = agregado graúdo natural.

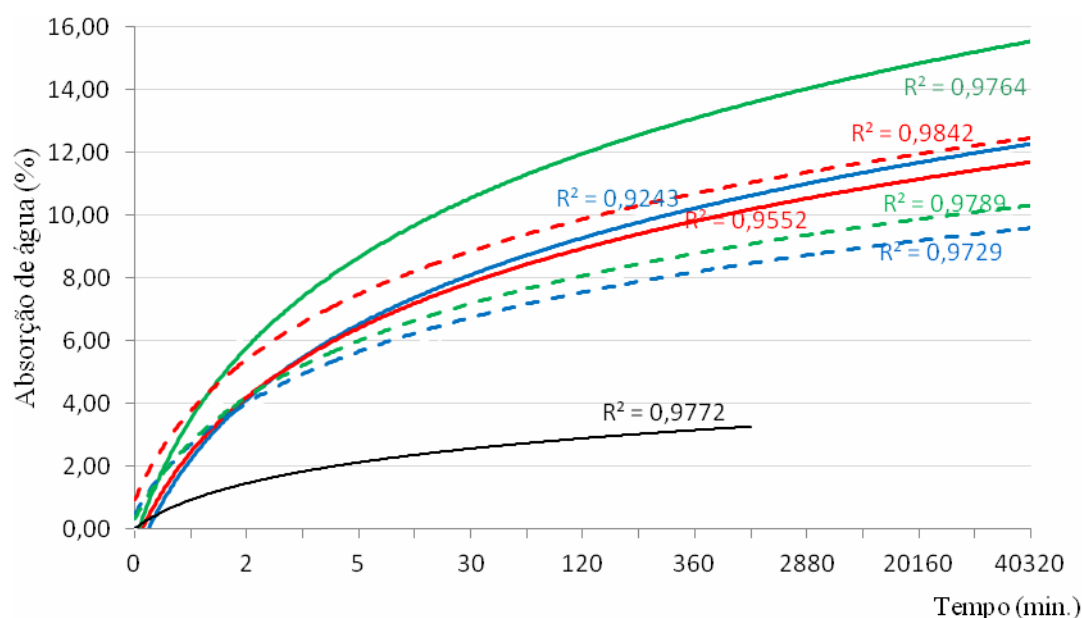


Figura A 2: Absorção de água por imersão dos agregados de RCC e RCT.

— ARCC 7 dias — ARCC 28 dias — ARCC 63 dias
 - - - ARCT 7 dias - - - ARCT 28 dias - - - ARCT 63 dias — AN

Tabela A 6: Absorção de água aos 10 min. em relação ao tempo de ensaio.

Tempo de ensaio	ARCC			ARCT		
	7 dias	28 dias	63 dias	7 dias	28 dias	63 dias
1 h(%)	73,64	60,86	80,88	75,54	87,82	73,18
24 h (%)	57,89	53,77	63,78	63,93	76,58	62,19
49320 h (%)	44,03	47,47	52,87	58,83	68,60	58,69

APÊNDICE B

Tabela B 1: Dados gerais da produção das peças

Obra: PROTÓTIPO DE PAINÉIS COM CARC.
Tipo de resíduo:
Data de produção:
Horário:
Nome das peças:
Volume das peças:
Dimensões:
Linha de montagem:
Temperatura ambiente:

Tabela B 2: Produção do concreto

Produção de concreto – Central de concretos
Volume de concreto utilizado para peças (m ³)
Volume produzido de concreto para as peças (m ³)
Volume de resíduo gerado:

Tabela B 3: Determinação da umidade dos agregados

Determinação da umidade do agregado miúdo e graúdo - laboratório
Umidade da areia:
Quantidade de água na areia:
Quantidade de água descontada na mistura:
Umidade do ARC:
Quantidade de água No ARC:
Quantidade de água descontada na mistura:
Quantidade de água adicionada na mistura:

Tabela B 4: Determinação da consistência, através de tronco de cone

Trabalhabilidade			
Tempo	Abatimento		Considerações
	1º lote	2º lote	
INICIAL SEM ADITIVO			
INICIAL COM ADITIVO			
20 min.			
35 min.			
50 min.			
65 min.			

Tabela B 5: Acompanhamento do tempo decorrido do processo produtivo de painéis

Tempo decorrido pelo processo produtivo		
Atividade	Tempo em minutos	
	1º lote	2º lote
Adição da água		
Adição do aditivo		
Descarregamento da mistura de 1 m ³		
Saída do concreto da central		
Chegada do concreto na Fábrica 2		
Início da moldagem		
Término da moldagem		

Tabela B 6: Moldagem das peças

Verificação de atividades envolvidas na moldagem até finalização da peça			
Concreto encontra-se:	Coeso ()	exudado ()	Outro ()
Adensamento e regularização			
Existe vazamento das fôrmas no	Sim ()	Não ()	
Momento da vibração			
Regularização da superfície do concreto	Normal ()		Dificultada ()
com ARC é:	Facilitada ()		
Altura de lançamento:			
Alteração na trabalhabilidade:	Sim ()		Não ()
Tempo utilizado pelos pedreiros			
para regularização:			
A "queima do concreto" com ARC é:	Normal ()		Dificultada ()
Tempo utilizado pelos pedreiros para			
"queima do concreto"			

Tabela B 7: Cura das peças

Verificação das condições de cura das peças		
Após o lançamento o concreto é protegido:	sol direto ()	lona ()
	Chuva ()	pano úmido ()
	vento ()	outros ()

Tabela B 8: Desmoldagem das peças

Desmoldagem das peças	
Data e Horário da desmoldagem:	
Tempo de cura para desmoldagem:	
Resistência à compressão:	
Aderência do concreto na fôrma	Sim () Não ()

Observações:

Tabela B 9: Controle de qualidade- Inspeção da peça acabada

Inspeção da peça acabada			
Tipo	Ocorreu		Observações
	Sim	Não	
1. Superfícies de apoio irregulares ou falhas na superfície do concreto			
2. Fissuras nas laterais dos painéis			
3. Fissuras nos pontos de içamento			
4. Fissuras estruturais			
5. Defeitos na superfície ou sujeira			
Causas prováveis:			
Ocorre em peças convencionais	Ocorrência com o uso do		
Acabamento irregular da superfície do concreto ou falhas na superfície do concreto			
Retração plástica			
Retração acelerada.			
Fissuras regulares			
Segregação do concreto.			
Secagem muito rápida do concreto			
Falta de armação.			
Fissura nos pontos de içamento			
Concreto ainda fresco durante o transporte do elemento.			
Especificação inadequada do içador.			
Camada de concreto muito fina.			
Agregados de tamanho muito pequeno			
Armação com cobertura insuficiente			
Falha de alisamento			
Excesso de pasta de cimento.			
Fissuras irregulares em formato de malha			
Desforma prematura.			
Flexão			
Diferenças na densidade e na refração das camadas dos painéis.			
Insolação e fluência no local de armazenagem.			
Longos tempos de armazenagem.			
Medidas de fabricação e controle da qualidade Insuficientes			
Deformações de longo prazo não consideradas no			
Separação dos agregados			
Alterações na cor ou manchas escuras			
Cal nas superfícies			
Sujeira nas superfícies (óleo, ferrugem,...)			
Manifestações de Manuseio e armazenamento na fábrica			
Tipo	Sim	Não	Observações
1. Tolerâncias dimensionais			
2. Cantos quebrados			

3.Fissuras nas aberturas ou			
-----------------------------	--	--	--

Adaptado **de** **Moreira** **(2009),** **Fib** **(2009).**

Tabela B 10: Controle de qualidade- Inspeção de peça não conforme

Inspeção de produto não conforme:		
Tipo de Resíduo: RCC () RCT () Referência ()		
Descrição do problema:		
Recurso utilizado:	Retrabalhar ()	Rejeitar ()
Local de retrabalho:		
Responsável pela ação:		
Descrição do retrabalho:		
Possui relação com o uso do ARC:	Sim ()	Não () Talvez ()
Material utilizado:		
Tempo de horas em retrabalho:		

Adaptado da empresa de pré-fabricados

Tabela B 11: Transporte interno das peças

Transporte das peças
Considerações:

Tabela B 12: Acabamento final das peças

Acabamento das peças		
Peça	Data da verificação	Descrição

Tabela B 13: Armazenamento das peças

Armazenamento das peças
Considerações:

APÊNDICE C

Tabela C 1: Caracterização física do cimento CP V – ARI.

Caracterização física	Ensaio	Norma utilizada	Valores prescritos pelas Normas	Resultados (média)
	Expansibilidade a quente (mm)		NBR 3435:1991	≤5,0
Tempo de início de pega (hora: min.)		NBR NM 65:2003	≥1:00	2:42
Tempo de fim de pega (hora: min.)		NBR NM 65:2003	≤10:00	03:18
Consistência Normal (%)		NBR NM 43:2003	-	28,7
Blaine (cm ² /g)		NBR NM 76:1998	≥3.000	4.341
Retido na peneira 200 (%)		NBR 11579:1991	≤8,0	0,40
Retido na peneira 325 (%)		NBR 9202:1985	-	3,00
Resistência à Compressão (MPa)	01 dia	NBR 7215:1996	≥14,0	20,8
	03 dias	NBR 7215:1996	≥24,0	34,6
	07 dias	NBR 7215:1996	≥34,0	41,7
	28 dias	NBR 5733:1991	-	51,3
Massa Específica (g/cm ³)		NBR NM 23:1998	-	3,12
Caracterização química (%)	Óxido de alumínio- Al ₂ O ₃	NBR 14656:2001	-	4,05
	Óxido de silício- SiO ₂	NBR 14656:2001	-	18,48
	Óxido de ferro- Fe ₂ O ₃	NBR 14656:2001	-	2,53
	Óxido de cálcio- CaO	NBR 14656:2001	-	59,68
	Óxido de magnésio- MgO	NBR 14656:2001	≤6,5	5,24
	Trióxido de enxofre- SO ₃	NBR 14656:2001	≤3,5	3,05
	Perda ao Fogo	NBR NM 18:2004	≤4,5	3,23
	Óxido de cálcio livre- CaO Livre	NBR NM 12:2004	-	0,91
	Resíduo Insolúvel	NBR NM 15:2004	≤1,0	0,65
	Equivalente Alcalino	NBR 14656:2001	-	0,64

Fonte: Cimento Itambé

Observa-se que os limites previstos nas Normas foram atendidos pelo cimento utilizado neste estudo.

Tabela C 2: Caracterização física do Aditivo Superplastificante Mc Bauchemier (MC Power Flow 1059).

Características físicas	
Densidade	1,06 g/cm ³
Dosagem Recomendada	0,2 a 5,0% sobre o peso do cimento
Teor de Cloretos	< 0,1%
Teor de Álcalis	< 1,0%

Fonte: Mc Bauchemier

Tabela C 3: Características físicas dos agregados naturais.

Tipo de agregado	Massa Unitária (g/cm ³)	-	Massa Específica (g/cm ³)
Areia	1,53 ¹		2,55 ²
Brita (60% brita 1 e 40% brita 0)	1,69		2,40 ³

¹ ABNT NBR NM 45: 2006; ² ABNT NBR NM 52: 2009; ³ABNT NBR NM 53:2002.

Tabela C 4: Caracterização granulométrica da Brita 0, Brita 1 e Areia

Peneiras (abertura)	Acumulada (% em massa)		
	Brita 0	Brita 1	Areia
19,0mm	0	0	0
12,5mm	0	62	0
9,5mm	4	92	0
6,3mm	52	100	0
4,75mm	82	100	0
2,36mm	100	100	3
1,18mm	100	100	13
600µm	100	100	42
300µm	100	100	77
150µm	100	100	99
< 150µm	100	100-	100-
Total	586	692	234
Módulo de finura	5,86	6,92	2,34
Dimensão Máxima (mm)	12,5	19	2,36

Fonte: controle tecnológico da empresa de pré-fabricados

ABNT NBR NM 248:2003

Tabela C 5: Massa unitária da composição do agregado gráudo natural

Composição de britas		Massa unitária
Brita 0	Brita 1	
30%	70%	1,66348
40%	60%	1,69503
50%	50%	1,67181
60%	40%	1,68351
70%	30%	1,66996

ABNT NBR NM 45: 2006

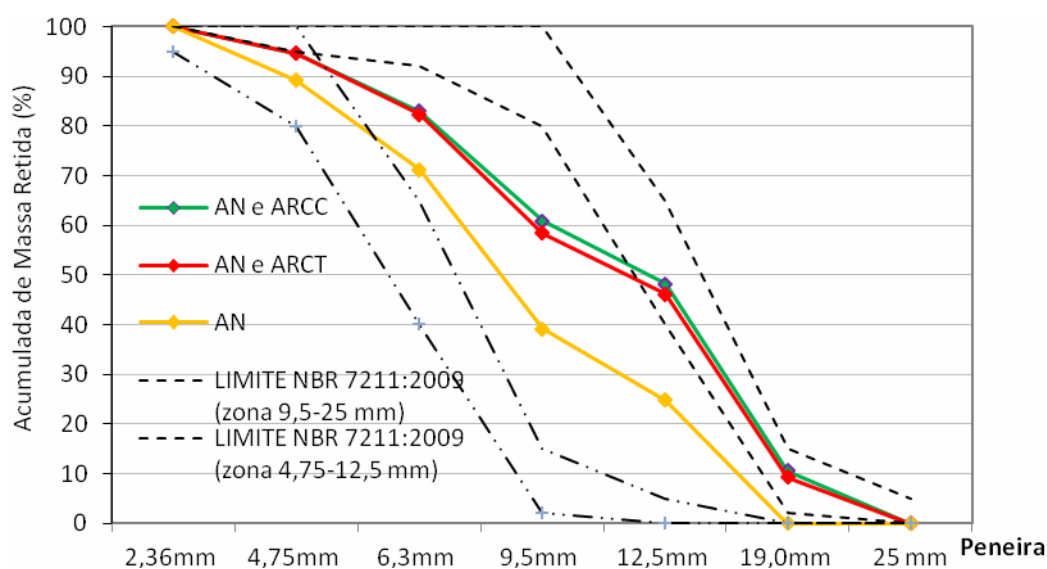


Figura C 1 Distribuição granulométrica das Composições de britas utilizadas nos concretos, em laboratório.

APÊNDICE D

Tabela D 1: Traços dos concretos

Materiais	CRef.	CRCC	CRCT
Cimento (kg) ¹	1,00	1,00	1,00
Cinza Volante (kg)	0,15	0,15	0,15
Areia (kg)	2,23	2,23	2,23
Brita 1 – 60 % (kg)	1,59	0,79	0,79
Brita 0 – 40% (kg)	1,05	0,53	0,53
Brita reciclada (kg)	-	1,28	1,31
Água/aglomerante (kg)	0,49	0,49	0,49
Água compensação ² (kg)	-	0,036	0,054
Aditivo ³ (%)	0,156	0,516	0,251

¹ Consumo de cimento de 400Kg/m³; ² A água de compensação não foi somada à relação a/c do concreto uma vez que não há certeza de que ela se redistribua na argamassa; ³ quantidade de aditivo utilizado em escala laboratorial.

APÊNDICE E

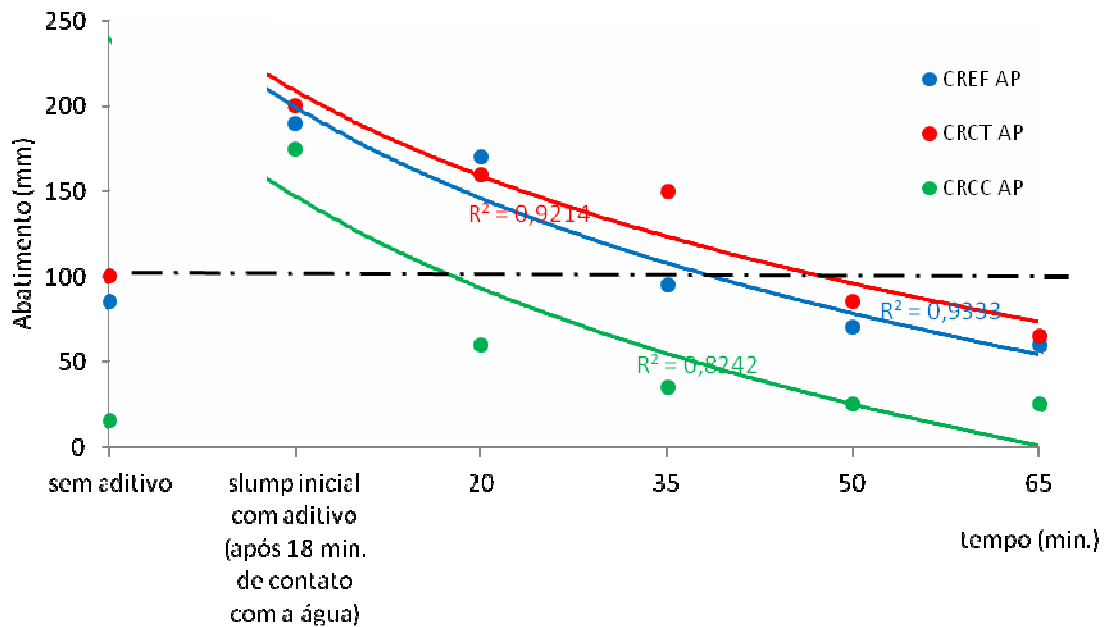


Figura E 1: Abatimento do concreto com inserção posterior do aditivo (método AP).

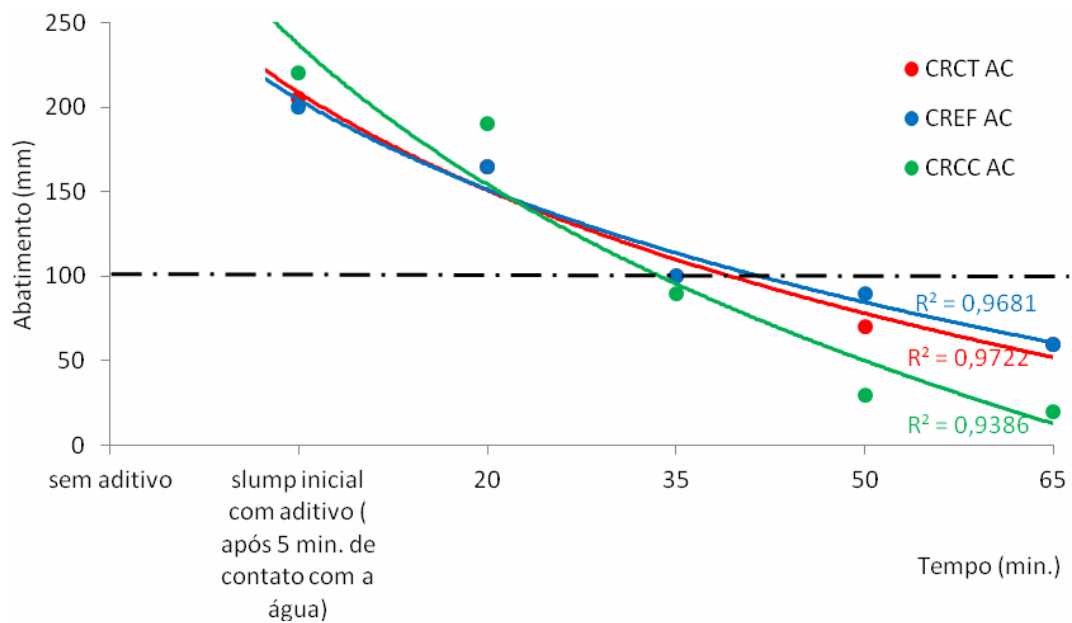


Figura E 2: Abatimento do concreto com inserção do aditivo juntamente com a água (método AC)

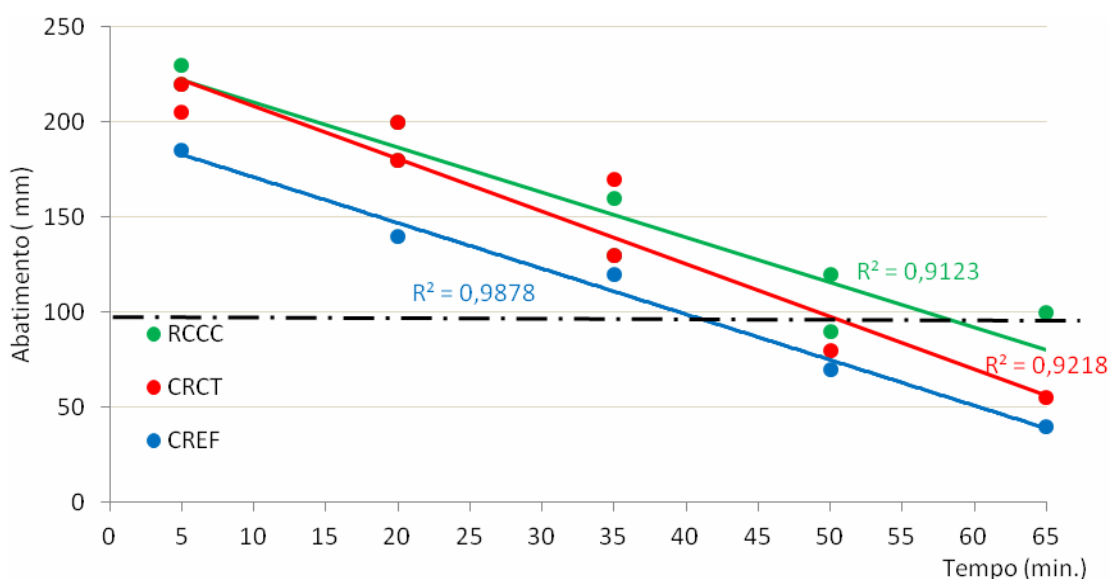


Figura E 3: Abatimento de CRef, CRCC e CRCT, produzidos industrialmente.

Tabela E 1: Abatimento dos concretos, método AC, em escala laboratorial.

Tempo	Momento do ensaio	Abatimento (mm)		
		CRef	CRCC	CRCT
inicial	Com aditivo	200	220	205
20 min.	Após adição água e aditivo	165	190	165
35 min.	Após adição água e aditivo	100	90	100
50 min.	Após adição água e aditivo	90	30	70
65 min.	Após adição água e aditivo	60	20	60

Tabela E 2: Abatimento dos concretos, método AP, em escala laboratorial.

Tempo	Momento do ensaio	Abatimento (mm)		
		CRef	CRCC	CRCT
inicial	Sem aditivo	85	15	100
Inicial – 18 min.	Com aditivo	190	175	200
38 min.	Após adição água (aditivo = 20 min.)	170	60	160
53 min.	Após adição água (aditivo = 35 min.)	95	35	150
68 min.	Após adição água (aditivo = 50 min.)	70	25	85
83 min.	Após adição água (aditivo = 65 min.)	60	25	65

Tabela E 3: Abatimento dos concretos, em escala industrial.

Tempo		Abatimento (mm)				
		CRef	CRCT		CRCC	
			Lote	1º lote	2º lote	1º lote
inicial	Sem aditivo	750	950	950	950	950
inicial	Com aditivo	185	220	230	205	220
20 min.	Após adição água	140	180	200	200	180
35 min.	Após adição água	120	130	160	170	130
50 min.	Após adição água	70	90	120	80	-
65 min.	Após adição água	40	80	100	55	-

Tabela E 4: Resistência à compressão dos concretos produzidos em laboratório e na indústria.

Resistência à compressão (MPa)											
Idades	Método	CRef	Média	Rel. CRef	CRCC	Média	Rel. CRef	CRCT	Média	Rel. CRef	
1 dia	LAB	AP	10,8	9,2	1	15,2	14,7	1,60	10,5	12,6	1,37
		AP	9,3			14,6			11,9		
		AC	8,8			13,6			12,5		
		AC	8,2			15,4			15,5		
	IND.		12,0	12,0	1	13,9	13,6	1,13	9,5	9,7	0,81
		12,0			13,4			10,0			
7 dias	LAB	AP	18,7	23,0	1	31,1	31,5	1,37	21,9	22,6	0,98
		AP	21,2			32,8			22,2		
		AP	23,2			30,2			20,4		
		AC	24,2			32,6			26,0		
		AC	25,9			30,6			-		
IND.		26,0	26,6	1	28,1	29,2	1,10	26,4	22,7	0,85	
		27,3			30,3			19,0			
28 dias	LAB	AP	30,5	31,4	1	38,7	38,9	1,24	29,8	31,4	1
		AP	32,4			40,6			31,8		
		AP	-			-			29,5		
		AC	31,2			38,0			34,7		
		AC	-			38,5			-		
IND.		36,2	35,3	1	40,2	39,9	1,13	32,5	32,0	0,90	
		34,4			39,6			31,5			
63 dias	LAB	AP	33,6	37,8	1	43,9	43,9	1,16	-		
		AP	37,6			47,1			-		
		AP	40,9			-			-		
		AC	35,4			40,7			-		
		AC	39,4			-			-		

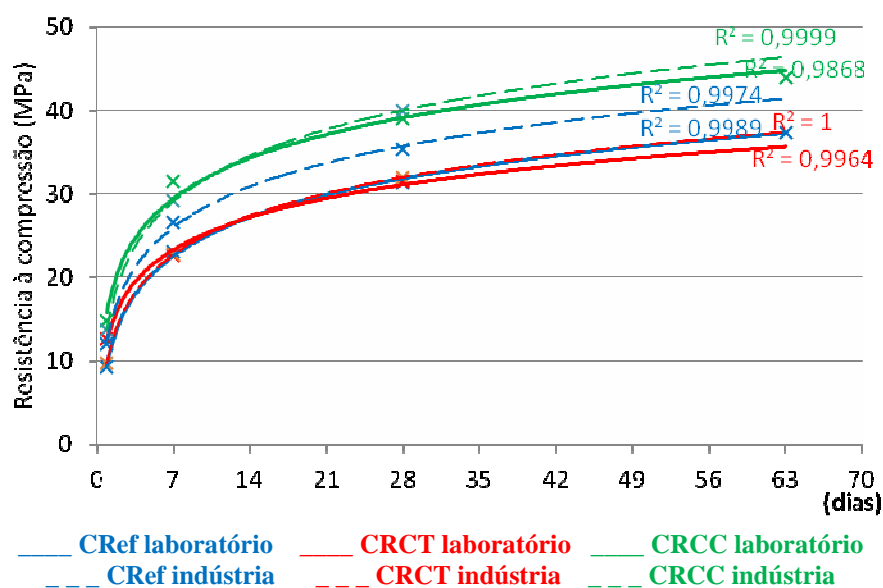


Figura E 4: Resistência à compressão dos concretos produzidos em laboratório e na empresa (médias).

Tabela E 5: Absorção de água por capilaridade dos concretos produzidos em escala laboratorial e industrial.

Absorção de água por capilaridade dos concretos (g/cm ²)														
Raiz do tempo	1,00	1,41	1,73	2,00	2,23	3,16	4,47	5,47	7,74	15,49	18,97	37,94	28 dias	
Tempo (min.)	1	2	3	4	5	10	20	30	60	240	360	1440		
Escala Lab.	CRef.	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,06	0,08	0,10	0,13	0,29	0,36	0,66	0,73
	CRCC	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,06	0,07	0,08	0,19	0,24	0,42	0,64
	CRCT	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04	0,05	0,08	0,09	0,11	0,26	0,33	0,62	0,76
Escala Ind.	CRef.	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04	0,06	0,09	0,10	0,15	0,30	0,37	0,71	0,85
	CRCC	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04	0,05	0,07	0,09	0,12	0,24	0,29	0,58	0,78
	CRCT	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04	0,05	0,07	0,09	0,12	0,23	0,33	0,57	0,86

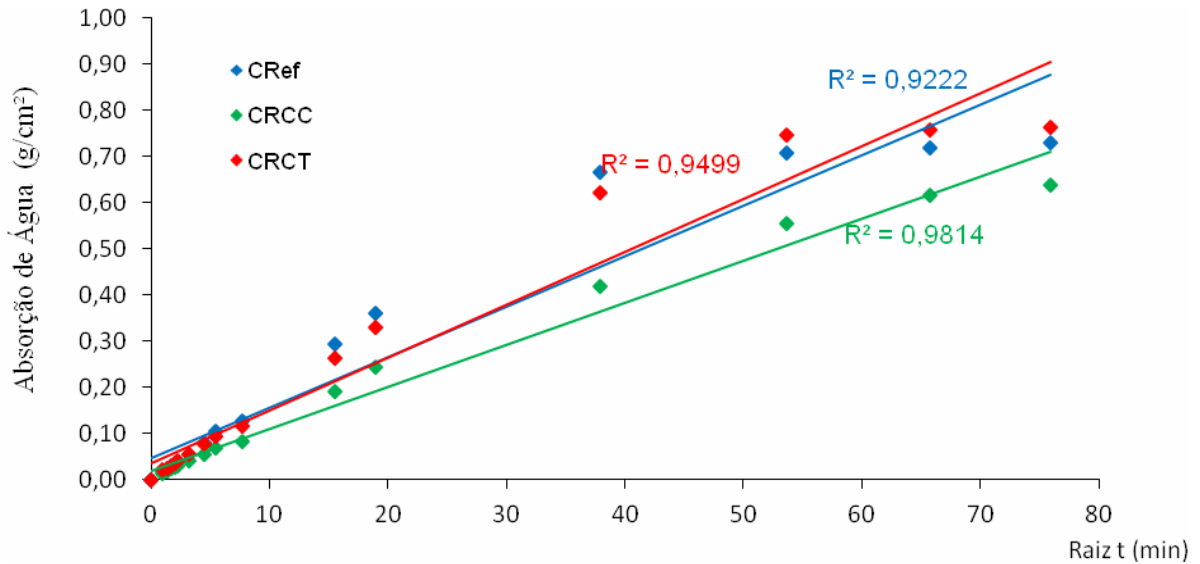


Figura E 5: Absorção de água por capilaridade de CRef., CRCC e CRCT produzidos em laboratório.

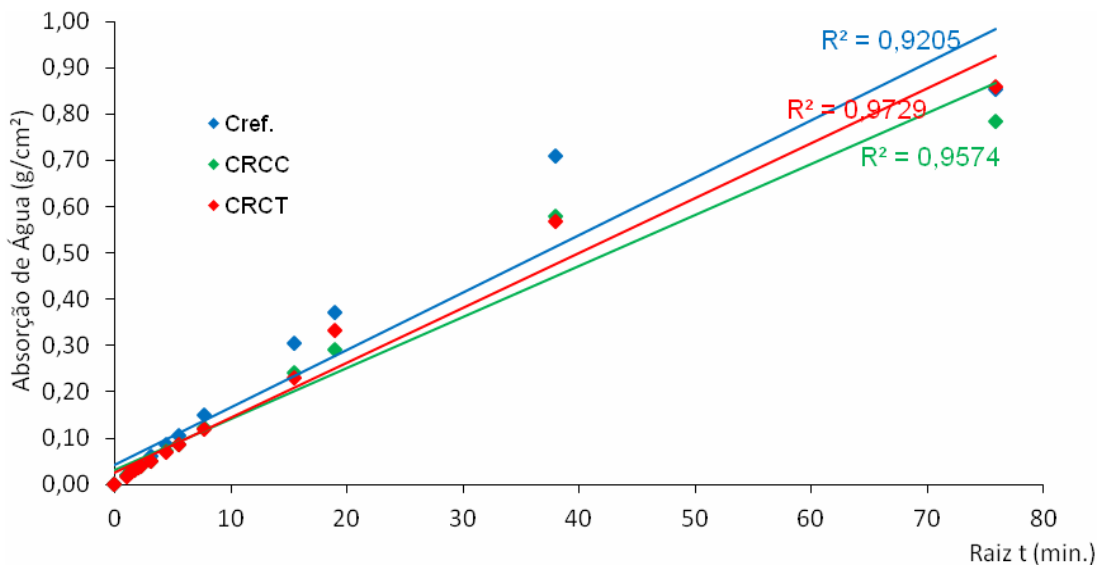


Figura E 6: Absorção de água por capilaridade de CRef., CRCC e CRCT produzidos industrialmente.

