



Universidade Federal do Pampa
CAMPUS TECNOLÓGICO DE ALEGRETE
ENGENHARIA CIVIL

**Desempenho Técnico de Blocos de Concreto para Pavimento
Intertravado com Resíduo de Construção e Demolição**

LUCAS GUILHERME KÖHLER

Alegrete, 2013

LUCAS GUILHERME KÖHLER

**Desempenho Técnico de Blocos de Concreto para Pavimento
Intertravado com Resíduo de Construção e Demolição**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como parte das atividades para
obtenção do título de bacharel em
Engenharia Civil na Universidade Federal do
Pampa

Profa Dra Elizabete Yukiko Nakanishi Bavastri
Orientadora

Prof. Dr. Gihad Mohamad
Co-orientador

Alegrete, 2013

LUCAS GUILHERME KÖHLER

**Desempenho Técnico de Blocos de Concreto para Pavimento
Intertravado com Resíduo de Construção e Demolição**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como parte das atividades para
obtenção do título de bacharel em
Engenharia Civil na Universidade Federal do
Pampa.

Trabalho apresentado e aprovado em 26 de Março de 2013.

Banca examinadora:

Profa. Dra Elizabete Yukiko Nakanishi Bavastri (Orientadora)

Prof.Eng. Jarbas Bressa Dalcin

Prof. Dr. Fladimir Fernandes dos Santos

Eng. Marcelo Dias

*Dedico esse trabalho a minha namorada
pelo amor incondicional.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por nascer em uma boa família, acompanhado sempre de bons amigos e pelas ótimas oportunidades que Ele me proporcionou para um crescimento maior.

Agradeço aos meus pais, Dirceu Inácio Köhler e Marilene Inês Philippsen Köhler, e ao meu irmão Luan Otávio Köhler, por todos esses anos de dedicação, incentivo e apoio aos meus planos e sonhos.

Agradeço a minha Orientadora Professora Elizabete Yukiko Nakanishi por todo o apoio que deu na realização desse trabalho e pela amizade que conquistamos durante esse período de aprendizado.

Agradeço ao Engenheiro Civil Marcelo Dias pela ajuda em todos os ensaios realizados no Laboratório de Engenharia Civil da Unipampa.

Agradeço em especial a Débora Righi pela convivência, paciência e principalmente pelo incentivo durante toda a graduação, pois tivemos a oportunidade de juntos vivenciarmos grandes realizações e que ao vencermos tantas dificuldades nos tornamos muito mais que grandes amigos.

Agradeço a todos os demais amigos e familiares, que de alguma forma colaboraram para a minha formação e crescimento pessoal.

Muito Obrigado!

*"Nem tão longe que eu não possa ver.
Nem tão perto que eu possa tocar.
Nem tão longe que eu não possa crer
que um dia chego lá.
Nem tão perto que eu possa acreditar
que o dia já chegou."
(Engenheiros do Hawaii)*

RESUMO

A questão ambiental é um tema muito discutido e pesquisado atualmente. Os recursos naturais não são ilimitados e que o meio ambiente não tem a capacidade de absorver a quantidade atual de resíduos sem que haja um desequilíbrio ambiental. Neste contexto insere-se a indústria da construção civil, que apresenta importantes impactos ambientais em todas as etapas do seu processo produtivo, sendo um destes a geração de resíduos de construção e demolição (RCD) em centros urbanos, que resulta em efeitos deteriorantes do ambiente local onde estes são dispostos e, em virtude do seu desperdício, aumenta a extração de materiais minerais. O bloco intertravado de concreto é um meio de utilização de resíduo de construção e demolição que, além de apresentar diversas vantagens técnicas próprias do tipo de pavimentação, também vem a ser um produto a favor do meio ambiente. Sendo assim, a presente pesquisa tem como objetivo principal a confecção e avaliação de blocos intertravados de concreto com substituição do agregado natural por agregado artificial (RCD vermelho) proveniente do município de Alegrete/RS nas porcentagens de 0%, 25%, 75% e 100%. Para a caracterização dos materiais foram realizados os ensaios de granulometria, massa específica e massa unitária. Para a produção dos blocos foi utilizado o traço de 1: 1,74: 2,15 (cimento, areia e pedrisco) e uma relação a/c inicial de 0,51. Após a produção dos pavers, os mesmos foram submetidos a ensaios no estado fresco com a análise de índice de consistência e massa específica, rendimento pelo método gravimétrico e para o estado endurecido foram analisados a resistência à compressão e absorção de água. Os resultados apontaram que o teor de 25% se mostrou como melhor traço com substituições mesmo não atingindo os 35 MPa aos 28 dias, como determina a NBR 9780 (1987), o mesmo pode ser empregado em locais que exijam baixas solicitações de tráfego.

Palavras-chave: pavers, RCD, concreto

ABSTRACT

The environmental issue is a topic much discussed and researched today. Natural resources are not unlimited and that the environment has the capacity to absorb the current amount of waste without an environmental imbalance. In this context one the construction industry, which has significant environmental impacts at all stages of its production process, being one of the generation of construction and demolition waste (CDW) in urban centers, resulting in detrimental effects of the environment where these are arranged and, by virtue of their waste materials increases the extraction of minerals. The interlocking concrete block is a way to use of construction and demolition waste, which besides presenting several technical advantages inherent to the type of flooring, also happens to be a product for the environment. Therefore, the present research has as main objective the preparation and evaluation of interlocking blocks of concrete with natural aggregate replacement by artificial aggregate (RCD red) from the municipality of Alegrete / RS in the percentages of 0%, 25%, 75% and 100%. For the material characterization tests were performed grain size, specific gravity and bulk density. For the production of the blocks was used trait of 1: 1.74: 2.15 (cement, sand and gravel) and a w / c ratio of 0.51 home. After production of pavers, they have been tested in the fresh state by analyzing consistency index and bulk density, gravimetric yield and the hardened state were analyzed compressive strength and water absorption. The results showed that the level of 25% was shown as best trait with substitutions not even reaching 35 MPa at 28 days as determined by NBR 9780 (1987), it can be used in places that require low traffic requests.

Keywords: pavers, RCD, concrete

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Elementos do Pavimento Intertravado.....	19
Figura 2 - Assentamento Manual dos Blocos	20
Figura 3 - Assentamento Mecânico dos Blocos	20
Figura 4 - Formatos típicos dos pavers com intertravamento horizontal	22
Figura 5 - Exemplos de pavers de intertravamento vertical	23
Figura 6 - Intertravamento Rotacional.....	23
Figura 7 - Movimento de rotação dos pavers.....	24
Figura 8 - Equipamentos utilizados para o beneficiamento do RCD	31
Figura 9 - RCD Britado	31
Figura 10 - RCD Moido.....	32
Figura 11 - Conjunto de Peneiras Serie Normal	33
Figura 12 - Balança Hidrostática.....	34
Figura 13 - Frasco de Chapman	35
Figura 14 - Recipiente Cilíndrico Utilizado	36
Figura 15 - Mistura em uma etapa.....	39
Figura 16 - Mistura em duas etapas.....	39
Figura 17 - Betoneira, formas e mesa vibratória utilizadas	40
Figura 18 - Amostra ensaiada	41
Figura 19 - Detalhe das placas Auxiliares	43
Figura 20 - Secagem em Estufa	45

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Composição do RCD de Porto Alegre.....	15
Gráfico 2 - Composição do RCD de São Paulo	15
Gráfico 3 - Composição de RCD de Recife.....	15
Gráfico 4 - Distribuição Granulométrica dos Agregados.....	48
Gráfico 5 - Distribuição granulométrica dos RCD Vermelho comparada com os limites da zona utilizável	49
Gráfico 6 - Distribuição granulométrica da Areia comparada com os limites da zona utilizável.....	49
Gráfico 7 - Distribuição granulométrica da Areia comparada com os limites da zona utilizável.....	50
Gráfico 8 - Índice de Consistência dos Pavers.....	54
Gráfico 9 - Massa Específica Aparente do Concreto Fresco	55
Gráfico 10 - Rendimento do Concreto Fresco	55
Gráfico 11 - Consumo de Cimento	56
Gráfico 12 - Teor de Ar no Concreto	56
Gráfico 13 - Resistência a compressão simples	57
Gráfico 14 - Resultados de Taxa de Absorção.....	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição Química, Física e Mecânica do Cimento.	29
Tabela 2 - Fator Multiplicativo da Resistência a Compressão	44
Tabela 3 - Granulometria RCD Vermelho	47
Tabela 4 - Granulometria Areia	47
Tabela 5 - Granulometria Pedrisco	48
Tabela 6 - Resultados de Massa Específica Agregado Graúdo	51
Tabela 7 - Massa específica da Areia Natural	51
Tabela 8 - Massa específica do RCD vermelho	51
Tabela 9 - Massa Unitária dos Agregados	52
Tabela 10 - Massa Unitária dos Agregados	52
Tabela 11 - Massa Unitária dos Agregados	53

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1.....	5
INTRODUÇÃO.....	5
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	5
1.2 JUSTIFICATIVA.....	6
1.3 OBJETIVO GERAL	7
1.4 OBJETIVO ESPECÍFICO.....	7
CAPÍTULO 2.....	8
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	8
2.1 REDUÇÃO DA GERAÇÃO DE RESÍDUOS	8
2.2 RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD).....	10
2.2.1 Definição.....	10
2.2.2 Caracterização dos RCDs	11
2.2.3 Geração	12
2.2.4 Composição	13
2.2.5 RCD na substituição de agregados	16
2.3 PAVIMENTOS INTERTRAVADOS	17
2.3.1 Assentamento dos Pavers.....	18
2.3.2 Intertravamento dos Pavers	21
2.3.3 Propriedades Requeridas	24
2.4 RCD EM BLOCOS DE CONCRETO PARA PAVIMENTAÇÃO.....	25
CAPÍTULO 3.....	28
MATERIAIS E MÉTODOS	28
3.1 MATERIAIS	28
3.1.1 Cimento.....	28
3.1.2 Água de amassamento	29
3.1.3 Agregados Naturais	30
3.1.4 Agregado Artificial	30
3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS	32
3.2.1 Composição granulométrica dos agregados	32
3.2.2 Determinação da absorção, massa específica do agregado graúdo	33
3.2.3 Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapman	35
3.2.4 Determinação da massa unitária dos agregados	36
3.3 PRODUÇÃO DOS BLOCOS INTERTRAVADOS.....	36
3.3.1 Processos de Produção	36

3.3.2	Dosagem	36
3.3.3	Confecção dos blocos	36
3.4	CONCRETO NO ESTADO FRESCO	40
3.4.1	Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone	40
3.4.2	Determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico.....	41
3.5	CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO.....	42
3.5.1	Determinação da resistência à compressão	42
3.5.2	Determinação da absorção de água, do teor de umidade e da área líquida	44
CAPÍTULO 4.....		46
ANÁLISES DOS RESULTADOS		46
4.1.	CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS.....	46
4.1.1	Composição granulométrica dos agregados	46
4.1.2	Determinação da massa específica do agregado graúdo.....	50
4.1.3	Determinação massa específica do agregado miúdo	51
4.1.4	Determinação da massa unitária	52
4.2	CONCRETO NO ESTADO FRESCO	53
4.2.1	Determinação da consistência	53
4.2.2	Determinação da massa específica do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico.....	54
4.3	CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO	57
4.3.1	Resistência a compressão.....	57
4.3.2	Absorção de água	58
CAPÍTULO 5.....		59
CONCLUSÃO E SUGESTÕES.....		59
5.1	CONCLUSÃO	57
5.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	60
6.1.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Ao longo dos anos, tem sido grande o impulso dado pelas diversas áreas de conhecimento para a realização de pesquisas de ordem ambiental. No âmbito da Engenharia Civil, o foco tem se voltado, principalmente, no aprimoramento dos materiais e sistemas utilizados, bem como no gerenciamento e redução do volume de resíduos gerados. Como consequência disso, destaca-se os recentes avanços no desenvolvimento de novos materiais e o aproveitamento de resíduos de outros setores produtivos como subprodutos de valor agregado na cadeia produtiva da construção civil (PAGNUSSAT, 2004).

Os Resíduos de Construção e Demolição (RCDs) são um dos principais responsáveis pelo esgotamento de áreas de aterros em cidades de médio e grande porte, uma vez que eles correspondem a mais de 50% em massa dos resíduos sólidos urbanos (JOHN, 2000; EC, 2000). No Brasil, estima-se que sejam gerados anualmente cerca de 70 a 106 t/ano de RCDs (ANGULO, 2005).

Além disso, dada a ausência de soluções adequadas, uma parcela significativa dos resíduos da construção civil é depositada irregularmente (PINTO, 1999), gerando altos custos sócio-econômicos e ambientais para as administrações municipais.

Esse novo cenário, marcado pela lúcida preocupação com o meio ambiente, busca alternativas sustentáveis de crescimento, nos mais diversos setores econômicos, sendo que o da Construção Civil recebe considerável realce, haja vista sua cadeia produtiva impactar fortemente durante todas as etapas de produção, desde a extração da matéria-prima, confecção de produtos, construção, uso e demolição, sendo estes dois últimos responsáveis por constituírem grande parte dos Resíduos Sólidos Urbanos (HOOD, 2006).

Com esse feito, a utilização de pavimentos intertravados com blocos pré-

moldados de concreto vem crescendo em todo o mundo, particularmente no Brasil, e a possibilidade de se oferecer materiais alternativos, cuja principal preocupação é o equilíbrio entre os aspectos ambientais, tecnológicos e econômicos, que contribuem para o desenvolvimento deste sistema prático e confiável (FIORITI, 2007).

Segundo AMADEI (2011), os blocos intertravados, também denominados de Pavers, têm conquistado espaço no mercado, gradativamente, devido às muitas vantagens que esse produto oferece, destacando a facilidade de assentamento, a liberação para o tráfego rapidamente, a acessibilidade às redes subterrâneas e a praticidade na manutenção. Ainda deve ser salientada a permeabilidade que esse pavimento proporciona, auxiliando na drenagem urbana.

Assim, esta pesquisa tem o objetivo de contribuir para os estudos de utilização de blocos de concreto em pavimentação e no reaproveitamento de RCD como agregado miúdo reciclado na própria indústria da construção civil, que o gerou. A transformação de resíduos em matéria-prima tem a finalidade de permitir uma maior preservação de áreas de extração de agregados e áreas de disposição de resíduos.

1.2 JUSTIFICATIVA

Atualmente o município de Alegrete/RS possui vários lugares clandestinos para a deposição de entulhos da construção civil causando danos ao meio ambiente, sendo que os mesmos têm grande potencial de aproveitamento.

De acordo com a Resolução CONAMA N°448 (2012), os resíduos da construção civil de Classe A deverão ser reutilizados ou reciclados na forma de agregados, ou encaminhados a áreas de aterro de resíduos da construção civil, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura.

Com o reaproveitamento dos resíduos, diminui-se, como consequência o impacto ambiental causado pelo depósito indevido desses materiais, contribuindo para redução de necessidades de espaços em aterros, impedindo a degradação de novas áreas. Portanto, a incorporação de RCD na massa de concreto para produção de blocos de concreto intertravado para calçamento da cidade, ajudará para a diminuição

de entulhos clandestinos, bem como, pela melhora substancial no visual urbanístico, conferindo aos cidadãos uma sensação de bem-estar.

1.3 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho é avaliar a viabilidade técnica da utilização de resíduos de construção e demolição (RCD) na produção de blocos de concreto para pavimento intertravado.

1.4 OBJETIVO ESPECÍFICO

Esse trabalho de conclusão de curso tem como objetivos específicos:

- Verificar a influência da substituição de agregados miúdos naturais por agregados miúdos reciclados de RCD vermelho nas características do concreto fresco;
- Caracterizar o resíduo de construção e demolição (RCD) oriundo da cidade e Alegrete/RS;
- Verificar a influência da substituição de agregados miúdos naturais por agregados miúdos reciclados de RCD na resistência à compressão de blocos de concreto para pavimentação;
- Verificar a influência da substituição de agregados miúdos naturais por agregados miúdos reciclados de RCD na absorção de água de blocos de concreto para pavimentação.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 REDUÇÃO DA GERAÇÃO DE RESÍDUOS

Na indústria da construção civil, a reciclagem pode gerar inúmeros benefícios, como a redução no consumo de recursos naturais não-renováveis, a redução do consumo de energia durante o processo de produção e a diminuição da emissão de gás carbônico (JOHN, 2000). Além disso, podem-se reduzir as áreas necessárias para aterro pela minimização do volume de resíduos gerados (PINTO, 1999).

Observa-se que o Art. 3º da Resolução CONAMA nº307, de 2002, estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para gestão dos resíduos da construção civil, classificando-os em Classes A, B, C e D, da seguinte forma:

- Classe A - são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como:
 - a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem;
 - b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto;
 - c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meio-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras;
- Classe B - são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras e outros;
- Classe C - são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação;
- Classe D - são resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais

como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais, bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde.

Pietersen et al. (1998), diz que o RCD é um material que tem a possibilidade de ser usado como agregado reciclado, pois trata-se de um material granular, previamente utilizado na construção, que, através de um processo industrial, é novamente aplicado a construção.

Vale destacar que a Política Nacional de Resíduos Sólidos (2012) apresenta a seguinte classificação para os resíduos sólidos:

I – quanto à origem:

- a) resíduos domiciliares: os originários de atividades domésticas em residências urbanas;
- b) resíduos de limpeza urbana: os originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana;
- c) resíduos sólidos urbanos: os englobados nas alíneas a e b;
- d) resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços: os gerados nessas atividades, excetuados os referidos nas alíneas b, e, g, h e j;
- e) resíduos dos serviços públicos de saneamento básico: os gerados nessas atividades, excetuados os referidos na alínea c;
- f) resíduos industriais: os gerados nos processos produtivos e instalações industriais;
- g) resíduos de serviços de saúde: os gerados nos serviços de saúde, conforme definido em regulamento ou em normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama e do SNVS;
- h) resíduos da construção civil: os gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil incluídas os resultantes da preparação e

escavação de terrenos para obras civis;

i) resíduos agrossilvopastoris: os gerados nas atividades agropecuárias e silviculturais, incluídos os relacionados a insumos utilizados nessas atividades;

j) resíduos de serviços de transportes: os originários de portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários e passagens de fronteira;

k) resíduos de mineração: os gerados na atividade de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios;

II – quanto à periculosidade:

a) resíduos perigosos: aqueles que, em razão de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade, apresentam significativo risco à saúde pública ou à qualidade ambiental, de acordo com lei, regulamento ou norma técnica;

b) resíduos não perigosos: aqueles não enquadrados na alínea a.

2.2 RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD)

2.2.1 Definição

RCD é aquele proveniente de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, além dos resultantes da reparação e da escavação de terrenos. Neste universo enquadram-se como tais os tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica, entre outros (CONAMA, 2002).

Numa sucinta definição, pode-se descrever os RCDs como um material oriundo de construções, reformas, reparos e demolições de edificações e estradas. Segundo Vieira (2003), RCD é todo material oriundo de atividades de demolições de obras civis, restos de obras ou reformas. Ângulo (2005) também aceita essa definição e complementa, afirmando ser todo e qualquer resíduo oriundo das atividades de

construção, seja ele de novas construções, reformas, demolições, que envolvam atividades de obras de arte, solos ou resíduos de vegetação presentes em limpezas de aterro.

2.2.2 Caracterização dos RCDs

Os Resíduos de Construção e Demolição se apresentam na forma sólida, nos mais diversos formatos e dimensões, possuindo características físicas bastante variáveis, pois são determinadas pelo seu processo gerador (ZORDAN, 1997).

Como já definido anteriormente, os Resíduos de Construção e Demolição vem a ser todo aquele oriundo das atividades de construção, incluindo os mais diversos tipos de materiais, tais como plásticos, isolantes, papel, materiais betuminosos, madeiras, metais, concretos, argamassas, blocos, tijolos, telhas, solos, gesso, dentre outros.

A parcela composta por concretos, argamassas, blocos, tijolos, telhas, solos, gesso, ou seja, de origem mineral, é predominante no RCD, representando aproximadamente 90%, no Brasil (ÂNGULO, 2005).

Os resíduos da indústria da construção possuem características bastante heterogêneas, se comparado aos demais resíduos industriais. Seu perfil varia de acordo com a qualidade da mão-de-obra empregada, das técnicas construtivas utilizadas, da presença ou não de programas de qualidade, dos tipos de materiais aplicados, e uma série de outros fatores.

Sapata (2002) reforça ao determinar que esse material se apresenta sob forma sólida, com características físicas que variam com seu processo gerador, aparecendo em diversas dimensões e geometrias.

A grande heterogeneidade nas características dos resíduos acarreta a complexidade da reciclagem e utilização. As propriedades físico-químicas dependem de fatores como a origem mineralógica, o tipo de matéria-prima, o processo operacional e a eficiência deste. Evidentemente, as características desses resíduos, gerados a partir de diferentes processos, apresentarão, ou não, bom potencial para o reaproveitamento (PAPPU et al., 2007).

Baseado em Zordan (1997), as características de produção e os aspectos de heterogeneidade podem fornecer ao entulho mudanças de propriedades, passando de inerte à não inerte, podendo até mesmo tornar-se perigoso, como é o caso do amianto.

O método de coleta do material para análise da composição também deve ser criterioso, pois muitas são as atividades desenvolvidas dentro de um canteiro de obras. Esse fator, somado à extensa gama de materiais empregados na construção, confere ao resíduo gerado a alta heterogeneidade (AMADEI, 2011).

2.2.3 Geração

Conforme Amadei (2011), até a década de 90, pouco se conhecia sobre a intensidade da geração de Resíduos de Construção e Demolição, limitando-se apenas ao que encontrava-se visivelmente acumulado nos ambientes urbanos. Também não havia quaisquer indicadores para a ocorrência de perdas na construção civil, sendo esses, de suma relevância, haja vista a supremacia do entulho na composição dos Resíduos Sólidos Urbanos em cidades brasileiras de médio e grande porte.

A geração de resíduos, pela indústria da construção civil, é um dos grandes problemas enfrentados pela sociedade, na tentativa de promover o desenvolvimento sustentável nos grandes centros urbanos, visto que existe a necessidade de grandes áreas de disposição para este tipo de resíduo, acarretando na degradação do meio ambiente. Em muitos países existem regulamentações que tratam da disposição e o gerenciamento desses resíduos, com a aplicação de elevadas taxas sobre os resíduos que são dispostos no meio-ambiente (BUTTLER, 2003).

Na indústria da construção civil, os resíduos são sempre gerados dentro dos próprios processos da obra. De acordo com Vieira (2003), pode-se dizer que há basicamente três fases nas quais o RCD é gerado: fase de construção, fase de manutenção ou reformas e a fase de demolição.

O resíduo gerado durante a fase de construção é decorrente das perdas nos processos construtivos. Parte dessa perda permanece incorporada nas construções

sob a forma de componentes cujas dimensões finais são superiores às de projeto. A outra parte das perdas vira o RCD propriamente dito (VIEIRA, 2003).

A construção artesanal, predominante na construção civil brasileira, contribui para a existência de perdas consideráveis de materiais e mão-de-obra, imperando o princípio da baixa produtividade e mau gerenciamento (ZORDAN,1997). Segundo John e Agopyan (2000), na fase de manutenção a geração de resíduos está associada a vários fatores, citados a seguir:

- a) Correção de defeitos (manifestações patológicas);
- b) Reformas ou modernização de edifício ou de partes do mesmo, que normalmente exigem demolições parciais;
- c) Descarte de componentes que tenham se degradado e atingido o final da vida útil e por isso necessitam de ser substituídos.

Nesta fase, a redução da geração do resíduo vai depender da melhoria da qualidade da construção, de tal forma que a manutenção seja reduzida. Isto só será conseguido se houver estudos preliminares, envolvendo projetos que possam garantir o aumento da vida útil da estrutura. As demais medidas para redução dos resíduos nessa fase vão depender da conscientização de integrantes da cadeia produtiva da construção, que somente será obtida em longo prazo (JOHN; AGOPYAN, 2000).

Na etapa de demolição, a redução dos resíduos depende do prolongamento da vida útil de seus componentes, que, por sua vez, dependem tanto da tecnologia quanto dos materiais. Estes dependem da existência de incentivos para que os proprietários realizem modernizações e não demolições, e da existência de uma metodologia que permita reutilizar os componentes (VIEIRA, 2003).

2.2.4 Composição

Ao se analisar a composição geral dos Resíduos de Construção e Demolição, devem ser examinados fatores como a tipologia construtiva utilizada, as técnicas construtivas empregadas, os materiais disponíveis em cada local e os índices de perdas de materiais mais significativos, pois tais fatores estarão atrelados à

variabilidade da composição do entulho. As características dos materiais constituintes devem ser conhecidas para que este resíduo possa ser corretamente empregado no processo de reciclagem (AMADEI, 2011).

Sapata (2002) descreve que a composição do RCD ocorre em função das características geográficas do local da construção, do tipo da construção, dos hábitos e dos costumes locais.

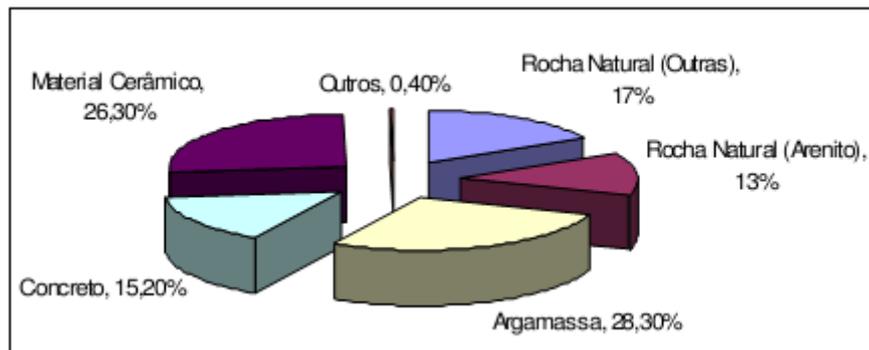
Para o real conhecimento do material, o processo de discriminação dos resíduos deve contemplar uma análise química completa do produto, como umidade e natureza dos materiais voláteis; análise da sua microestrutura, como a sua mineralogia e porosidade; análise física, como densidade, ponto de fusão e granulometria; e análise ambiental, para enquadrar na normalização vigente.

John (2000) propõe uma separação por tipo de material:

- a) Solos;
- b) Materiais Cerâmicos: rochas naturais, concreto, argamassas a base de cimento e cal, resíduos de cerâmica vermelha, como tijolos e telhas, cerâmica branca, especialmente a de revestimento, cimento-amianto, gesso – pasta e placa, vidro;
- c) Materiais Metálicos: como aço para concreto armado, latão, alumínio, ferro;
- d) Materiais Orgânicos: madeira natural ou industrializada, plásticos diversos, materiais betuminosos, tintas e adesivos, papel de embalagem.

Leite (2001) realizou o levantamento da composição do entulho gerado em Porto Alegre, RS, através da triagem, na fonte, com posterior catação visual de partículas, em um aterro de inertes na zona sul da cidade. Sendo assim, pode-se tratar de material proveniente tanto de construção, quanto de demolição. Os materiais encontrados na calça foram os cerâmicos (tijolos, telhas, revestimentos), argamassas, concreto e pedras. No beneficiamento da amostra, no laboratório, foram descartadas as impurezas, como papéis, madeira, vidro e gesso, para que não afetassem o desempenho do concreto a ser desenvolvido. O método de separação usado por Leite (2001) se diferencia do proposto por John (2000), pois não contabiliza solos, materiais metálicos e orgânicos. O resultado da amostra obtido é apresentado no Gráfico 1.

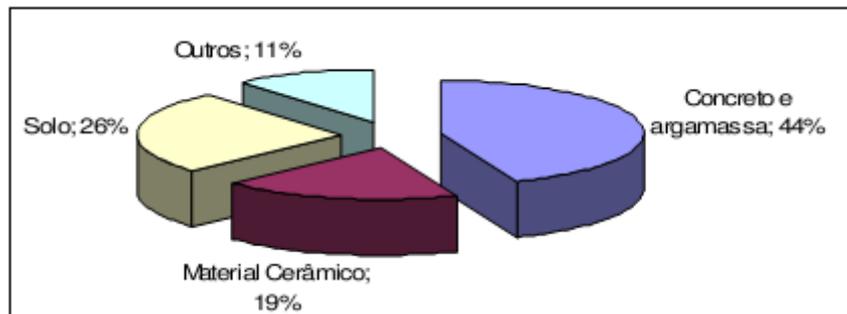
Gráfico 1 - Composição do RCD de Porto Alegre



Fonte: Leite (2001).

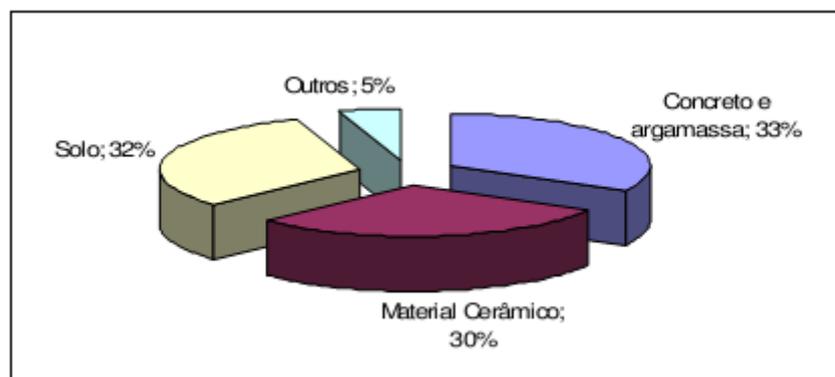
Carneiro (2005) realizou um levantamento da composição do entulho da cidade de São Paulo e da cidade de Recife, para realizar um estudo comparativo, haja vista se tratar de duas capitais distantes fisicamente e com culturas e métodos construtivos divergentes. O Gráfico 02 mostra a composição do RCD de São Paulo e o Gráfico 03 de Recife.

Gráfico 2 - Composição do RCD de São Paulo



Fonte: Carneiro (2005).

Gráfico 3 - Composição de RCD de Recife



Fonte: Carneiro (2005).

Nota-se, nos Gráficos 01, 02 e 03, a composição de 3 capitais brasileiras distintas, entretanto, na composição do RCD de todas, há predominância de Solos e Concretos e Argamassas, em relação aos Materiais Cerâmicos e outros materiais.

2.2.5 RCD na substituição de agregados

Num breve histórico, no Brasil, a reciclagem de resíduos de construção iniciou-se ainda nos anos 80, com a utilização de pequenos moinhos instalados durante a construção de edifícios, onde os resíduos de alvenaria eram reaproveitados para a produção de argamassas (LIMA, 1999).

Mesmo assim, a reciclagem do entulho, como material de construção civil, encontra-se muito atrasada no Brasil, apesar da escassez de agregados nas regiões metropolitanas e, especialmente, se comparada à dos países europeus (MIRANDA, 2000).

De acordo com a Resolução do CONAMA (2002) os resíduos de construção que podem ser reciclados na substituição de agregados naturais são aqueles classificados na “Classe A”, descrita no trabalho.

Segundo Brito Filho (1999), os agregados reciclados podem ser utilizados em diversos serviços de engenharia como camadas drenantes (com ausência de finos), lastro para assentamento de tubos ou de guias, envelopamento de galerias e estabilização de solos expansíveis ou com baixa capacidade de suporte. Podem também ser empregados em regularização e cascalhamento de ruas de terra, sendo vantajosos tecnicamente neste tipo de situação, em relação às britas corridas comuns, em virtude de sua coesão proveniente de reações pozolânicas que o tornam menos erodíveis.

O elevado custo da areia natural, causado principalmente pela dificuldade de sua obtenção (longas distâncias de transporte, alcançando até 150 km), abre espaço para a entrada da areia reciclada no mercado de agregado miúdo para a construção civil, como uma alternativa de se utilizar um material de qualidade compatível, porém, de custo bem inferior (MIRANDA, 2005).

No que diz respeito às propriedades dos agregados reciclados, estes apresentam uma grande variação, dependendo da composição do resíduo processado, dos equipamentos usados, do teor de impurezas, da granulometria, entre outros

fatores. Apresentam propriedades específicas, diferentes das propriedades dos agregados convencionais, que determinam algumas diferenças nas condições de aplicação e nas características de argamassas e concretos em que forem usados (LIMA, 1999).

De acordo com Bakoss *et al* (1999), as maiores diferenças verificadas entre os agregados reciclados e os naturais são a forma do grão e textura superficial, que no material reciclado tendem a ser mais irregular; a densidade, que normalmente é menor nos agregados reciclados, devido à sua alta porosidade; e a absorção de água, que é a diferença mais marcante entre os dois materiais, em se tratando de propriedades físicas.

2.3 PAVIMENTOS INTERTRAVADOS

No Dossiê Técnico (SENAI, 2007), este conceitua os pavimentos intertravados como pavimentos de blocos de concreto pré-fabricados, assentados sobre colchão de areia, travados por contenção lateral e por atrito entre as peças. A pavimentação com revestimento em blocos de concreto pré-moldados constitui-se em alternativa estrutural de pavimento de modelo flexível. Em relação ao sistema precursor, com blocos de pedra de cantaria, se apresenta como uma solução evoluída e inovadora, no que se referem às formas, cores, durabilidade.

Segundo Senço (1997), o pavimento é a estrutura sobre a terraplenagem e é destinada economicamente e tecnicamente para:

- a) resistir e distribuir os esforços verticais oriundos do tráfego;
- b) melhorar as condições de rolamento quanto ao conforto e segurança;
- c) resistir aos esforços horizontais (desgaste), tornando mais durável a superfície de rolamento.

Para Hallack (1998), a camada de rolamento do pavimento intertravado é formada por pavers que compõem um revestimento de grande durabilidade e resistência, assentados sobre uma camada delgada de areia. Este revestimento deve ser capaz de suportar as cargas e as tensões provocadas pelo tráfego protegendo a camada de base do desgaste por abrasão e à mantendo com baixos níveis de

umidade, permitindo melhor estabilidade do material constituinte.

Os pavers têm conquistado espaço nos pavimentos urbanos do país, com o aumento de sua produção incentivada por empresas do ramo, mediante a argumentação das vantagens técnicas que o sistema oferece. Dentre as vantagens, destacam-se a facilidade de assentamento, a liberação para o tráfego rapidamente, a acessibilidade às redes subterrâneas e a praticidade na manutenção (AMADEI, 2011).

Um pavimento de concreto pré-moldado pode ter até 25 anos de vida útil, desde que alguns requisitos mínimos sejam atendidos, como uma sub-base bem executada, blocos de qualidade e assentamento adequado (FIORITI, 2007).

Conforme Amadei (2011), diversos fatores durante a fabricação podem interferir na qualidade dos blocos de concreto, como o tipo de máquinas e equipamentos, os materiais utilizados, a dosagem destes, e assim por diante. Hood (2006) explica que conhecer as propriedades requeridas, os materiais constituintes, a execução da dosagem e o processo de produção é essencial para obter êxito.

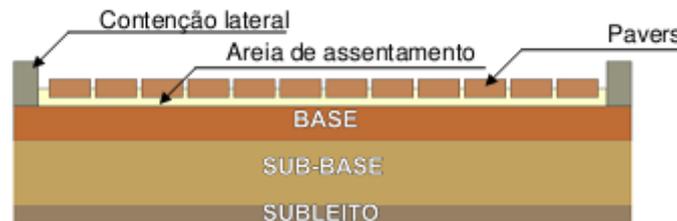
Não apenas pelas vantagens técnicas que o bloco intertravado oferece, mas este material tem se consolidado no mercado também pela sua eficiência ambiental. Além de abrir a possibilidade de usar um resíduo na sua composição, o bloco, é semi-permeável, o que pode contribuir sobremaneira na drenagem urbana. Considerando ainda os aspectos estéticos, atualmente é possível encontrar uma gama de modelos, tamanhos e cores de blocos. A partir da década de 90, o paver, que era até então comum na Europa, passa a ser amplamente utilizado no Brasil, tanto em vias, quanto em calçamentos (AMADEI, 2011).

2.3.1 Assentamento dos Pavers

Segundo Hallack (1998) a pavimentação é composta por uma camada de blocos que constituem um revestimento de durabilidade e resistência, assentados sobre uma camada de areia. A camada superior deve suportar as cargas e tensões geradas pelo tráfego, de modo a proteger a camada inferior do desgaste por abrasão, buscando a melhor estabilidade possível.

A Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) expõe a estrutura final do pavimento intertravado da seguinte forma:

Figura 1 - Elementos do Pavimento Intertravado



Fonte: ABCP (2001).

Conforme mostra a Figura 01, existem quatro camadas para assentar os pavers. O subleito é a camada do terreno com terraplanagem já executada sobre qual será realizada a pavimentação, devendo estar regularizado e compactado na cota do projeto. É imprescindível uma prévia avaliação topográfica do local e, ao fim do preparo desta camada, propiciar uma plataforma de trabalho firme o suficiente para receber as camadas superiores (AMADEI, 2011).

A sub-base pode ser de solo-brita ou granular, atingindo a espessura da camada previamente determinada em projeto para suportar o tráfego previsto. Já a base é a camada estrutural que deve proteger o subleito das cargas externas, recebendo as tensões oriundas das camadas de revestimento de forma a evitar deformações (CRUZ, 2003).

Acima da base está a camada de assentamento, responsável por proporcionar uma superfície regular que acomode os blocos e suas eventuais dilatações. Em geral, o material utilizado é a areia com disponibilidade mais próxima, mas deve ser analisada se esta não virá a comprometer a função estrutural do pavimento. Carvalho (1998) ressalta que tal camada deverá ter, no máximo, 5% de silte e argila, bem como até 5% do material retido na peneira de malha 4,8 mm.

A última camada é composta pelos pavers, sendo assentados os blocos, realizado o acabamento das bordas da pavimentação e, por fim, realizada a vibração na área pronta (FIORITI, 2007).

As juntas não devem ultrapassar 5 mm, sendo recomendado, por Carvalho (1998), oscilarem entre 2 e 3 mm. Para o acabamento ou interrupções do pavimento, utiliza-se blocos serrados.

No Brasil, o assentamento é dado por um processo manual (Figura 02), mas em países que utilizam esse sistema há mais tempo, já são empregados equipamentos automatizados na execução (Figura 03).

Figura 2 - Assentamento Manual dos Blocos



Fonte: ABCP (2001).

Figura 3 - Assentamento Mecânico dos Blocos



Fonte: ABCP (2001).

2.3.2 Intertravamento dos Pavers

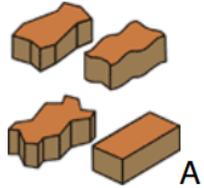
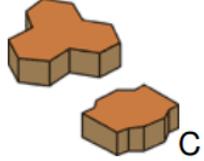
O pavimento intertravado possui quatro tipos de intertravamento (horizontal, vertical, rotacional e de giração), que atuam simultaneamente ao longo de sua vida de serviço. Para alcançar o travamento adequado, indispensável ao seu desempenho, os pavers necessitam de algum tipo de contenção lateral, comumente meios-fios. Um bom travamento confere aos pavers a capacidade de transmitir as cargas superficiais aplicadas em pequenas áreas, para áreas mais extensas nas camadas de base, mantendo as tensões no subleito dentro de limites admissíveis (SHACKEL, 1990 apud FIORITI, 2007; HALLACK, 1998). A seguir são descritos os tipos de intertravamentos:

a) INTERTRAVAMENTO HORIZONTAL

O intertravamento horizontal é a capacidade de um paver de não se deslocar horizontalmente em relação aos pavers vizinhos, em qualquer tipo de arranjo de assentamento (KNAPTON, 1996).

Os Pavers com Intertravamento horizontal são os mais utilizados atualmente, e possibilitam um sistema de assentamento bem simplificado. Hallack (2001) classifica os Pavers com Intertravamento horizontal em três classes, nesta classificação, os Pavers da classe “A” são os que apresentam um melhor Intertravamento das peças em razão de se entrelaçarem entre si nos quatros lados; os Pavers da classe “B” apresentam Intertravamento inferior à classe anterior em razão de se entrelaçarem entre si em somente dois lados; e os pavers da classe “C” são os de maiores dimensões e são assentados sempre no mesmo padrão. A Figura 04 apresenta essa classificação.

Figura 4 - Formatos típicos dos pavers com intertravamento horizontal

 <p style="text-align: right;">A</p>	<p>Peças de concreto segmentadas ou retangulares, com relação comprimento/largura igual a dois (usualmente 200 mm de comprimento por 100 mm de largura), que entrelaçam entre si nos quatro lados, capazes de serem assentadas em fileiras ou em espinha-de-peixe. Podem ser carregadas facilmente com apenas uma mão.</p>
 <p style="text-align: right;">B</p>	<p>Peças com tamanhos e proporções similares aos da categoria anterior, mas que entrelaçam entre si somente em dois lados, e que só podem ser assentadas em fileiras. Podem ser carregadas com apenas uma mão e genericamente têm o formato "I".</p>
 <p style="text-align: right;">C</p>	<p>Peças de concreto com tamanhos maiores do que as duas categorias anteriores. Pelo seu peso e tamanho não podem ser carregadas com apenas uma mão. Têm formatos geométricos característicos (trapézios, hexágonos, triedros etc.). São assentadas seguindo-se sempre um mesmo padrão, que nem sempre conforma fileiras facilmente identificáveis.</p>

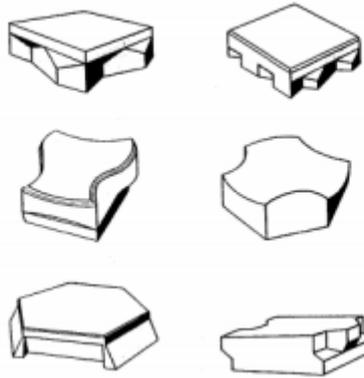
Fonte: Hallack (2001).

b) INTERTRAVAMENTO VERTICAL

O intertravamento vertical é definido como sendo a capacidade de cada paver de não se mover no sentido vertical em relação aos pavers vizinhos. É conseguido através de esforços de cisalhamento absorvidos pelo rejuntamento de areia entre os pavers e a capacidade estrutural das camadas inferiores do pavimento (KNAPTON, 1996).

Shackel (1990) apud Fioriti (2007) relatou que este tipo de paver tem uma geometria complexa, sendo mais difíceis de executar e dispendiosos em relação aos pavers com Intertravamento horizontal. Geralmente suas dimensões são grandes, e seu manuseio necessita das duas mãos. A Figura 05 apresenta alguns modelos deste tipo.

Figura 5 - Exemplos de pavers de intertravamento vertical



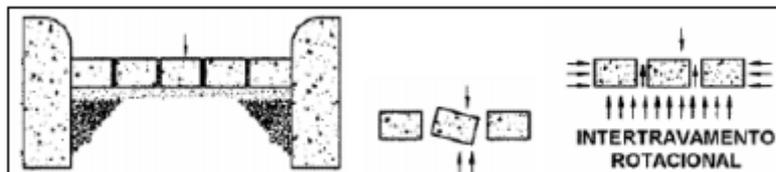
Fonte: Fioriti (2007).

c) INTERTRAVAMENTO ROTACIONAL

Knapton (1996) descreve o intertravamento rotacional como sendo a capacidade do paver de não girar em seu próprio eixo em qualquer direção. É conseguido pela espessura das juntas entre os pavers e consequente confinamento oferecido pelos pavers vizinhos.

Geralmente este fenômeno é provocado pelo tipo e frequência do tráfego, principalmente nas áreas de frenagem, aceleração e tensões radiais dos pneus, além de regiões de confinamento lateral duvidoso. Assim, sua ocorrência depende, principalmente, da natureza das juntas entre os pavers, isto é, da sua largura, do tipo de areia utilizada e do rejuntamento (CRUZ, 2003). A Figura 06 apresenta esquematicamente o intertravamento rotacional.

Figura 6 - Intertravamento Rotacional



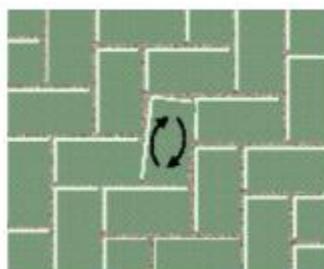
Fonte: Muller (2005).

d) INTERTRAVAMENTO GIRATÓRIO

É a capacidade que os pavers adquirem de não girarem em torno de seu próprio eixo horizontal, isto é, eventualmente, uma ou mais peças poderão girar, ainda que mantendo a planicidade da superfície do pavimento (HALLACK, 1998).

Conforme Muller (2005), este fenômeno é da rara ocorrência e pode ser evitado com um bom confinamento lateral da camada e das peças pré-moldadas, construindo-se as juntas entre as peças com larguras adequadas (2,5 – 3mm) e mantendo-as preenchidas com material de rejuntamento, como ilustra a Figura 07.

Figura 7 - Movimento de rotação dos pavers



Fonte: Hallack (1998).

2.3.3 Propriedades Requeridas

O concreto utilizado na produção dos blocos de concreto possui várias particularidades que o difere, em muito, do concreto plástico de uso consagrado na construção civil. Possivelmente, essas diferenças de comportamentos são responsáveis pelo empirismo que se observa no estabelecimento de traços de concreto para blocos por parte de um número considerável de produtores (TANGO, 1984 apud HOOD, 2006).

a) ESTADO FRESCO

As propriedades do concreto requeridas para blocos no estado fresco estão

relacionadas ao manuseio durante a produção, a trabalhabilidade da mistura e o acabamento. Neste sentido, tem importância, dentre outros fatores, as características do molde (dimensões e geometria), a energia de adensamento e o processo de desmoldagem e manuseio (SOUZA, 2001).

Segundo Tango (1984) apud Hood (2006), a consistência necessária ao concreto para blocos está relacionada ao fato de que a desmoldagem se faz com os blocos ainda no estado fresco. É necessário que o concreto, sob essas condições, apresente características que determinem a facilidade de moldagem no equipamento e o manuseio após desforma. A consistência requerida, ou consistência de moldagem, varia em função do equipamento utilizado.

b) ESTADO ENDURECIDO

Os blocos para pavimentação necessitam de características que correspondam as solicitações de serviço, principalmente ao trânsito de veículos e pedestres, que submetem o pavimento a esforços, tanto no sentido de comprimí-los quanto causando o desgaste superficial das peças. Além destes, também há a questão da absorção de água, que pode causar o surgimento de eflorescências que prejudiquem o aspecto visual e diminuam a vida útil do pavimento do ponto de vista estético. Neste sentido, além das características de ordem técnica, também há a necessidade dos blocos possuírem um bom acabamento visual, conforme necessidades de mercado (HOOD, 2006).

2.4 RCD EM BLOCOS DE CONCRETO PARA PAVIMENTAÇÃO

A utilização de resíduos industriais em concretos, como se apresenta, não é um fato novo, e pode contribuir não só para a redução da extração e consumo de matérias-primas naturais, mas também para a redução da disposição de outras indústrias (ou do próprio setor) em aterros. Todavia, os trabalhos específicos em blocos de concreto ainda são muito incipientes, quando comparados à estudos em concretos convencionais (PAGNUSSAT, 2004).

Salas et al. (1987), apud Pagnussat (2004), consideram que alguns pré-requisitos devem ser estabelecidos quando da utilização de resíduos em blocos de concreto, entre os quais se pode destacar:

- a) Trabalhabilidade adequada, sem que haja alteração de propriedades mecânicas;
- b) Tecnologia envolvida para implementação efetiva do produto deve ser facilmente assimilada;
- c) Mínimo investimento em equipamentos (adicionais para produção).

Vargas (2002) estudou a viabilidade da utilização de pó de aciaria elétrica em blocos de pavimentação, o que permitiu o encapsulamento de metais pesados em uma matriz rígida de concreto, gerando um grande benefício ambiental. Seu estudo consistiu na moldagem de blocos com teores de pó de aciaria que variam de 5% a 25%. As análises de ensaios de resistência mecânica à compressão e de desgaste por abrasão acabaram por indicar o teor de 15% sendo o mais viável.

Watanabe et al. (2002) estudaram o uso de areia de fundição em blocos de concreto para pavimentação, alcançando resultados satisfatórios com até 25% de substituição da areia natural frente às questões de resistência mecânica à compressão.

Blocos de concreto também podem incorporar resíduos da própria indústria da construção. Souza (2001) e Ponn et al. (2002) estudaram a utilização de resíduos de construção e demolição como agregado reciclado. Ponn et al. (2002) citam que as desvantagens do uso de agregados reciclados em concreto estruturais, quanto à questão de absorção de água e a consequente perda da trabalhabilidade não se refletem nas misturas de concretos para blocos. Os testes realizados verificaram que a substituição de agregados graúdo e miúdo por agregados reciclados, em níveis de 25 a 50% não afetaram significativamente a resistência dos blocos. Entretanto, teores mais elevados de agregados reciclados reduziram a resistência à compressão.

Ao estudar blocos de pavimentação, substituindo agregados reciclados por resíduos de cerâmica, Poon et al. (2002) determinaram que, apesar do resíduo do tijolo cerâmico prejudicar algumas qualidades do concreto, os blocos com substituição

de até 50% atendem os requisitos estabelecidos pelas normas vigentes locais.

Segundo Ponn et al. (2002), o emprego do RCD como insumo na confecção dos blocos de concreto para pavimentação possui a vantagem de que em sua fabricação são usadas máquinas de moldagens mecanizadas, ou seja, os materiais misturados passam por um processo combinado de vibração e compactação, que vai refletir diretamente na qualidade do produto final.

Alguns pré-requisitos devem ser estabelecidos para o emprego de resíduos em blocos de concreto, como trabalhabilidade adequada, sem alterar as propriedades mecânicas; tecnologia envolvida de fácil assimilação; e investimento mínimo (PAGNUSSAT, 2004).

As pesquisas têm demonstrado a viabilidade da produção de blocos pré-moldados com agregados reciclados, mas ainda há uma necessidade de compreender alguns fatores a fim de otimizar a produção. Fatores como o agregado com argamassa aderida (o que interfere na relação água/cimento) e o tipo e a qualidade do agregado vão afetar diretamente nas propriedades mecânicas dos blocos de concreto (POON; LAM, 2008).

Por fim, nos últimos anos no Brasil, Simieli et al. (2007) realizaram testes em pavimentos de blocos intertravados de concretos produzidos com 40% de agregados reciclados miúdos, isto é, com substituição parcial da areia, concluindo que os resultados foram satisfatórios tanto em termos de resistência mecânica, quanto em módulo de elasticidade.

CAPÍTULO 3

MATERIAIS E MÉTODOS

Tendo em vista os objetivos estabelecidos, foi desenvolvida a metodologia de pesquisa definindo-se toda sequência de ensaios para realização deste trabalho, a qual é apresentada no presente capítulo.

O estudo experimental foi dividido em duas partes, onde a parte experimental, realização dos ensaios de caracterização e dosagem, teve sua realização nas dependências do laboratório da Engenharia Civil da UNIPAMPA, campus Alegrete. Os ensaios mecânicos foram realizados no Laboratório de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Maria.

Quanto ao procedimento experimental, este foi dividido em quatro etapas de trabalho:

1. Produção dos agregados reciclados;
2. Caracterização dos agregados;
3. Ensaios do concreto no estado fresco;
4. Ensaios do concreto no estado endurecido.

3.1 MATERIAIS

3.1.1 Cimento

O cimento Portland que foi utilizado para a produção de pavers atendeu as especificações das normas brasileiras com relação aos limites mínimos de qualidade.

Para a produção dos concretos foi utilizado o cimento Portland Pozolânico CP IV, produzido pela empresa CIMPOR - Cimento. A escolha deste tipo de cimento foi

devido ao fato de que na região existe a facilidade de se obter no comércio local, qualquer outro tipo de cimento, por exemplo, cimento Portland CP V, CP III ou até mesmo o tipo CP II, encontra-se somente sob encomenda. Por isso, grande parte das obras na cidade de Alegrete/RS utiliza este tipo de cimento Portland. A Tabela 01 demonstra as características desse cimento fornecidas pela Empresa CIMPOR.

Tabela 1 - Composição Química, Física e Mecânica do Cimento.

Propriedades químicas do CP IV-32		
Composição química do cimento	Resultados (%)	
Dióxido de silício (SiO ₂)	36,84	
Óxido de cálcio total (CaO)	62,27	
Óxido de alumínio (Al ₂ O ₃)	12,91	
Óxido de ferro (Fe ₂ O ₃)	3,37	
Óxido de magnésio (MgO)	4,39	
Trióxido de enxofre (SO ₃)	2,18	
Óxido de cálcio livre (CaO)	2,71	
Silicato dicálcico (C ₂ S)	8,58	
Silicato tricálcico (C ₃ S)	66,63	
Aluminato tricálcico (C ₃ A)	6,02	
Ferroaluminato tetracálcico (C ₄ AF)	8,32	
Perda ao fogo	2,86	
Resíduos insolúveis	38,26	
Adição – cinza volante	31,1	
Propriedades físicas e mecânicas do CP IV-32		
Expansibilidade a quente (mm)	0,5	
Tempo de pega (min)	Início	269
	Fim	-
Blaine (cm ² /g)	5000	
# 325 (%)	1,9	
Massa Específica (g/cm ³)	2,720	
Resistência à compressão (MPa)	3 dias	18,40
	7 dias	22,70
	28 dias	33,40

Fonte: Cimpor (2012).

3.1.2 Água de amassamento

A água que foi utilizada para a mistura é proveniente da rede de distribuição de água potável da cidade de Alegrete/RS.

3.1.3 Agregados Naturais

Escolher o tipo correto de granulometria dos agregados é fundamental para a obtenção de pavers de qualidade, influenciando a compacidade e até mesmo na textura final das peças produzidas (SHACKEL, 1990).

Nesse sentido, a areia natural e o pedrisco utilizados na pesquisa são de origem quartzosa. A areia é proveniente do município de Manoel Viana e o pedrisco é proveniente do município de Alegrete, ambos beneficiados pela empresa Pedra Rosada (Alegrete/RS).

3.1.4 Agregado Artificial

Inicialmente foram coletados os materiais de construção e demolição em várias obras em andamento no município de Alegrete/RS. Foram classificados apenas os RCDs com cor predominantemente vermelho, ou seja, aqueles provenientes de entulhos de restos de tijolos cerâmicos e telhas.

Após a seleção desse resíduo, o mesmo passou por uma sequência de fragmentação, primeiramente sendo triturado em um britador de mandíbulas da marca Pavitest (Figura 08 a), diminuindo sua dimensão de modo que ficassem no formato de pequenos “cacos” com granulometria de diâmetro próximo ao da brita 01, (Figura 09). Posteriormente, as amostras foram secas em estufa a +/- 105°, até a constância da massa.

Na sequência, este material foi colocado em uma máquina de Abrasão Los Angeles, da marca Pavitest, programado para executar 10800 giros, cerca de 3 horas, realizando-se deste modo a moagem dos “cacos” de resíduo para se obter a granulometria média de uma areia fina, através de choques e desgastes do material com o tambor e as bolas de aço, conforme mostrado na Figura 08 (b).

Figura 8 - Equipamentos utilizados para o beneficiamento do RCD

(b) Britador de mandíbulas



Fonte: Próprio autor.

(a) Abrasão Los Angeles



Fonte: Próprio autor.

Figura 9 - RCD Britado



Fonte: Próprio autor.

A correta moagem deste material se deu até alcançar a granulometria desejada pela utilização de um moinho de bolas, no entanto, como a UNIPAMPA não possui tal equipamento, este foi substituído pela máquina de abrasão Los Angeles.

O material resultante da moagem na máquina de abrasão passou ainda por um peneiramento em peneira ABNT 30 (abertura de malha de 0,6mm), convertendo-o no material final a ser utilizado nos ensaios. (Figura 10).

Figura 10 - RCD Moido



Fonte: Próprio autor.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS

Foram realizados ensaios de caracterização dos agregados de resíduo e naturais, obtendo-se resultados de massa unitária, volume de vazios, massa específica, massa específica aparente, absorção e granulometria dos agregados. Por agregados miúdos considerou-se tanto a areia natural quanto a areia reciclada.

3.2.1 Composição granulométrica dos agregados

Este ensaio foi realizado seguindo as recomendações da norma NBR NM 248 (ABNT, 2003) e teve por objetivos a determinação da composição granulométrica dos agregados miúdos e graúdo para concreto.

Para os agregados miúdos as peneiras sucessivas utilizadas para o ensaio seguiram a ordem da série normal, contudo fora adicionada a peneira ABNT 200, abertura da malha de 0,075mm, devido a grande quantidade de material fino no RCD.

Em sequência, as amostras foram colocadas em estufa, temperatura no intervalo de 110 +/- 5°C, até apresentarem massa constante e em seguida quarteadas até resultarem em três amostras de 500g aproximadamente.

Com o conjunto de peneiras previamente montado, iniciou-se o ensaio com agitação inicialmente mecânica e, posteriormente, agitação manual em cada peneira

do conjunto.

O material retido em cada peneira era removido e pesado para, em seguida, efetuar os cálculos da determinação na porcentagem média retida em cada peneira, a porcentagem acumulada, a dimensão máxima do agregado, o modulo de finura do agregado e assim obter a curva granulométrica.

Para o agregado graúdo foi realizado o mesmo ensaio, descrito acima, mudando somente o conjunto de peneiras. A Figura 11 ilustra as peneiras que foram utilizadas nesse ensaio.

Figura 11 - Conjunto de Peneiras Serie Normal



Fonte: Próprio autor.

3.2.2 Determinação da absorção, massa específica do agregado graúdo

Este ensaio foi realizado seguindo-se as recomendações da norma NBR NM 53 (ABNT, 2009) e teve por objetivos a determinação da absorção e massa específica do agregado graúdo.

Neste ensaio foi coletada a amostra seguindo o procedimento estabelecido na NM 26 (ABNT, 2009) e reduzido de acordo com a NM 27 (ABNT, 2001).

Após realizar os procedimentos anteriores, o pedrisco foi lavado, para remover o pó ou outro material aderido à superfície. O mesmo foi seco em estufa a uma temperatura de 105 ± 5 °C até apresentar massa constante. Para o ensaio foi

separado uma amostra de 2kg, seguindo os critérios da tabela 1 da norma NM 53 (ABNT, 2009), o mesmo foi colocado em submersão de água por um período de 24 horas. Posteriormente, a amostra de pedrisco foi retirada da água e com um pano absorvente foi secada a superfície e pesada na condição agregado saturado com superfície seca. Novamente a amostra foi submersa em água mantida a 23°C e pesada na condição de massa em água, em balança hidrostática. Depois, a amostra de pedrisco foi levada a uma estufa para sua secagem na temperatura de 105°C, até sua constância de massa, e pesada. A Figura 12 ilustra a balança hidrostática utilizada em uma etapa desse ensaio.

Figura 12 - Balança Hidrostática



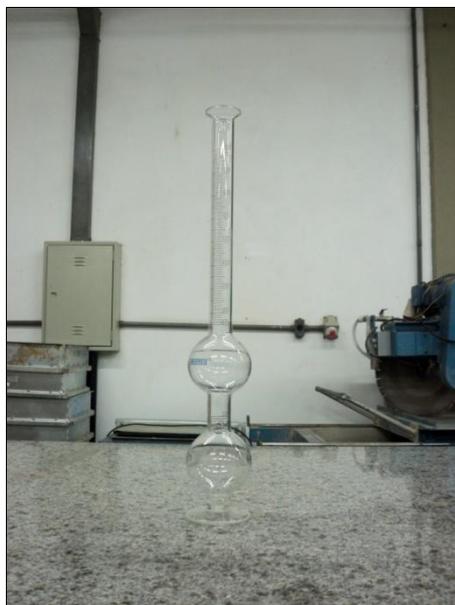
Fonte: Próprio autor.

3.2.3 Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapman

Este ensaio foi realizado seguindo-se as recomendações da antiga norma NBR 9776 (ABNT, 1987), devido não ter no laboratório da UNIPAMPA os aparelhos necessários para realizar pela norma vigente, a NBR NM 52 (ABNT, 2009). Este ensaio tem por objetivo a determinação da massa específica do agregado miúdo e do RCD vermelho pelo frasco de Chapman. A realização desse ensaio consiste em separar as amostras de agregado miúdo natural e artificial, cerca de 500 gramas, e colocar no

frasco prescrito pela norma, que é composto de dois bulbos e de um gargalo graduado (Figura 13).

Figura 13 - Frasco de Chapman



Fonte: Próprio autor.

O frasco deve ser previamente preenchido com 200 cm³ água e ficar em repouso, para que a água aderida as faces internas escorram totalmente. Em seguida, é introduzido o agregado miúdo, o qual deve ser agitado para eliminação das bolhas de ar.

Após este procedimento, é feita a leitura do nível atingido pela água no gargalo do frasco, que indica o volume em cm³ ocupado pelo conjunto água-agregado miúdo.

3.2.4 Determinação da massa unitária dos agregados

Este ensaio, de acordo com a NBR NM 45 (ABNT, 2006) estabelece o método para a determinação da densidade a granel e o volume de vazios de agregados miúdos, grãos ou até mesmo a mistura dos dois, em estado compactado ou solto. Devido a falta do recipiente com as dimensões normalizadas, no laboratório da UNIPAMPA, adotou-se um recipiente cilíndrico com 7,56 dm³ (Figura 14).

Figura 14 - Recipiente Cilíndrico Utilizado



Fonte: Próprio autor.

A amostra foi separada de acordo com as normas NM 26 (ABNT, 2009) e NM 27 (ABNT, 2001), que deve ser constituída com aproximadamente 150% da quantidade de material requerido para encher o recipiente e deve ser manipulada de forma a evitar sua segregação.

Seguindo o procedimento C, da referida norma, determinou-se a massa do recipiente vazio. Depois, a uma altura de 50mm, foi despejado o agregado com uma pá, até o transborde.

Após o enchimento do recipiente, com o auxílio de uma régua acrílica se nivelou a superfície e, então, foi determinado a massa do agregado, em Kg.

3.3 PRODUÇÃO DOS BLOCOS INTERTRAVADOS

3.3.1 Processos de Produção

Há pelo menos três processos básicos para a produção de blocos de concreto. O mais utilizado atualmente, por permitir um ganho escalar significativo, é a partir do emprego de vibroprensas que podem ser manuais, pneumáticas ou hidráulicas.

O segundo processo mais utilizado, porém, com menor eficiência, é o processo dormido, em que o material é depositado em formas e permanece nelas pelo menos 24 horas. É mais lento, de menor produtividade, mas produz peças com melhor acabamento.

O terceiro processo, chamado de “concreto virado”, utiliza uma mistura tão ou mais seca do que a utilizada no processo de vibroprensagem e, logo após a sua moldagem, a mistura é desformada e depositada sobre uma superfície horizontal onde entra em processo de cura. Normalmente o acabamento é inferior e a produtividade é baixa.

Tendo em vista que não tem máquinas do tipo vibroprensa na UNIPAMPA, assim como na própria cidade de Alegrete, optou-se em tentar produzir blocos com resistências requeridas em norma, pelo processo dormido, adicionando a este o processo de vibração em mesa vibratória, disponível no Laboratório de Materiais da UNIPAMPA.

O adensamento ou vibração é de fundamental importância para o perfeito preenchimento das fôrmas, assim como para a eliminação de vazios no interior das peças concretadas provocados por aprisionamento de ar, melhorando no ponto de vista estético, dando bom acabamento, conforme necessidades do mercado. A eliminação desses vazios garante a continuidade das peças, implicando diretamente na sua resistência a compressão e também na capacidade de absorção de água, aspectos considerados principais em blocos de concreto.

3.3.2 Dosagem

No Brasil, grande parte dos fabricantes de blocos não dispõe de um método racional para a dosagem dos blocos de concreto, sendo esta indústria caracterizada por processos extremamente artesanais, baseadas em grande parte na experiência dos funcionários e em uma série de tentativas e erros. Esta prática, associada a meios inadequados de dosagem dos materiais, contribui para a adoção de elevados consumos de cimento, gerando perdas desnecessárias de recursos e de produtividade (TANGO, 1984).

Recena (2002) explica que, em geral, no concreto convencional, cuja classificação é feita a partir do valor de resistência à compressão, a grande variável a ser controlada é a relação água/cimento. No entanto, o próprio autor descreve que a

qualidade dos materiais empregados e a cultura de cada região interferem na qualidade do concreto.

O método de dosagem experimental recomendada pela ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland), baseia-se no método desenvolvido pelo ACI (American Concrete Institute) e foi adaptado às condições brasileiras, isto é, agregados que cumpram a norma NBR 7211 (ABNT, 2009). De acordo com este procedimento, o processo de dosagem exige que o tecnólogo do concreto tenha um amplo conhecimento não apenas relativos aos materiais disponíveis, mas também dos recursos existentes na obra, como, por exemplo: sistemas de mistura, transporte, lançamento e adensamento, condições de cura, resistência exigida, e risco de ataque químico ao concreto.

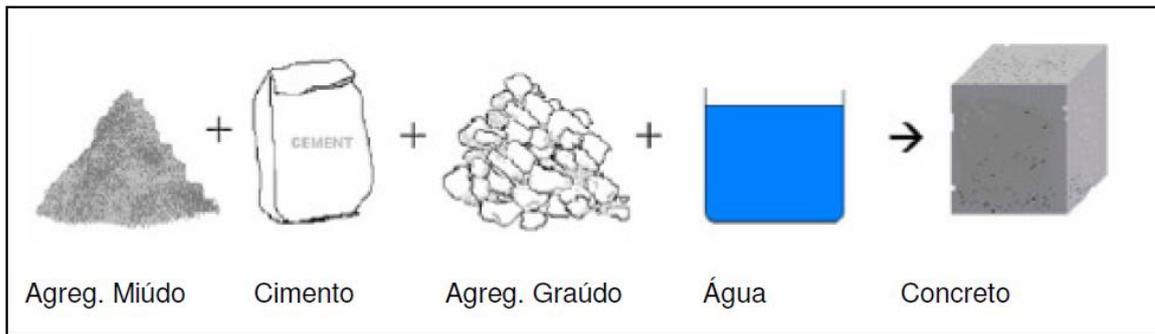
O fundamento do método ABCP é recomendado para a dosagem de concretos com trabalhabilidade adequada para a moldagem in loco, ou seja, a consistência deve ser de semi-plástica à fluida e não é aplicável à concretos confeccionados com agregados leves. Tal método fornece uma primeira aproximação as quantidades dos materiais constituintes devendo-se, obrigatoriamente, ser executada uma mistura experimental para verificar se as qualidades desejadas foram atingidas.

3.3.3 Confeção do blocos

Para melhorar as propriedades mecânicas, Tam et al. (2009) propuseram uma metodologia diferenciada de mistura, a qual adiciona água em duas etapas. Com a mesma água para hidratar a relação a/c, a mistura de pega e cura, o concreto com agregados reciclados vai exigir maior quantidade de água, quando comparado ao de agregados naturais.

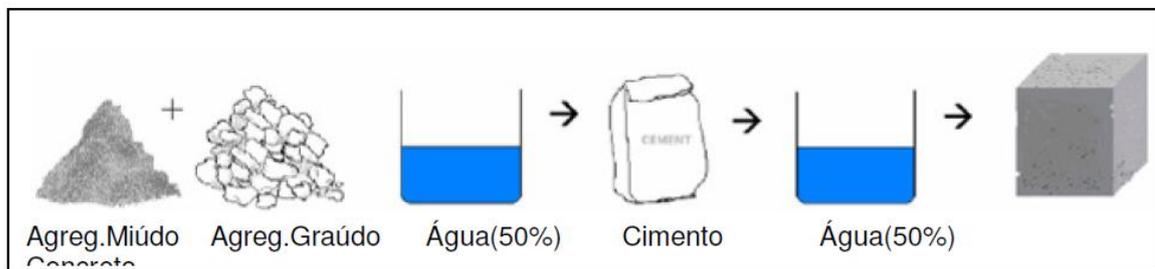
Se a adição de água acontece em duas etapas, conforme mostra a Figura 16, diferente de como é comumente realizado com uma única etapa (Figura 15), ocorre a melhor hidratação do cimento aderido ao agregado reciclado, levando a um ganho de resistência.

Figura 15 - Mistura em uma etapa



Fonte: TAM et al. (2009).

Figura 16 - Mistura em duas etapas



Fonte: TAM et al. (2009).

O concreto produzido para a confecção dos blocos foi executado em uma betoneira de eixo horizontal de 120 litros. Os blocos foram produzidos pelo processo dormido vibrado, em moldes plásticos e vibrados em mesa vibratória por cerca de 15 segundos. A Figura 17 mostra a betoneira utilizada, os moldes plásticos e a mesa vibratória.

Figura 17 - Betoneira, formas e mesa vibratória utilizadas



Fonte: Próprio autor.

Para a realização do programa experimental foram produzidos para cada traço 16 blocos, sendo 6 destinados a ensaios de resistência a compressão aos 14 dias e 6 aos 28 dias. E para a realização de ensaios de absorção, os 4 blocos restantes.

3.4 CONCRETO NO ESTADO FRESCO

3.4.1 Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone

O ensaio de abatimento do tronco de cone pode ser considerado como um índice qualitativo da estabilidade e da fluidez da mistura de concreto no estado fresco. Este ensaio, normalizado pela NBR NM 67 (ABNT, 1998), é um dos ensaios de maior aplicação para o controle da uniformidade da produção de concretos em todo mundo.

O ensaio consiste em preencher um molde estabelecido por norma, em três camadas, com cada camada sendo compactada com 25 golpes de uma haste de

socamento. Depois de preenchido e rasada a sua superfície, retira-se o molde cuidadosamente na direção vertical, com um movimento constante para cima, sem submeter o concreto a movimentos de torção lateral. Esta operação, incluindo medição e devolução do concreto deve ser realizada sem interrupções e não exceder um intervalo de 150 segundos. A Figura 18 mostra o resultado de uma amostra ensaiada, pronta para ser medida.

Figura 18 - Amostra ensaiada



Fonte: Próprio autor.

3.4.2 Determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico

A determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico é realizada conforme a NBR 9833 (ABNT, 2009). Esta norma visa determinar a massa específica do concreto pela relação entre a massa de concreto e o seu volume após adensamento, incluindo nesse volume o ar eventualmente retido ou propositalmente incorporado a ele. O teor de ar é calculado pela diferença entre o volume real de concreto (volume considerando ar) e o volume teórico (sem considerar o ar e calculado com base nas massas específicas dos componentes), expresso em

porcentagem do volume total.

O ensaio consiste em pesar uma determinada quantia de concreto, que foi colocado em três camadas de alturas iguais e lhe foi aplicado adensamento manual, em um recipiente de volume conhecido, estabelecido por norma. Finalizando o adensamento, o recipiente deve ser completado, rasado, limpo e, assim, determinado sua massa.

Com esses dados e com dados conhecidos anteriormente, como massa específica dos agregados miúdos e graúdos, calcula-se também o rendimento, o consumo real de cimento, o volume total dos componentes na betonada, o índice de ar e, finalmente, o teor de ar do concreto.

3.5 CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO

3.5.1 Determinação da resistência à compressão.

A determinação da resistência à compressão, realizada conforme a NBR 9780 (ABNT, 1987), é um importante parâmetro a ser considerado na produção de blocos para pavimentação. Neste caso, resistências satisfatórias em baixas idades são essenciais, devido a questão de desforma, cura, armazenamento e transporte ocorrerem de maneira acelerada.

O procedimento de ensaio seguiu as recomendações propostas da antiga NBR 9780 (ABNT, 1987), pois as concretagens foram executadas antes da data de vigor da nova NBR 9780 (ABNT, 2013). Por norma, os blocos foram capeados com argamassa de cimento e areia fina em um traço 1:1 e, após 24 horas de cura do capeamento, as peças foram imersas, também por 24 horas, de modo a apresentarem-se totalmente saturadas para o momento do ensaio.

Os blocos de concreto foram ensaiados em Santa Maria, no Laboratório de

Materiais de Construção Civil (LMCC) da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), pois a prensa hidráulica que temos no Laboratório de Materiais da UNIPAMPA está com a célula de carga estragada. No LMCC, realizou-se os ensaios em uma prensa Hidráulica, marca XXX, modelo XXX, com uma capacidade de XX a XX toneladas, sendo a velocidade de carregamento estabelecida por norma de 550 KPa/s, com variação de mais ou menos 200 KPa/s, até a ruptura dos blocos. Para realização do ensaio foram utilizadas placas auxiliares circulares, com diâmetro de 90mm, conforme Figura 19.

Figura 19 - Detalhe das placas Auxiliares



Fonte: Próprio autor.

Para obter a resistência à compressão dos blocos foi realizado uma análise da altura das peças. Esta altura, conforme a NBR 9780 (ABNT, 1987), é utilizada para determinar o fator “p” de multiplicação que evidencia a resistência à compressão dos blocos, conforme mostra a tabela 02.

Tabela 2 - Fator Multiplicativo da Resistência a Compressão

Altura Nominal da peça (mm)	Fator multiplicativo "p"
60	0,95
80	1,00
100	1,05

Fonte: NBR 9780 (ABNT, 1987, pg 02).

A análise das amostras evidenciou que a variação de altura dos blocos foi pequena, permanecendo na faixa de 84 à 89 mm de altura, adotando-se assim o fator "p" igual a 1,00.

3.5.2 Determinação da absorção de água, do teor de umidade e da área líquida.

O ensaio de absorção de água, realizado conforme a NBR 12118 (ABNT, 2011), indica o nível de porosidade de uma peça. Quanto menor a porosidade de uma peça, menor a quantidade de água que ela absorve, conseqüentemente, maiores poderão ser suas resistências mecânicas e suas características técnicas.

Este ensaio é realizado com o objetivo de analisar essa propriedade com as demais características dos pavers produzidos. Seu procedimento seguiu a NBR 12118 (ABNT, 2011), onde foram usados três amostras por dosagem, obedecendo a idade de norma de 28 dias. A figura 20 mostra os pavers em processo de secagem até constância de massa em estufa.

Figura 20 - Secagem em Estufa



Fonte: Próprio autor.

CAPÍTULO 4

ANÁLISES DOS RESULTADOS

Este capítulo tem por finalidade apresentar os resultados obtidos nos ensaios descritos no Capítulo 3, quanto à caracterização dos materiais utilizados, bem como o comportamento dos pavers, tanto no estado fresco, quanto no endurecido.

4.1. CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS

Realizaram-se ensaios de caracterização dos agregados de resíduos e naturais, obtendo-se resultados de massa unitária, volume de vazios, massa específica, granulometria, absorção e massa específica aparente dos agregados. Assim discriminados, na sequência.

4.1.1 Composição granulométrica dos agregados

O agregado reciclado analisado, RCD na cor vermelho, apresentou um módulo de finura inferior ao do agregado natural. Resultado que indica, portanto, um maior consumo de água para o agregado reciclado em relação ao consumo de água para a produção dos pavers. O agregado graúdo apresentou um módulo de finura 5,69, superior ao outros dois agregados, como já era esperado esse comportamento.

As Tabelas 03, 04 e 05 apresentam a composição granulométrica do RCD vermelho, da areia natural e do pedrisco, com seus respectivos diâmetros máximo e módulo de finura. O Gráfico 01 mostra a distribuição granulométrica dos agregados.

Tabela 3 – Granulometria RCD Vermelho

RCD VERMELHO					
Diâmetros Peneiras(mm)	Massa Retida(g)	Massa Acumulada(g)	% Retida em cada Peneira	% Retida Acumulada	% que passa em cada Peneira
75,000	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
37,500	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
19,000	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
9,500	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
6,300	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
4,750	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
2,360	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
1,180	8,60	8,60	1,72	1,72	98,28
0,600	67,80	76,40	13,56	15,28	84,72
0,300	78,20	154,60	15,64	30,92	69,08
0,150	137,80	292,40	27,56	58,48	41,52
0,075	136,60	429,00	27,32	85,80	14,20
0,000	71,00	500,00	14,20	100,00	0,00
Σ	500,00		100,00	MODULO DE FINURA:	1,06

Fonte: Próprio autor.

Tabela 4 - Granulometria Areia

AREIA					
Diâmetros Peneiras(mm)	Massa Retida(g)	Massa Acumulada(g)	% Retida em cada Peneira	% Retida Acumulada	% que passa em cada Peneira
75,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
37,50	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
19,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
9,50	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
6,30	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
4,75	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
2,36	1,00	1,00	0,20	0,20	99,80
1,18	4,00	5,00	0,80	1,00	99,00
0,60	14,00	19,00	2,80	3,80	96,20
0,30	183,80	202,80	36,76	40,56	59,44
0,15	290,10	492,90	58,02	98,58	1,42
0,00	7,10	500,00	1,42	100,00	0,00
Σ	500,00		100,00	MODULO DE FINURA:	1,44

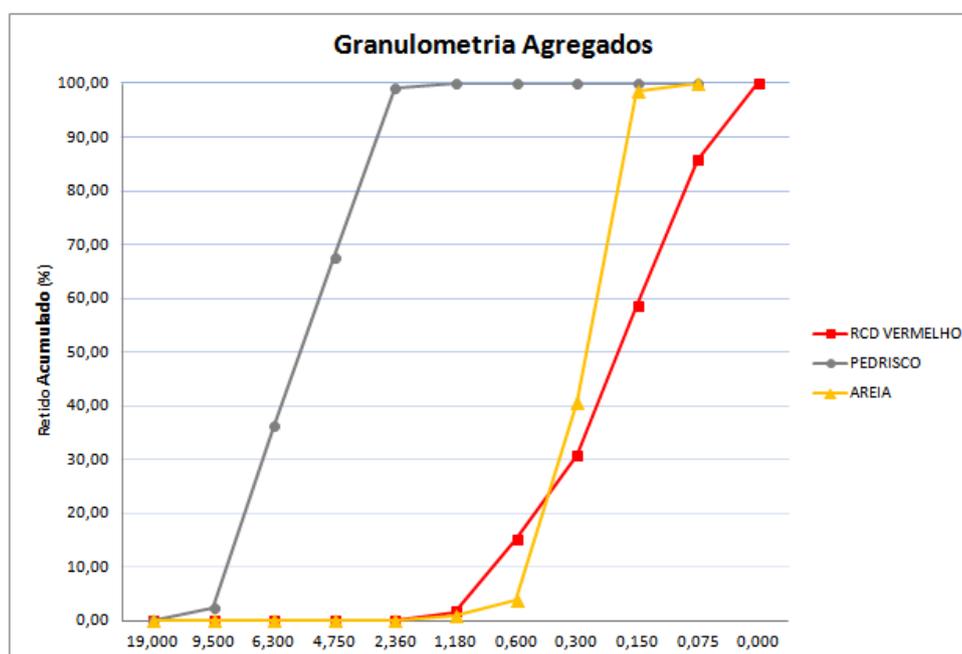
Fonte: Próprio autor.

Tabela 5 – Granulometria Pedrisco

PEDRISCO					
Diâmetros Peneiras(mm)	Massa Retida(g)	Massa Acumulada(g)	% Retida em cada Peneira	% Retida Acumulada	% que passa em cada Peneira
75,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
37,50	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
19,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
9,50	24,00	24,00	2,40	2,40	97,60
6,30	339,10	363,10	33,91	36,31	63,69
4,75	311,60	674,70	31,16	67,47	32,53
2,36	315,50	990,20	31,55	99,02	0,98
1,18	9,70	999,90	0,97	99,99	0,01
0,60	0,10	1000,00	0,01	100,00	0,00
0,30	0,00	1000,00	0,00	100,00	0,00
0,15	0,00	1000,00	0,00	100,00	0,00
0,00	0,00	1000,00	0,00	100,00	0,00
Σ	1000,00		100,00	MODULO DE FINURA:	5,69

Fonte: Próprio autor.

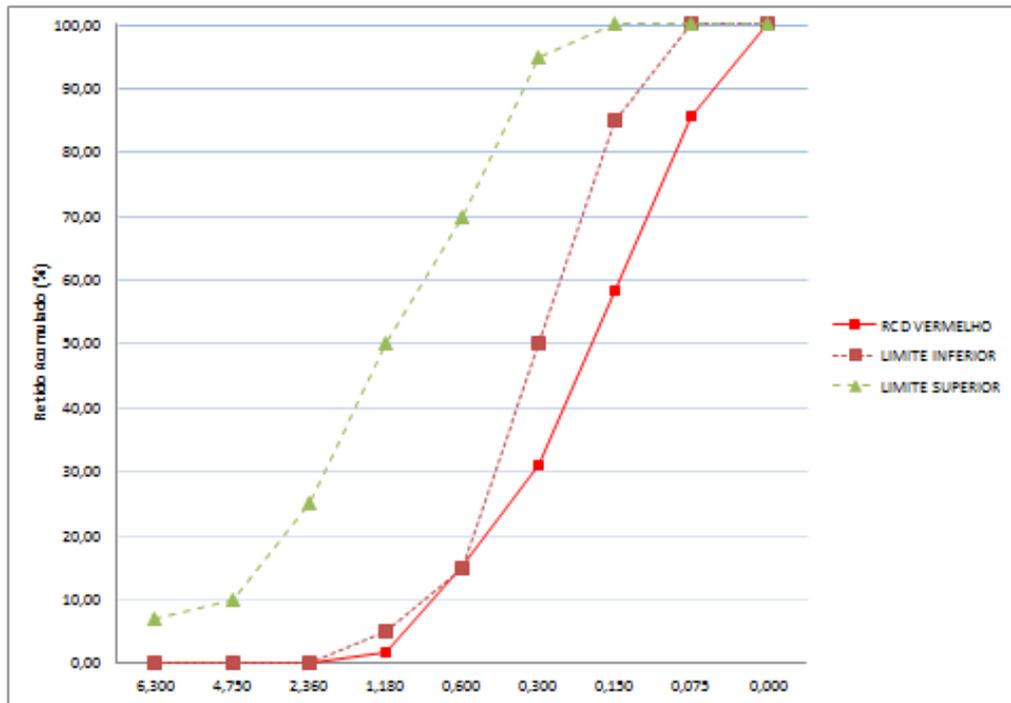
Gráfico 4 - Distribuição Granulométrica dos Agregados



Fonte: Próprio autor.

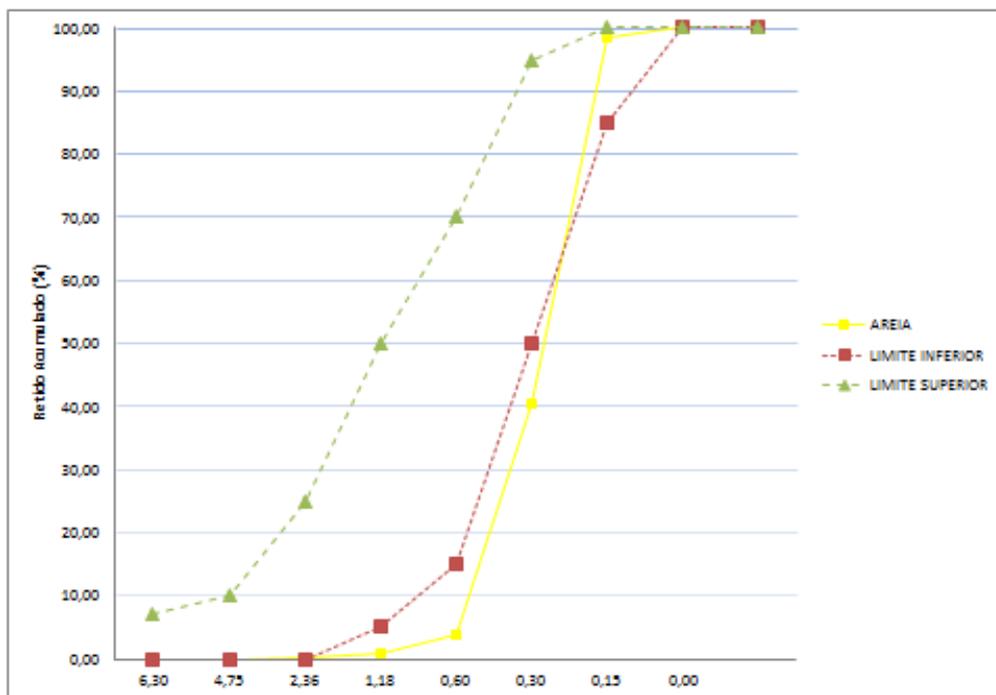
Os valores da composição granulométrica, obtidos nas Tabelas 03, 04 e 05, ou seja, granulometria do agregado RCD Vermelho, da areia natural e do pedrisco, para melhor visualização e entendimento dos resultados, foram comparados com os limites da zona utilizável, segundo recomendações da norma NBR 7211 (ABNT, 2009).

Gráfico 5 - Distribuição granulométrica dos RCD Vermelho comparada com os limites da zona utilizável



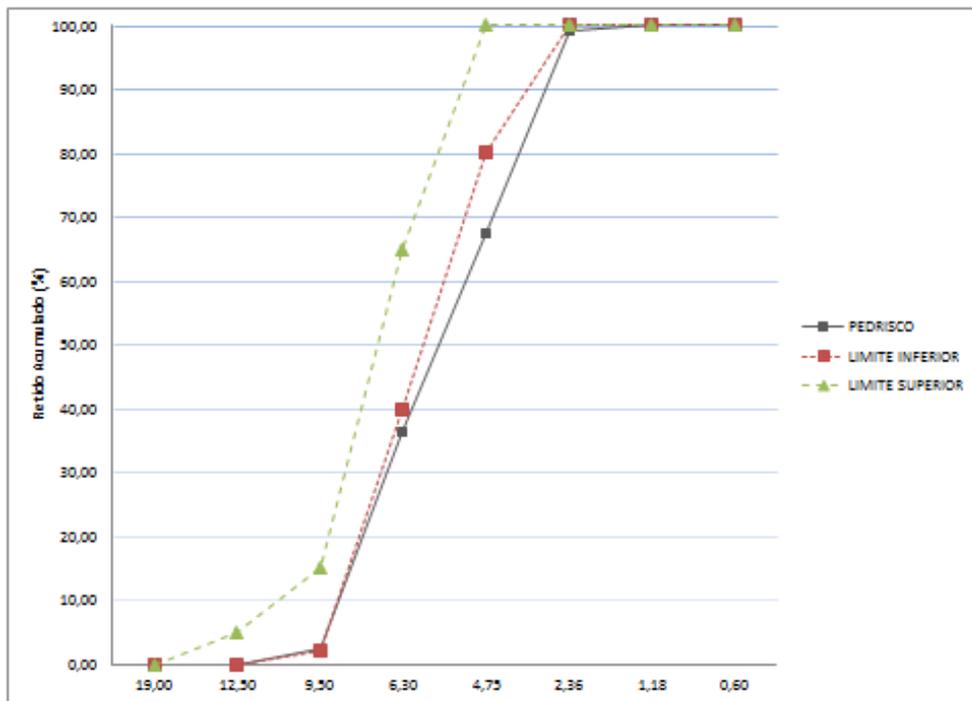
Fonte: Próprio autor.

Gráfico 6 - Distribuição granulométrica da Areia comparada com os limites da zona utilizável



Fonte: Próprio autor.

Gráfico 7 - Distribuição granulométrica da Areia comparada com os limites da zona utilizável



Fonte: Próprio autor.

Através da análise do Gráfico 5, pode-se notar que a distribuição granulométrica do RCD vermelho esteve totalmente fora dos limites recomendados pela norma, ficando abaixo da zona utilizável, caracterizando como um agregado muito fino.

No Gráfico 6 percebe-se que a areia também se caracteriza como um material muito fino e ficando abaixo da zona utilizável pela norma se enquadrando apenas a partir da peneira de número 30 mm.

Para o agregado graúdo (Gráfico 7) também teve o mesmo comportamento dos demais agregados, ficando muito próximo da zona inferior utilizável.

4.1.2 Determinação da massa específica do agregado graúdo

Esse pedrisco advém de uma pedreira da cidade de Alegrete, sendo produzido para o uso em concretos. Para o agregado graúdo foi determinada massa específica seguindo a NBR 53 (ABNT, 2009). A Tabela 06 demonstra os resultados de massa específica que foi de 2890 kg/m³.

Tabela 6 - Resultados de Massa Específica Agregado Graúdo

Agregado Graúdo Natural
Massa Específica (kg/m³)
2890

Fonte: Próprio autor.

4.1.3 Determinação massa específica do agregado miúdo

No que se diz respeito à massa específica para o agregado natural e o agregado reciclado, as amostras obtiveram resultados muito próximos (Tabelas 07 e 08).

Tabela 7 - Massa específica da Areia Natural

Agregado Miúdo Natural
Massa Específica (kg/m³)
2650

Fonte: Próprio autor.

Tabela 8 - Massa específica do RCD vermelho

Agregado Miúdo Reciclado
Massa Específica (kg/m³)
2450

Fonte: Próprio autor.

A areia natural comercializada pela empresa Pedra Rosada, em Alegrete/RS, advém do município de Manoel Viana, tendo como procedência da cava de rio. Esta

areia é classificada muito fina. É difícil obter areia grossa ou até mesmo areia com granulometria média em todo município de Alegrete/RS. Devido a este fato as duas areias, RCD e natural, tiveram suas massas relativamente muito parecidas.

4.1.4 Determinação da massa unitária

Para a determinação das massas unitárias utilizou-se o mesmo volume para os três agregados. Assim, os resultados de cada massa unitária estão apresentados nas Tabelas 09, 10 e 11.

Tabela 9 - Massa Unitária dos Agregados

Agregado Graúdo Natural
Massa Unitária (kg/m³)
1380

Fonte: Próprio autor.

Tabela 10 - Massa Unitária dos Agregados

Agregado Miúdo Natural
Massa Unitária (kg/m³)
1550

Fonte: Próprio autor.

Tabela 11 - Massa Unitária dos Agregados

Agregado Miúdo Reciclado
Massa Unitária (kg/m³)
1220

Fonte: Próprio autor.

O resultado da amostra do RCD vermelho ficou mais baixo do que o resultado da areia, isto devido ao RCD vermelho apresentar um volume de material bem maior, em uma mesma massa.

Segundo Santos (2008), em relação à massa unitária, os resultados mostram que os resíduos possuem massas unitárias maiores que a dos aglomerantes e menores que a do agregado miúdo. Diante disso, os resíduos podem contribuir para o preenchimento dos vazios presentes na ligação agregado/aglomerante.

O agregado graúdo possuiu o resultado de massa unitária como era o esperado, obtendo um valor de 1380 kg/m³.

4.2 CONCRETO NO ESTADO FRESCO

4.2.1 Determinação da consistência

Como descrito anteriormente, no capítulo 3, em metodologia, os diferentes traços estudados tiveram sua relação água/cimento de acordo com o índice de consistência padrão do concreto, ou seja, fixado em um valor compreendido entre (70±5)mm.

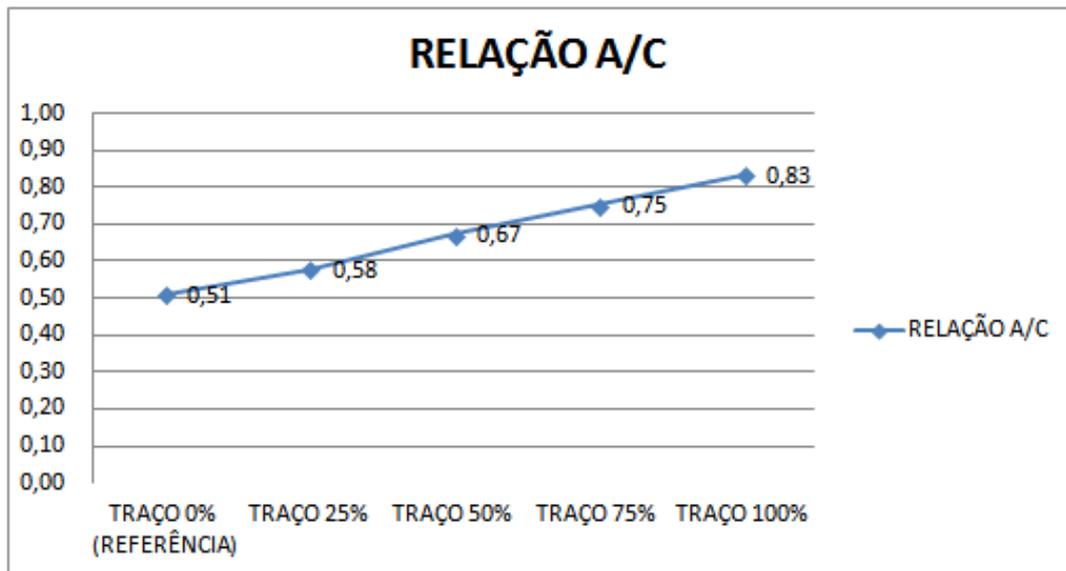
O Gráfico 08 apresenta os resultados da relação a/c obtida através das adições de água, pois fixou-se uma trabalhabilidade desejável, para os diferentes tipos de concretos e seus respectivos índices de consistência analisados.

As relações água/cimento para os concretos produzidos a partir do agregado reciclado podem ser consideradas elevadas em comparação com o concreto padrão.

Este fato deve-se ao alto índice de finos verificado para o RCD e confirma o que já era esperado.

Pode-se observar que a relação a/c vai aumentando, conforme o teor de material reciclado também aumenta. Isto se deve ao fato de que quanto maior a quantidade de resíduo, maior será o teor total de finos e consequentemente maior será sua absorção de água.

Gráfico 8 - Índice de Consistência dos Pavens



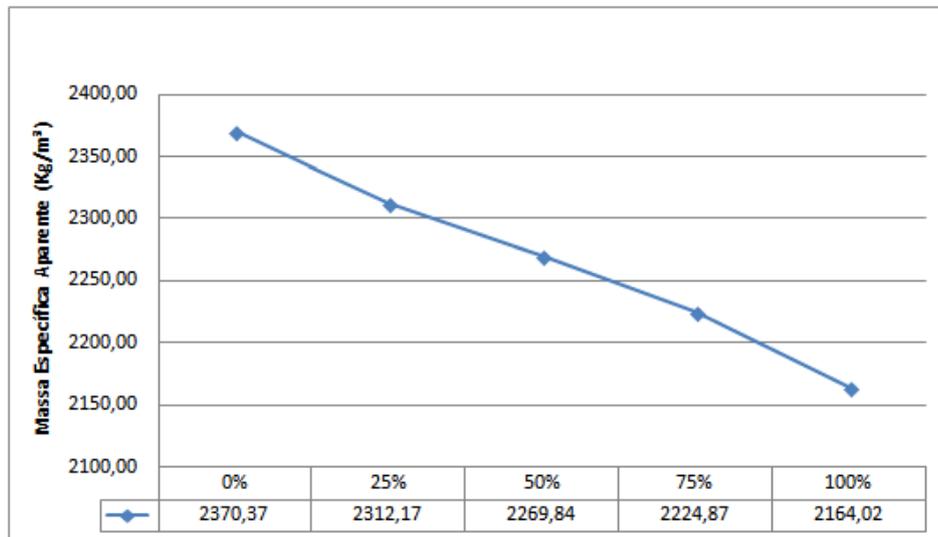
Fonte: Próprio autor.

4.2.2 Determinação da massa específica do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico

Para a análise da massa específica do concreto para o estado fresco (Gráfico 09) percebe-se que a medida que se aumentou o teor de substituição do agregado natural pelo reciclado se obteve uma massa específica menor.

Analisando o comportamento da curva obtida no Gráfico 09, observa-se que o resíduo RCD, por possuir uma massa específica menor que a massa específica da areia, obtem-se um concreto mais leve, na qual a curva descende linearmente com o acréscimo de RCD.

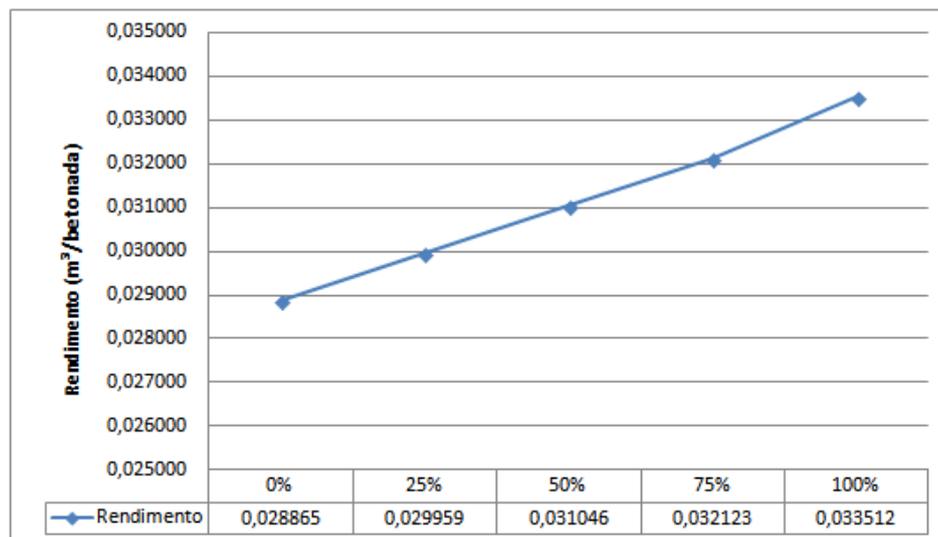
Gráfico 9 - Massa Especifica Aparente do Concreto Fresco



Fonte: Próprio autor.

Em função do rendimento, conforme Gráfico 10, pode-se perceber que à medida que se aumentou o teor de substituição, o rendimento aumentou linearmente.

Gráfico 10 - Rendimento do Concreto Fresco

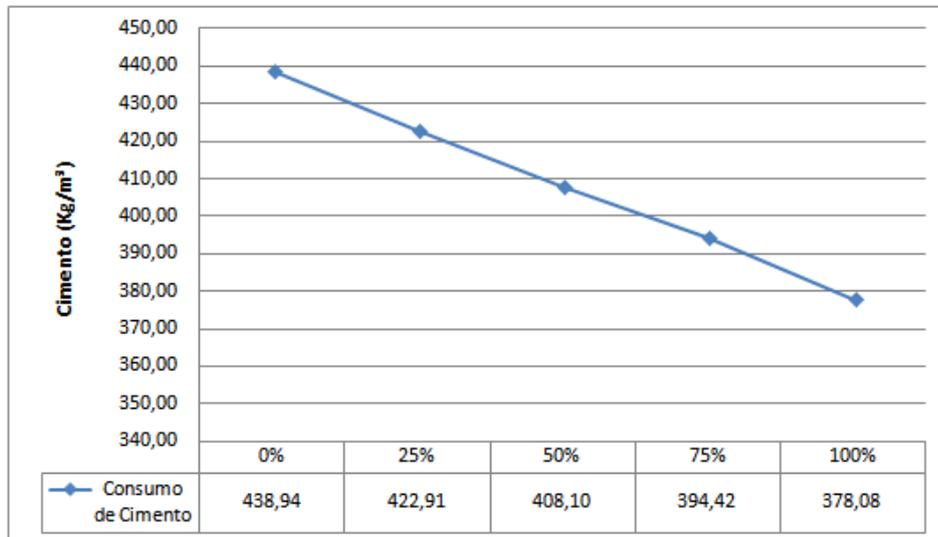


Fonte: Próprio autor.

Já para os resultados de consumo real de cimento (Gráfico 11), observou-se que a medida que foi acrescido as porcentagens de substituição, o consumo de cimento reduzia linearmente. Um comportamento esperado, que se explica ao fato de que ao mesmo tempo que se acrescia RCD em substituição, aumentava-se a quantidade de

água, aumentando a relação a/c, diminuindo assim o cimento.

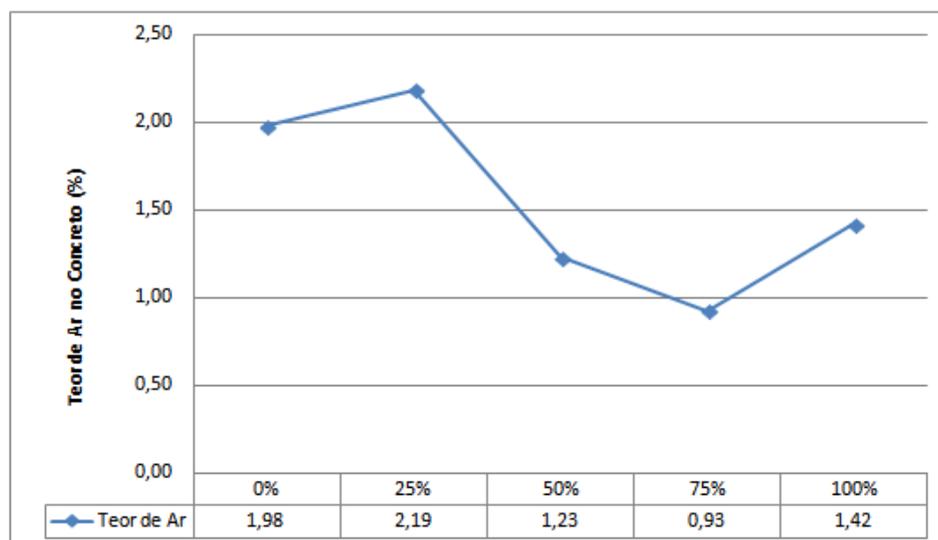
Gráfico 11 - Consumo de Cimento



Fonte: Próprio autor.

Os resultados do ensaio de teores de ar pelo método gravimétrico estão apresentados no Gráfico 12. Observando este gráfico, verifica-se um comportamento não coerente com os encontrados em algumas literaturas, quando no uso de RCD para a determinação de ar, principalmente quando da substituição total da areia por RCD, ou seja, 100% de resíduo de construção e demolição nos blocos de concreto.

Gráfico 12 - Teor de Ar no Concreto



Fonte: Próprio autor.

4.3 CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO

4.3.1 Resistência a compressão

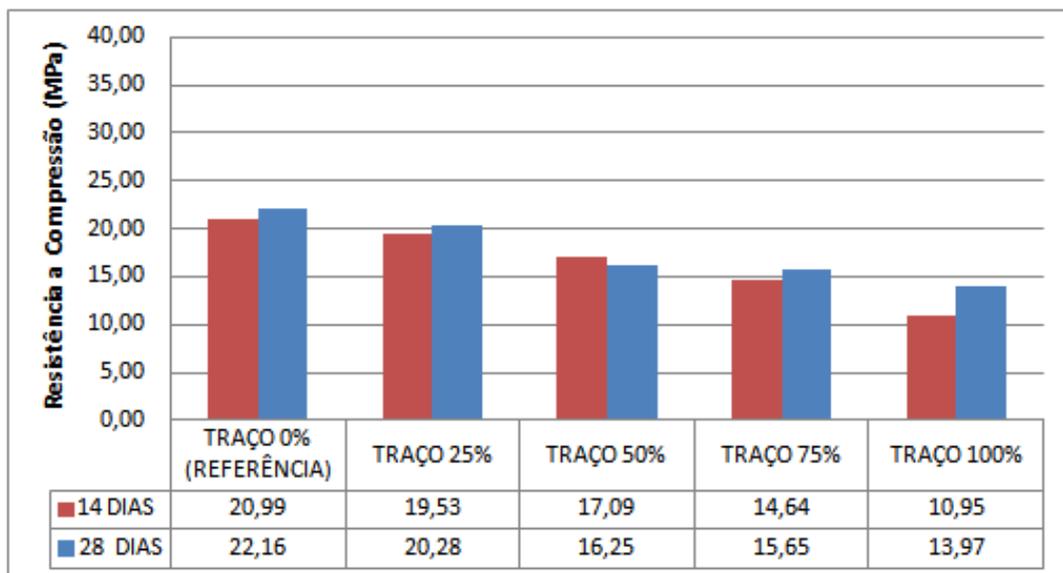
O Gráfico 13 apresenta os resultados do ensaio de resistência à compressão, para todos os teores de substituição nas idades de ruptura de 14 e 28 dias. Nas duas idades de ruptura nota-se uma diminuição de resistência conforme se aumentou o teor de substituição do agregado natural miúdo pelo agregado artificial.

Analisando a idade de 14 dias, nota-se um comportamento muito linear, à medida que se diminui a porcentagem de substituição se aumenta a resistência mecânica dos corpos de prova.

Aos 28 dias de ruptura nota-se um aumento de resistência para a idade de 14 dias, exceto para o traço de 50% de substituição, acreditando-se que esse comportamento atípico ocorreu devido a um ruído experimental.

Apesar de todos os traços com substituição ficarem com resultados inferiores nas duas idades de ruptura ao traço de referência, o traço de 25% teve melhor desempenho entre os traços de substituição, chegando a uma resistência de aproximadamente 20 Mpa.

Gráfico 13 - Resistência a compressão simples



Fonte: Próprio autor.

4.3.2 Absorção de água

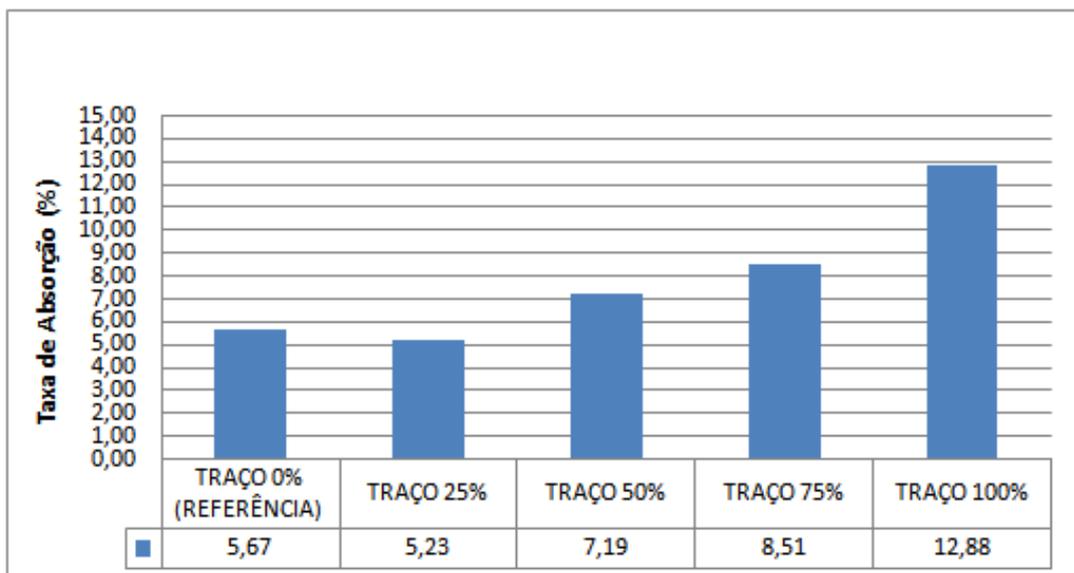
A análise dos resultados deste ensaio revela uma tendência de aumento da absorção de água dos blocos com maiores teores de substituição de agregado miúdo natural por agregado miúdo reciclado, sendo que isto possivelmente ocorreu em virtude de maior taxa de absorção de água do agregado reciclado e menor compacidade dos blocos.

Foi possível notar um comportamento crescente linear de absorção, conforme se aumenta o teor de substituição de agregado natural por agregado reciclado. Entretanto, nota-se que o traço de 25% obteve uma taxa de absorção menor que o traço de referência, acreditando-se que esse comportamento se deu pelo melhor fechamento dos vazios e, assim, um melhor empacotamento das partículas.

Segundo Cruz (2003), a absorção de água pode mensurar a durabilidade dos blocos, pois aponta o volume de vazios existentes e, com isso, sua permeabilidade. Quanto maior a permeabilidade, menor a resistência ao processo de eflorescência.

Por esta razão, é possível afirmar que é imprescindível o controle de absorção de água dos blocos intertravados de concreto quando sua aplicação ocorrer em áreas expostas a umidade, pois estas aceleram o processo de eflorescência.

Gráfico 14 - Resultados de Taxa de Absorção



Fonte: Próprio autor.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÃO E SUGESTÕES

5.1 CONCLUSÃO

A composição granulométrica do resíduo de construção e demolição, tida neste, como RCD do tipo vermelho possui uma granulometria muito inferior aos grãos da areia, observando-se este através do Gráfico 4, assim, conseqüentemente ocorre em um aumento no consumo da quantidade de água requerida para manter o abatimento em (70 ± 5) mm.

As massas unitária ou aparente dos agregados estudados foram de 1.38 Kg/dm^3 (pedrisco); $1,55 \text{ Kg/dm}^3$ (areia) e do resíduo (RCD) foi de $1,22 \text{ Kg/dm}^3$, tal densidade influenciou na massa do concreto, ou seja, quanto maior a substituição de RCD pela areia menor a massa do concreto. Numericamente a massa do concreto com 100% de areia (concreto de referencia sem adição) foi de $2.370,37 \text{ Kg/m}^3$ e a massa do concreto com 100% de RCD (concreto sem areia) foi de $2.164,02 \text{ Kg/m}^3$ tendo uma diferença em massa de $206,35 \text{ Kg/m}^3$.

O RCD utilizado nesta foi exclusivamente de resíduo vermelho, ou seja, entulhos de telhas e blocos cerâmicos obtendo-se uma granulometria extremamente inferior a da areia utilizada, o que acarretou no aumento da quantidade de água requerida para amassamento.

Observa-se que os resultados para o traço do paver de referência não chegaram na resistência mínima requerida por norma, que é de 35 MPa. Isso se deve ao método utilizado, pois este método ABCP/ACI, fornece inicialmente uma aproximação do traço, sendo necessário executar uma mistura/dosagem experimental para verificar se as qualidades foram atingidas. o que acabou não ocorrendo, devido a problemas na prensa da UNIPAMPA, tendo que realizar os ensaio na UFSM, acarretando em um aumento de tempo para os ensaios e, assim, falta de tempo para a repetibilidade de novos ajustes na dosagem.

Tomando-se como base os valores obtidos, ou seja, os valores de resistência à compressão simples dos pavers sem adição de RCD, tida como referência e quando comparado com os demais, podemos notar que o traço de 25% de substituição da areia por RCD não apresentou uma queda tão significativa, ficando em torno de 9%. Já

os demais, os traços de 50%, 75% e 100%, apresentaram queda de resistência na ordem de aproximadamente 27%, 30% e 37%, respectivamente, não os tornando viáveis tecnicamente.

A taxa de absorção de água nos pavers (endurecido) aumenta com a introdução de RCD em substituição da areia, devido ao aumento de água de amassamento que este requer para manter a consistência de $70 \pm 5,0$ mm. Este foi outro fator que tornou os traços de 50%, 75% e 100% inviáveis tecnicamente, onde foram encontrados como valores de taxa de absorção 7,19%, 8,51% e 12,88%, respectivamente, pois todos excedem o limite admitido por norma que é de 7%.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Após realizações dos ensaios, ou seja, confecção dos blocos de concreto para pavimentação, sugere-se algumas alterações assim discriminados com o intuito de melhorar e/ou avaliar outras características, tais como:

- Utilização de outro método de dosagem para fins de comparação;
- Avaliação de teores intermediários entre 25% e 50% de substituição natural por agregado miúdo reciclado de RCD, de modo a identificar se existe um valor específico onde a queda de resistência passa a ser significativa;
- Estudo da influência do agregado reciclado de RCD em substituição à brita zero em blocos de concreto para pavimentação;
- Estudo da influência da substituição conjunta de agregados graúdos e miúdos por agregados reciclados de RCD em blocos de concreto para pavimentação;
- Estudo da melhor faixa granulométrica para o agregado miúdo reciclado de RCD a ser utilizado em substituição ao agregado miúdo natural em blocos de concreto para pavimentação.

6.1 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Peças de concreto para pavimentação – Determinação da resistência à compressão – Método de ensaio: NBR 9780/1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Placas cerâmicas para revestimento – Especificação e métodos de ensaios: NBR 13818/1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone: NBR NM 67/1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Cimento portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica: NBR NM 23/2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Agregados – redução da amostra de campo para ensaios de laboratório: NBR NM 27/2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Agregado miúdo – Determinação da absorção de água: NBR NM 30/2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Agregados – Determinação da composição granulométrica: NBR NM 248/2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Agregados – Determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm por lavagem: NBR NM 46/2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios: NBR NM 45/2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Concreto fresco – Determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico: NBR 9833/2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Agregados – Amostragem: NBR NM 26/2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente: NBR NM 52/2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Agregado graúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água: NBR NM 53/2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Agregados para concreto - Especificação: NBR 7211/2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Argamassa e concretos endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica: NBR 9778/2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Método de ensaio: NBR 12118/2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Peças de concreto para pavimentação – Especificação e métodos de ensaio: NBR 9781/2013.

AMADEI, D. I. B. **Avaliação de blocos de concreto para pavimentação produzidos com resíduos de construção e demolição do Município de Juranda/PR**. 153p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Maringá. Departamento de Engenharia Civil. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana. Maringá, 2011.

ANGULO, S.C. **Caracterização de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados e a influência de suas características no comportamento mecânico dos concretos**. São Paulo: Escola Politécnica,

Universidade de São Paulo, 2005. 149p. (Tese de Doutorado).

BAKOSS, S.L.; RAVINDRARAJAH, R.S. ***Recycled construction and demolition materials for use in roadworks and other local government activities***. Centre for Built Infrastructure Research. University of Technology, Sydney. Sydney, 1999. 72 p. Scoping Report

BRITO FILHO, J. A. ***Cidades versus entulhos***. São Paulo: SEMINÁRIO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 2. 1999. p.56-67. (Anais).

BUTTLER, A.M. **Concreto com agregados graúdos reciclados de concreto: influencia da idade de reciclagem nas propriedades dos agregados reciclados**. Dissertação. Escola de Engenharia de São Carlos Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

CARNEIRO, F. P. **Diagnóstico e ações da atual situação dos resíduos de construção e demolição na cidade do Recife**. 2005. 131 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2005.

CARVALHO, M. D. **ET-27 Pavimentação com peças pré-moldadas de concreto**. 4ª Edição. São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP, 1998, p-32.

CRUZ, L. O. M. (2003). **Pavimento intertravado de concreto: Estudo dos elementos e métodos de dimensionamento**. 281p. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2003.

FIORITI, C. F. (2007). **Pavimentos intertravados de concreto utilizando resíduos de pneus como material alternativo**. São Carlos. 202p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

HALLACK, A. **Dimensionamento de pavimentos com revestimentos de peças pré-moldadas de concreto para áreas portuárias e industriais.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

HALLACK, A. **Pavimento Intertravado: uma solução universal.** Revista Prisma. São Paulo, v.1, dezembro de 2001. P 25-27.

HOOD, R. S. S. **Análise da viabilidade técnica da utilização de resíduos de construção e demolição como agregado miúdo reciclado na confecção de blocos de concreto para pavimentação.** 2006. 150 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

JOHN, V.M. **Reciclagem de resíduos na construção civil - contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento.** São Paulo: Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2000. 102p. (Tese de Livre Docência).

KNAPTON, J. **Romans and their roads – The original small element pavement technologists.** In: International Concrete Block Paving Conference, 1996. Tel-Aviv, Israel, June, Anais...Tel-Aviv. 1996.

LEITE, M.B. **Avaliação de Propriedades Mecânicas de Concretos Produzidos com Agregados Reciclados de Resíduos de Construção e Demolição.** Tese (Doutorado) Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

LIMA, J. A. R. **Proposição de diretrizes para produção e normalização de resíduo de construção reciclado e de suas aplicações em argamassas e concretos.** São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1999. 240p. (Dissertação de Mestrado).

- MIRANDA, L. F. R. **Estudo dos fatores que influem na fissuração de revestimentos de argamassa com entulho reciclado.** São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil, 2000. 172p. (Dissertação de Mestrado).
- MULLER, R.M. **Avaliação da transmissão de esforços em pavimentos intertravados de blocos de concreto.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.
- PAGNUSSAT, D. T. **Utilização de escória granulada de fundição em blocos de concreto para pavimentação.** Porto Alegre. 139p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Porto Alegre, 2004.
- PAPPU, A.; SAXENA, M.; ASOLEKAR, S. R. **Solid wastes generation in India and their recycling potential in building materials.** Building and Environment, India, n. 42, p.2311-2320. Elsevier, 2007.
- PIETERSEN, H. S.; FRAAY, A. L. A. Performance of concrete with recycled aggregates. In: MATERIALS AND TECHNOLOGIES FOR SUSTAINABLE CONSTRUCTION – CIB WORLD BUILDING CONGRESS, 1998, Gavle, Sweden. Proceedings... Gävle: Kickan Fahlstedt, KTH, 1998. Symposium A., p. 425-434.
- PINTO, T.P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana.** São Paulo: Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1999. 189p. (Tese de Doutorado).
- POON, C. S.; LAM, C. S. Use of recycled aggregates in molded concrete bricks and blocks. Construction and Building Materials, Hong Kong, n. 16, p.281-289. Elsevier, 2002.

POON, C. S.; LAM, C, S.. The effect of aggregate-to-cement ratio and types of aggregates on the properties of pre-cast concrete blocks. Cement & Concrete Composites, Hong Kong, n. 30, p. 283-289. Elsevier, 2008.

Política Nacional de Resíduos Sólidos, 2012 disponível no site < http://www.saude.rs.gov.br/upload/1346166430_Lei%2012.305_02082010_politica_residuos_solidos.pdf > acesso em 22/01/2013.

RECENA, F. A. P. **Dosagem empírica e controle de qualidade de concretos convencionais de cimento Portland**. 1. Ed. Porto Alegre: EdiPucRS, 2002. 166p.

Resolução CONAMA nº 448 de 2012, disponível no site < <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=672> > acesso em 22/01/2013.

Resolução CONAMA nº 307 de 2002, disponível no site < <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=307> > acesso em 22/01/2013.

SAPATA, S. M. M. **Diagnóstico e proposta para gerenciamento da construção civil no município de Maringá-Pr**. 2002. 140p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

SENÇO, W. (1997). **Técnicas de pavimentação**. São Paulo, Editora: PINI. 1997. 174p.

SHACKEL, B. (1990). **Design and construction of interlocking concrete block pavements**. First edition. Elsevier, New York and London, 1990.

SIMIELI, D.; MIZUMOTO, C.; SEGANTINI, A. A.; SALLES, F. M. **Utilização de Agregados Reciclados em Pavimentos Intertravados**. Revista Exacta, São Paulo, v.5, n.2, p.231-241, jul./dez. 2007.

- SOUZA, J.G.G. **Contribuição ao estudo da relação entre propriedades e proporcionamento de blocos de concreto:** aplicação ao uso de entulho como agregado reciclado. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2001.
- TANGO, C.E.S. **Blocos de concreto: dosagem, produção e controle de qualidade.** , v.1.1 ed Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, São Paulo, 1984.
- TAM, V. W. Y.; GAO X. F.; TAM, C. M.; NG, K. M. **Physio-chemical reactions in recycle aggregate concrete.** Journal of Hazardous Materials. V. 163, p. 823-828, 2009.
- VARGAS, G.L. **Estudo do processo de corrosão sob ação de cloretos obtidos a partir de resíduos de construção e demolição.** Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.
- VIEIRA, G.L. **Estudo do Processo de Corrosão sob Ação dos Cloretos obtidos a partir de Resíduos de Construção e Demolição.** 2003. Dissertação (mestrado em engenharia) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.
- WATANABE, F.A; GEMELLI, E; FOLGUERAS, M.V. **Utilização de areia de fundição como agregado na confecção de pavimentos de concreto, parte 1: propriedades mecânica e microestruturais do concreto.** In Congresso em Ciência de Materiais do Mercosul (SULMAT), 2002, Joinville, SC/Brasil anais.... 2002.
- ZORDAN, S.E. **A Utilização de Entulho como Agregado na Confecção do Concreto.** 1997 Dissertação (mestrado em engenharia) Departamento de Hidráulica e Saneamento, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1997.