

UNIVERSIDADE SÃO JUDAS TADEU

JOSÉ BATISTA DE SOUZA FILHO

**RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO
GERADOS NA ZONA LESTE DA CIDADE DE SÃO PAULO PARA
UTILIZAÇÃO E O POTENCIAL PARA NOVOS COMPONENTES DE
MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO**

São Paulo

2021

JOSÉ BATISTA DE SOUZA FILHO

**RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO
GERADOS NA ZONA LESTE DA CIDADE DE SÃO PAULO PARA
UTILIZAÇÃO E O POTENCIAL PARA NOVOS COMPONENTES DE
MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO**

Dissertação de mestrado apresentada ao curso de Engenharia Civil da Universidade São Judas Tadeu, como requisito parcial para obtenção do título de mestre como Engenheiro de Materiais da Construção Civil.

Orientador:

Professor Doutor Nestor Kenji Yoshikawa

São Paulo

2021

Dedico este trabalho aos meus pais José e Terezinha, minhas irmãs Tica e Rosa “*In Memoriam*”, meus irmãos Tinho e Careca e à minha irmã Tinha, em especial à minha família.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, criador de tudo, por ter me aberto todas as portas e me dado força e saúde durante todos esses anos.

Aos meus pais, Terezinha e José e minhas irmãs Tica e Rosa *In Memoriam*, minha esposa Cleide, meu filho Bruno e minha nora Bruna, meu filho José Neto, meus netos Julia e Daniel e aos meus irmãos Careca, Tinha e Tinho.

Aos meus professores, em especial ao meu orientador professor doutor Nestor Kenji Yoshikawa, grande Mestre, e minha coorientadora professora doutora Ana Paula Koury.

Ao curso de Mestrado da Universidade São Judas Tadeu, na pessoa do maravilhoso coordenador professor Renan e maravilhosos professores Sandro, Claudio, Mostafa, Dimas, Mauricio, Nívia Marcelo e aos técnicos do laboratório Fernando e Clayton. E aos colegas de Mestrado, pessoas com quem convivi nesses espaços ao longo dessa jornada, compartilhar estes momentos com pessoas especiais foi fundamental para chegar até aqui.

Não poderia deixar de agradecer ao professor Doutor Miguel Leon Gonzales, Fundador e Criador dos Cursos de engenharias da Universidade Cruzeiro do Sul, que em 16 de setembro de 2020 recebeu a primeira versão impressa desse trabalho, na pessoa de quem saúdo a todos os professores de quem fui aluno na Cruzeiro do Sul, dos quais também fui colega de trabalho, todos são meus amigos, aqui não vou nominar, pois são tantos que não vou correr o risco de esquecer-me de algum.

Aos meus amigos de longa data e colegas de trabalho, ilustres advogados do qual estou sempre aprendendo, Romiglio e Vagner, nossa assistente Laís, meu companheiro de graduação e colega de engenharia Fábio Eduardo de Freitas, destacando aqui a ajuda especial das engenheiras Mariane e Nicolly, bem como da revisora Noemi Zein Telles, que muito me auxiliaram na realização deste trabalho.

E, por fim, agradeço a todos que, não nominados, sabem que me acompanharam em vários momentos importantes da minha vida e que de alguma forma me apoiaram ao longo desses anos para que me tornasse quem sou hoje.

RESUMO

Nos últimos anos, a palavra sustentabilidade vem ganhando destaque no cenário mundial; e cada vez mais faz-se necessário alcançar níveis de desenvolvimento sustentável. A crescente urbanização, decorrente do processo de industrialização, vem cada vez mais acarretando problemas ambientais; um setor que acompanhou esse crescimento foi o da construção civil no mundo todo e com isso aumentou-se significativamente a geração de Resíduos da Construção e Demolição (RCD), que segundo a classificação do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) podem ser materiais cerâmicos (tijolos, azulejos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), restos de argamassa e de concreto; tornando-se uma parcela considerável dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU). Além do alto consumo de recursos naturais, a cidade de São Paulo, o maior polo comercial do país, sofre com o descarte irregular de resíduos; e a região que registra o maior número de pontos irregulares de descarte é a zona leste, da qual pertence o bairro Itaim Paulista. Outro problema derivado do crescimento desordenado das grandes cidades é a falta de estrutura de drenagem urbana. Isto tem ocorrido em face a mudanças no ciclo hidrológico natural, possivelmente devido às mudanças climáticas, aliado aos problemas decorrentes de fatores geotécnicos com o aumento populacional. Por isso, diversos estudos são realizados almejando solucionar a problemática do escoamento superficial; e uma dessas medidas de controle na fonte com certeza é o pavimento permeável; visando reduzir os impactos ambientais, já com um olhar para o futuro. O piso permeável, alternativa apresentada neste estudo, mostrou-se eficaz na solução dos problemas de escoamento superficial, além de ser uma prática sustentável. Já o agregado reciclado feito com os materiais dos Ecopontos do Itaim Paulista, apesar de não terem passado por ensaios normatizados, apresentam-se como uma alternativa para substituir insumos naturais e, se substituídos na fabricação de pisos permeáveis, podem contribuir na drenagem urbana na região do Itaim Paulista, além dos benefícios com a inclusão dos aspectos da sustentabilidade.

Palavras-chave: Resíduos da construção e demolição; Sustentabilidade; Piso permeável; Agregado reciclado; Itaim Paulista.

ABSTRACT

The growing urbanization due to the industrialization process comes more and more causing environmental problems; and the civil construction sector followed this growth and it increased significantly the generation of Construction and Demolition (C&D) waste in the whole world, making up a considerable portion of Urban Solid Waste (USW). In addition to unrestrained consumption of natural resources. São Paulo city, is an important commercial hub of the country, suffers from irregular waste disposal; and the region with the highest number of addict disposal points is the Eastern Zone. Another problem arising from the disorderly increase in large cities is the lack of urban drainage structure. The natural hydrological cycle has undergone numerous changes, the result of geotechnical factors with the increase in population. For this reason, several studies are carried out aiming to solve the problem of runoff; and one of those control measures at the source is permeable pavement. In recent years, the word sustainability has been gaining prominence on the world stage; and it is increasingly necessary to reach levels of sustainable development, aiming to reduce environmental impacts, already looking to the future. The permeable floor, an alternative presented in this study, proved to be effective in solving the problems of runoff, in addition to being a sustainable practice. The recycled aggregate made with materials from the Ecopoints os Itaim Paulista, although they have not undergone standardized tests, are presented as alternative to replace natural inputs and if replaced in the manufacture of permeable floors, they can contribute to urban drainage in the region of Itaim Paulista, in addition to other benefits, including aspects of sustainability.

Keywords: Construction and Demolition waste; Sustainability; Permeable floor; Recycled aggregates; Itaim Paulista.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Taxa de urbanização brasileira (IBGE, 2015).	13
Figura 2 - Ciclo do reaproveitamento dos RCD (CONCRETA, 2017).....	24
Figura 3 - Pontos viciados de descarte de lixo (PREFEITURA, 2021).	30
Figura 4 - Beirute após a explosão (CERIONI, 2020).	32
Figura 5 - Camadas de pavimentação (HERMES, 2013).....	33
Figura 6 - Agregado reciclado (ARQXP, 2020).....	34
Figura 7 - Diferença de escoamento superficial entre pavimentos permeáveis e impermeáveis (RHINO PISOS, 2013).	37
Figura 8 - Camadas de pavimentação permeável esquematizada (ARCH DAILY, 2019).	37
Figura 9 - Sistema de infiltração total (NBR 16416).....	38
Figura 10 - Sistema de infiltração parcial (NBR 16416).....	39
Figura 11 - Sistema sem infiltração (NBR 16416).....	39
Figura 12 - Crescimento de vegetação em juntas de pavimento permeável (MARCHIONI; SILVA, 2010).	40
Figura 13 - Ciclo de vida do concreto (MARTINS et al., 2008).....	47
Figura 14 - Fluxograma da produção do agregado reciclado (AUTOR, 2020).....	52
Figura 15 - Fluxograma dos ensaios (AUTOR, 2020).	53
Figura 16 - Caçamba para descarte de RCD no Ecoponto Pesqueiro (AUTOR, 2020).....	54
Figura 17 - Caçamba para descarte de RCD no Ecoponto Flamingo (AUTOR, 2020).	55
Figura 18 - Caçamba para descarte de RCD no Ecoponto Mãe Preta (AUTOR, 2020).	55

Figura 19 - Caçamba para descarte de RCD no Ecoponto Moreira (AUTOR, 2020).....	56
Figura 20 - Retirada dos materiais de dentro da caçamba (AUTOR, 2020).	57
Figura 21 - Entulhos sendo transportados do Ecoponto (AUTOR, 2020).....	57
Figura 22 - Caçamba de onde foram retiradas as amostras (AUTOR, 2020).....	57
Figura 23 - Britador elétrico da ABCP (AUTOR, 2020).	58
Figura 24 - Parte interna do britador (AUTOR, 2020).....	58
Figura 25 - Peso inicial da amostra 1 (AUTOR, 2020).....	59
Figura 26 - Fracionamento da amostra de RCD (AUTOR, 2020).....	59
Figura 27 - Material depositado na caixa de madeira antes da britagem (AUTOR, 2020).	60
Figura 28 - Material sendo britado e retornando ao saco (AUTOR, 2020).....	60
Figura 29 - Agregado reciclado após britagem (AUTOR, 2020).....	62
Figura 30 - Parcela de finos do agregado após britagem (AUTOR, 2020).	62
Figura 31 - Agitador de peneiras (MONDRAGON, 2020).	64

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Tabela 1 - Geração de resíduos nas cidades brasileiras.....	22
Tabela 2 - Normas Técnicas sobre reciclagem de RCD.....	27
Tabela 3 - Traços utilizados para as composições de concreto.	43
Tabela 4 - Resultados dos Impactos ambientais em cada um dos cenários.....	48
Tabela 5 - Peso das amostras de RCD.....	61
Quadro 1 - Resíduos recolhidos nos Ecopontos	29

LISTA DE SIGLAS

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRECON	Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição
AMLURB	Autoridade Municipal de Limpeza Urbana
ARC	Agregados de Resíduo de Concreto
ARM	Agregados de Resíduo Misto
BCP	Bloco de concreto de Cimento Portland
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CP	Corpo de Prova
CPA	Concreto Poroso Asfáltico
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
PGIRS	Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos
PIB	Produto Interno Bruto
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
RCC	Resíduos da Construção Civil
RCD	Resíduos da Construção e Demolição
RSU	Resíduo Sólido Urbano

LISTA DE SÍMBOLO

A	Absorção em porcentagem
a/c	Água/Cimento
C	Fator de conversão de unidades do sistema SI
°C	Grau Celsius
cm	Centímetro
d	Diâmetro
Ep	Energia potencial
g	Aceleração da Gravidade
H	Altura de ruptura
h	Hora
k	Coefficiente de permeabilidade
kg	Quilograma
KPa/s	Quilopascal por segundo
m ²	Metro Quadrado
mm	Milímetro
ms	Massa da amostra seca em estufa
MPa	Megapascal
t	Tempo expresso em segundo
µm	Micrômetro

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1. Apresentação do tema	13
2. OBJETIVOS	18
2.1. Objetivos específicos	18
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
3.1. A sustentabilidade na construção civil	19
3.2. Os resíduos da construção e a sua reciclagem	20
3.2.1. O descarte inadequado	25
3.3. RCD um problema urbano	25
3.3.1. Na Europa e na Ásia	25
3.3.2. No Brasil	26
3.3.2.1. A Resolução CONAMA n° 307	26
3.3.3. Em São Paulo	28
3.3.4. No Itaim Paulista	30
3.4. Catástrofes e a geração de RCD	31
3.5. Agregado Reciclado	32
3.6. Piso drenante	35
3.6.1. O problema do escoamento superficial	35
3.6.2. Pavimentação permeável como uma solução	35
3.6.3. Eficiência dos pavimentos permeáveis	40
3.6.4. Piso permeável produzido com agregado reciclado	43
4. OS BENEFÍCIOS DO RCD	45
4.1. Viabilidade técnica e econômica da utilização do RCD	45
4.2. Ciclo de vida do RCD	46

4.3. RCD e as áreas irregulares	48
5. METODOLOGIA	50
6. FASE EXPERIMENTAL	52
6.1. Materiais	53
6.1.1. Cimento Portland	53
6.1.2. Água	53
6.1.3. Agregados naturais	53
6.1.4. Agregados de RCD	54
6.1.5. Amostragem	54
6.1.5.1. Coleta de amostras	56
6.2. Processamento dos RCD	58
6.3. Ensaio	63
6.3.1. Abrasão Los Angeles	63
6.3.2. Massa específica	64
6.3.3. Índice de vazios	64
6.3.4. Material Pulverulento	64
6.3.5. Ensaio Granulométrico	65
6.3.6. Ensaio de resistência a compressão	65
6.3.7. Ensaio de resistência à flexão	66
6.3.8. Ensaio de permeabilidade	66
7. AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS	67
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS	68
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71

1. INTRODUÇÃO

1.1. Apresentação do tema

A população mundial vem crescendo exponencialmente nos últimos anos e, com a conseqüente urbanização, acarreta o aumento da construção civil. Afinal, quanto maior o número de pessoas, maior a necessidade de se construir. Assim, o mercado da construção civil é um dos que mais cresce no mundo todo, sendo responsável por uma parcela importante do Produto Interno Bruto – PIB no Brasil (CBIC, 2017).

O aumento da urbanização no Brasil se deu após a década de 60, graças ao aumento na taxa de migração do campo para as cidades. Na década de 1940, 69% da população concentrava-se no campo, valor esse que diminuiu consideravelmente, como mostra a Figura 1; pois segundo o IBGE (2015), de acordo com os dados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios, 84,72% das pessoas vivem em áreas urbanas. Acrescenta-se que o motivo pelo qual se deu essa inversão de proporção entre habitações rurais e urbanas foi a industrialização e os benefícios relativos a ela, como melhores serviços de saúde, transportes e comunicação (LIMA, 2013).



Figura 1 - Taxa de urbanização brasileira (IBGE, 2015).

Concomitantemente com o crescimento da construção civil, aumentaram-se os impactos ambientais gerados por ela. Segundo Roth e Garcias (2009), o modelo de construção praticado no Brasil, em toda sua cadeia de produção, acarreta prejuízos ao meio ambiente, pois utiliza, em sua maioria, matéria prima não renovável, consome elevadas quantidades de energia (em

sua extração, transporte e processamento de insumos) e o que será abrangido neste estudo: a grande geração de resíduos.

John (2001) afirma que atualmente o setor é o maior consumidor de recursos naturais. O uso de recursos não renováveis da construção civil vai desde matérias primas necessárias para a construção até a energia que é consumida durante o processo. Ainda segundo Sjöström (1996, apud JOHN, 2000) os recursos naturais demandados pela construção civil variam entre 14% e 50%.

Os Resíduos da Construção Civil (RCC), conhecidos também na literatura nacional como Resíduos da Construção e Demolição (RCD) fazem parte dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), ou seja, resíduos gerados nas áreas urbanas, que englobam no conceito lato, além destes resíduos, os resíduos domiciliares, da limpeza urbana, podas de árvores e dos serviços da saúde – porém, pelo fato dos resíduos dos serviços da saúde e resíduos da construção civil possuírem legislações específicas e por serem resíduos cuja reponsabilidade de gerenciamento são do gerador e não do serviço público, como os demais, não são tratados conjuntamente no aspecto de sua gestão. E, cada vez mais, os RCD se tornam uma parcela significativa do volume total de RSU e eles trazem consigo um problema: a falta de conhecimento sobre os volumes gerados, seus impactos e custos sociais (PINTO, 1999).

Outro fator, apontado por Pinto (1999), é a dificuldade na obtenção de dados sobre a geração de RCD; verifica-se que grande parte das pesquisas que fazem levantamento sobre quantificação de RSU os caracterizam corretamente quanto a sua origem, mas quando se trata de estimar a geração de cada um deles não o fazem; então pouco se sabe do impacto gerado por cada um deles individualmente.

Conforme Scremin (2007), o problema dos RCD não se dá pela sua periculosidade e, sim, pelos impactos causados pelos excessos de volumes que são gerados. Além dos prejuízos ao meio ambiente, os resíduos acarretam também custos referentes à remoção, transporte e destinação. E, para o meio ambiente, o descarte desses resíduos, que muitas vezes é feito de forma inadequada, é o principal problema, pois causam inundações, proliferam doenças e degradam zonas urbanas (JOHN; AGOPYAN, 2000).

Outros problemas resultantes da urbanização são o aumento no volume do escoamento superficial e o aumento na frequência das inundações (CIRIA,1996). Em alguns pontos, de grandes cidades, as enchentes tornaram-se corriqueiras. A maior fonte do problema está na má drenagem urbana. Definida por Dias e Antunes (2010), drenagem é um termo para qualificar o

escoamento da água, por meio de instalações hidráulicas que podem ser aplicadas em: rodovias, zonas rurais e urbanas.

O ciclo hidrológico é influenciado com o grande crescimento populacional e a urbanização desordenada; e cada vez mais nota-se um aumento no número de desastres provocados pelas chuvas. Grande parte disso se dá porque as técnicas utilizadas para a drenagem urbana convencional visam resolver apenas o problema hidrológico imediato, ao invés de tentar uma abordagem do ponto de vista do ciclo hidrológico (DIAS; ANTUNES, 2010). Segundo Acioli (2005), este rápido deslocamento do excesso de águas provenientes das chuvas, o que consiste nos sistemas tradicionais de drenagem, favorece o aumento de volume escoado e vazões de pico e reduz o tempo de escoamento, o que torna os hidrogramas de cheias mais críticos, resultando em uma maior frequência de inundações e sua gravidade.

Uma medida que se apresenta bastante eficaz é a de controlar o escoamento superficial na fonte, segundo Suderhsa (2002), consiste em uma medida de controle estrutural cujo objetivo é aumentar a área de infiltração e percolação. As medidas de controle de drenagem urbana estruturais são obras de engenharia que visam reduzir as enchentes.

Um dispositivo existente – e que permite uma maior infiltração da água – é o pavimento permeável. Segundo Urbonas e Stahre (1993), trata-se de um mecanismo de infiltração no qual acontece o desvio do escoamento superficial para um reservatório, que acaba infiltrando no solo. O principal objetivo, segundo Acioli (2005), é o de remediar na fonte os efeitos causados pelo enorme crescimento das cidades, antes de atingir a rede de drenagem.

As consequências causadas pela impermeabilização dos solos afetam não só as cidades, mas todo o seu entorno, e os pisos permeáveis, também conhecidos como pavimentos permeáveis, apresentam-se como uma alternativa para promover a infiltração de água e retardar o tempo de escoamento superficial (SANTOS, 2016). Por isso, pesquisas têm sido feitas em vários países a fim de compreender as técnicas do piso permeável, sua eficiência, comportamento e durabilidade (ACIOLI, 2005).

A ideia de pavimentação permeável muda completamente o conceito das obras tradicionais, no qual o foco é que a estrutura seja o mais impermeável possível, a fim de garantir uma maior durabilidade à peça e resistência mecânica. Mas, devido ao grande crescimento do modal viário, a quantidade elevada de superfícies não permeáveis afeta cada vez mais a estrutura natural do meio ambiente, o que aumenta consideravelmente as chances de desastres causados por eventos consequentes da urbanização.

Os primeiros pavimentos porosos foram implementados na França, em meados do século XX; porém, devido ao excesso de vazios na estrutura, não obtiveram sucesso. Depois, somente por volta da década de 70, que alguns países como França, Estados Unidos, Japão e Suécia voltaram a se envolver em pesquisas com esse tipo de pavimentação (AZZOUT et al., 1994).

Nos dias de hoje, trabalhos e pesquisas vão ainda mais longe, tornando esses pavimentos ainda mais eficazes e sustentáveis. Nos últimos anos, surgiram pesquisas que visam conciliar uma solução para dois problemas distintos e assim alcançar padrões elevados de sustentabilidade. Algo que se apresenta como uma medida sustentável é o uso dos resíduos provenientes da construção, os RCD, como substitutos totais ou parciais de agregados em pavimentos permeáveis. Trata-se de uma maneira promissora e ecologicamente correta de dar um destino aos RCD, que causam inúmeros problemas no ambiente, reduzindo o consumo de matéria prima natural e ao mesmo tempo minimizando os impactos causados pela grande quantidade de ambientes impermeabilizados.

O desenvolvimento da pesquisa foi motivado pois atualmente considerar as questões de sustentabilidade deixa de ser apenas uma opção e torna-se uma obrigação da construção civil com o planeta e a sociedade em que vivemos; por isso, estudar maneiras de conciliar o grande crescimento do setor com formas de minimizar os impactos ambientais causados será fundamental. É, e cada vez mais será, um tema atual.

Segundo Vidal (2014), o grande crescimento das cidades brasileiras vem trazendo inúmeros problemas de infraestrutura; entre eles estão: geração de resíduos, crescimento desordenado, abastecimento de água e saneamento básico; portanto, a drenagem de águas pluviais e o tratamento e destinação dos RCC estão completamente englobados nesse panorama.

Um problema conjuntural, resultante também da grande urbanização, e que conseqüentemente atinge principalmente as grandes zonas urbanas, são as enchentes. Elas são causadoras de enormes desastres, perdas materiais, além de alastrar doenças. Por isso, faz-se tão importante o estudo de formas de solucionar ou minimizar tal calamidade. Marques (2006) ressalta ainda que este impacto se torna mais alarmante para a população com menor poder aquisitivo, que vivem em locais de risco.

Visando contribuir para a diminuição das inundações, os sistemas de drenagem urbana sustentáveis, que simulam o ciclo hidrológico natural, são formas de preservar o meio ambiente e melhorar a qualidade de vida. Essas estruturas de controle na fonte fazem com que a água proveniente do escoamento superficial infiltre, diminuindo assim o fluxo de água que é direcionado para sistemas de captação da água de drenagem (CASTRO, 2012).

Atualmente, no mercado, são encontradas diferentes propostas para a questão de drenagem de vias e calçadas em áreas urbanas, como: placas cimentícias permeáveis, piso intertravado, concregrama, concreto permeável e outros; porém, a maioria das soluções apresentadas acaba acarretando outro prejuízo ao meio ambiente, que é o uso de recursos naturais.

O presente trabalho propõe que se utilizem os agregados reciclados de RCD, encontrados e recolhidos nos Ecopontos localizados na zona leste de São Paulo, para estudar a possibilidade de se fabricar um piso permeável que vise reduzir a problemática do uso ilimitado dos recursos naturais e, ao mesmo tempo, apresente-o como uma estratégia para reduzir os impactos do acúmulo de água superficial em zonas urbanas.

2. OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivo avaliar o potencial de produção de um piso permeável utilizando materiais reciclados de RCD na composição; retirados dos Ecopontos do Itaim Paulista, município de São Paulo (SP). O piso proposto será destinado a tráfego leve, tal como vias e calçadas para pedestres no próprio local de origem dos resíduos.

2.1 Objetivos específicos

A pesquisa teve como objetivos específicos os seguintes estudos:

- Identificação e avaliação os resíduos e materiais existentes nos Ecopontos, para que seja proposta a construção dos pavimentos permeáveis;
- Seleção dos resíduos da construção civil descartados em um dos Ecopontos do Itaim Paulista para propor que seja fabricado um agregado reciclado;
- Avaliação do piso permeável proposto como uma opção sustentável para o uso do agregado reciclado;
- Estudo de viabilidade técnica (desempenho) e econômica (disponibilidade de resíduos e custo de implantação e operação) na utilização dos resíduos da construção na área de estudos;

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. A sustentabilidade na construção civil

A palavra sustentabilidade vem, cada vez mais, ganhando ênfase no cenário mundial. Nota-se a crescente necessidade de se reparar os danos causados, ao longo dos anos, pelo homem; o consumo desenfreado de recursos naturais e a degradação causada ao meio ambiente tomaram proporções em escala global. E a construção civil é um dos setores com maior parcela de culpa (CORRÊA, 2009).

São de extrema urgência práticas mais sustentáveis na engenharia, visto que é um ramo com grande potencial de crescimento. Porém, não é de hoje que se fala em implementação de técnicas ambientalmente corretas.

Segundo Corrêa (2009), o conceito de desenvolvimento sustentável foi apresentado pela primeira vez no relatório Brundtland, na década de 80; nele, abrangeu-se o conceito de desenvolvimento sustentável que foi trazido ao discurso público. As recomendações que ocorreram nessa comissão levaram, posteriormente, à realização de uma conferência sobre o meio ambiente e o desenvolvimento. Porém, a grande primeira conferência voltada ao meio ambiente aconteceu em Estocolmo em 1972.

Mais tarde, no ano de 1992, no Rio de Janeiro, ocorreu um evento de referência em desenvolvimento sustentável, que ficou conhecida como Eco-92 ou “cúpula da terra”. Nela participaram 117 chefes de estado e abordou-se, entre diversos assuntos, a importância de executar um sistema de gestão para os resíduos sólidos (GUNTHER, 2000). Na Eco-92, ficou clara a importância de se conciliar os aspectos econômicos e sociais com a preservação ambiental. Se todas as pessoas almejassem o mesmo padrão de desenvolvimento de países ricos, uma grande parcela dos recursos seria comprometida de forma irreversível (RIO-92,1992).

O resultado principal da conferência de 1992 foi a Agenda 21. Trata-se de um programa instaurado que visa um padrão de desenvolvimento racional; o documento também visa conciliar os aspectos econômicos, de proteção ambiental e justiça social. Dentro dos seus 40 capítulos, são abordadas diversas questões, entre elas: a prioridade que deve ser dada pelos países na administração dos resíduos sólidos e a disposição ambientalmente correta (CORRÊA, 2009).

Nos anos de 2002 e 2012, ocorrem outras duas importantes conferências: a Rio+10 e a Rio+20; os nomes fazem referência à quantidade de anos passados desde a Rio-92. Nelas, foram

realizados balanços das conquistas alcançadas e traçadas estratégias para implementar planos e metas tangíveis (CONFERÊNCIA..., 2020).

Por fim, em 2015, ficou definida a Agenda 2030 que integra 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Trata-se de um modelo global que visa, em resumo, proteger o ambiente em que vivemos. E novamente colocou-se em pauta a gestão dos resíduos (GUNTHER, 2000). Segundo Galbiati (2005), na gestão dos resíduos sólidos, a sustentabilidade ambiental e social desenvolve-se por sistemas e estratégias que reduzam a geração de resíduos pela população. Além de planos que traçam formas de reutilizar e reciclar os materiais, a fim de que possam servir futuramente como matéria prima, evitando-se assim o desperdício e até eventualmente gerando-se lucros.

Corrêa (2009) afirma que o conceito de construção sustentável deve participar de toda a vida do empreendimento, desde o canteiro de obra até uma possível demolição ou desconstrução. Faz-se necessário um detalhamento do que pode ser realizado em cada fase da obra, mostrando os impactos e formas de execução de maneiras sustentáveis.

O setor da construção civil, mesmo que tardiamente em relação a outros setores, vem promovendo grandes mudanças e absorvendo conceitos de práticas diferenciadas, a fim de contribuir para o presente e minimizar danos futuros. O conceito de sustentabilidade na construção civil está diretamente relacionado a práticas que promovam desde a não geração de resíduos até a reciclagem deles (CORTÊS et al., 2012).

Porém, mesmo com o crescimento significativo de práticas mais sustentáveis, há muito a se fazer, principalmente no setor da construção. Há sempre formas de melhorá-lo, desde condutas mais simples, como evitar consumo e desperdício excessivo, até formas mais elaboradas para reutilizar insumos a fim de preservar recursos naturais. Mas, para que as mudanças sejam efetivas, é preciso uma consciência que parta de todos, desde grandes produtores e indústrias, até a forma como as pessoas gerenciam o próprio lixo doméstico.

3.2. Os resíduos da construção e a sua reciclagem

Os resíduos gerados pelo homem nas concentrações urbanas são conhecidos como RSU, neles abrangem-se resíduos oriundos de atividades doméstica e resíduos de serviços provenientes de limpezas urbanas, como, por exemplo, varrição e limpeza de logradouros públicos (DIAS, 2009). Políticas de gestão do RSU devem levar em consideração uma série de fatores que são determinantes, como o ciclo de vida dos materiais, dando ênfase na minimização do uso de

recursos naturais e na não geração de resíduos. E isto torna o gerenciamento desses resíduos algo melindroso, pois para a gestão ser eficaz, precisa ser algo consistente (AGAMUTHU et al., 2009).

Levando-se em conta a relevância dos resíduos sólidos, no dia 2 de agosto de 2010, sob a lei Nº 12.305, foi instituída a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). O objetivo desta lei é apresentar diretrizes quanto à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, aos seus perigos, às responsabilidades dos geradores e do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis. A PNRS classifica os resíduos sólidos de duas formas, quanto à sua origem e quanto à sua periculosidade. A respeito da origem, eles podem ser: resíduos domiciliares, de limpeza urbana, de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviço, dos serviços públicos de saneamento básico, industriais, de serviço de saúde, da construção civil, agrossilvopastoris, de serviço de transporte e resíduos de mineração. Quanto à periculosidade, são classificados em resíduos perigosos e não perigosos (BRASIL, 2019).

Ainda sob a vigência da PNRS, foi estabelecido um instrumento de implementação de responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, a logística reversa. O intuito é que os vários setores implementem logísticas que priorizem o retorno do produto e/ou embalagem para um novo ciclo de aproveitamento (ABRELPE, 2020).

Santos (2014) descreve a logística reversa na construção civil como uma série de medidas que visam conciliar um planejamento, implantação e controle de produtos e serviços após a sua vida útil, afim de encaminhá-los para um processamento e futura aplicação em mercados secundários ou em último caso encaminhar os RCD para usinas de reciclagem para que haja um reprocessamento dos componentes.

Segundo a Abrelpe (2020), entre os anos 2010 e 2019 houve um aumento na geração de RSU no Brasil passando de 67 milhões de toneladas para 79 milhões de toneladas por ano. E tal aumento refletiu também nos valores gastos com recursos aplicados na coleta e nos demais serviços de limpeza, no ano de 2010 foram gastos R\$ 17,65 bilhões, passando para R\$ 25 bilhões ao final de 2019. A parte positiva, foi o aumento de empregos diretos voltados para o setor de limpeza, tendo 48 mil novos postos de trabalho.

Os RCD são uma fração considerável dos RSU totais; além disso, salienta-se que são responsáveis por consumir uma quantidade elevada de recursos naturais, por isso a reciclagem se faz extremamente importante.

A reciclagem dos RCD deu-se início na Europa após a segunda guerra mundial. Na Alemanha, agregados reciclados eram feitos de entulhos oriundos dos danos causados pela guerra e eram

utilizados na própria reconstrução das cidades. Outro país que adotou a técnica foi a Inglaterra, porém em proporções menores (ALENCAR, 2013). E, desde então, estudos vêm sendo feitos visando aprimorar técnicas que viabilizam o uso dos resíduos na construção.

Já no Brasil, o primeiro contato com a reciclagem dos RCD foi graças ao arquiteto Tarcísio de Paula Pinto, em 1986, que abordou o tema em sua dissertação de mestrado, apresentada na Escola de Engenharia de São Carlos; ele foi o responsável pelo primeiro estudo sistemático de como utilizar o agregado reciclado na fabricação de argamassas, cujo título era “Utilização de resíduos de construção – estudo do uso em argamassas”. Em seu trabalho, Pinto (1999) analisou a composição dos entulhos gerados em obras e concluiu que a mistura é composta de 60% de argamassa, 30% de componentes de vedação, 9% de materiais da construção, como areia, plástico, pedra etc. e 1% de matérias orgânicas. A dissertação também fez um levantamento da geração de resíduos nas principais cidades brasileiras no ano de 1986, como mostra a Tabela 1 (HOLDERBAUM, 2009):

Tabela 1 - Geração de resíduos nas cidades brasileiras.

Cidade	Geração estimada (ton/mês)
São Paulo	372.000
Rio de Janeiro	27.000
Brasília	85.000
Belo Horizonte	102.000
Porto Alegre	56.000
Salvador	44.000
Recife	18.000
Curitiba	74.000
Fortaleza	50.000
Florianópolis	33.000

Fonte: Pinto, 1999.

Mas a reciclagem efetivamente iniciou-se em 1991, em Belo Horizonte; e atualmente existem usinas de reciclagem deste tipo de materiais (LEITE, 2001 apud ALENCAR, 2013). As primeiras foram implantadas pelas prefeituras de São Paulo, Londrina e Belo Horizonte em meados da década de 90 (MIRANDA; ANGULO; CARELI, 2009).

Nos anos seguintes, entre 1999 a 2005, notou-se os inúmeros benefícios agregados economicamente e ambientalmente, com o gerenciamento dos RCD, obtidos pela prefeitura de Belo Horizonte, o que acabou por estimular algumas prefeituras do estado de São Paulo, como Piracicaba, Santo André e Campinas, a fazerem o mesmo (MIRANDA; ANGULO; CARELI, 2009).

A reciclagem dos RCD, em alguns países da União Europeia como Holanda, Dinamarca, Alemanha e Suíça, já é uma prática mais comum; eles reciclam ou reutilizam de 50 a 90% dos seus resíduos. Porém, encontra-se também índices mais baixos, como Portugal e Espanha que reciclam menos de 50% dos RCD. Mas as indústrias de reciclagens estrangeiras ainda são mais elaboradas do que as do Brasil (ANGULO, 2005).

Angulo (2005) aponta também que a pequena parcela de produção das usinas de reciclagem no país, na grande maioria, pertence ao setor público e a fabricação é voltada para o uso das próprias prefeituras, isso acaba fazendo com que a taxa de reciclagem seja mais baixa. No Brasil, assim como em outros países, a reciclagem da fração mineral produz agregados voltados para o uso em pavimentos e como material de enchimento para aterros.

Num geral, os agregados reciclados são usados em sua maioria para compor materiais e peças que requeiram uma solicitação menor de carga, pouco se usa para produtos como concretos, argamassas, blocos etc.; boa parte disso se dá pelo fato das normas sobre os agregados reciclados serem de difícil aplicação em fábricas de reciclagem.

Existem formas efetivas de garantir a devida destinação para os resíduos gerados na Construção Civil, uma delas é o Protocolo de Gestão de Resíduos de Construção e Demolição da União Europeia, que foi elaborado a fim de aumentar a confiança no processo de gerenciamento dos RCD e a confiança nos materiais reciclados de RCD. Para alcançar tal objetivo, deve-se seguir as seguintes recomendações (EUROPEAN COMMISSION, 2018):

- Identificar e separar na origem: é necessário que haja, na obra, uma metodologia de triagem dos RCD ou que sejam encaminhados para um operador de gestão licenciado;
- Aprimorar a logística dos resíduos: é de suma importância estabelecer um sistema de acondicionamento adequado que permita a gestão seletiva dos resíduos;
- Manter os materiais de construção e demolição separados para assim garantir a qualidade nos materiais e agregados reciclados;

- Descontaminação para garantir a qualidade dos reciclados, ou seja, remover corretamente os resíduos perigosos antes da demolição;
- Elaboração de um registro de dados de RCD para auxiliar na destinação dos resíduos;
- Melhorar o processamento dos resíduos;
- Ter uma gestão de qualidade;
- Contatar o município para fazer o recolhimento dos RCD ou dependendo da quantidade e volume entregar em pontos de entregas voluntárias, como os Ecopontos;
- E, por fim, promover a reutilização dos resíduos e incorporar os materiais reciclados na substituição de matérias primas.

A reciclagem dos resíduos coloca-os de volta em uso, como se pode observar na Figura 2, fazendo com que se evite o uso de mais recursos naturais de forma excessiva e dando um melhor fim a eles, que é o reaproveitamento. Desta forma, um mesmo material pode ter outras funções e uma vida útil muito maior, contribuindo com a sustentabilidade do planeta.

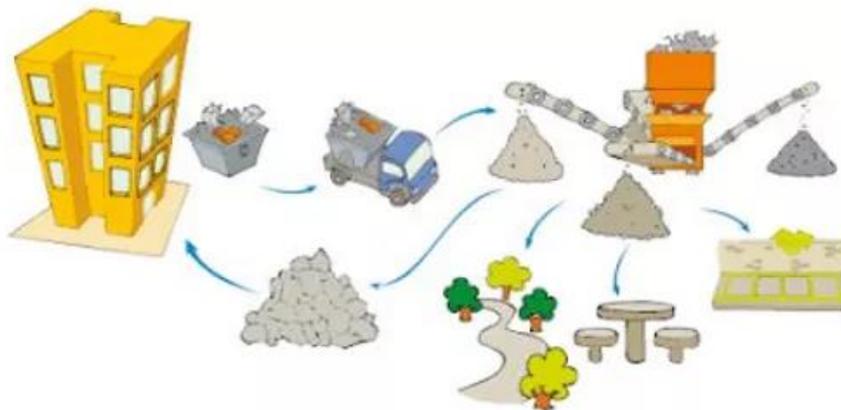


Figura 2 - Ciclo do reaproveitamento dos RCD (CONCRETA, 2017).

3.2.1. O descarte inadequado

A maioria das medidas e soluções apresentadas são sempre voltadas à mesma questão: solucionar a problemática do descarte irregular dos resíduos. Pois não bastasse a elevada geração dos mesmos, a sua destinação ainda é algo que não se dá a devida importância,

principalmente os pequenos geradores. Algo extremamente comum no Brasil são os construtores informais e, segundo Morais (2006), acabam gerando uma quantidade significativa de RCD, não pelo tamanho das obras em si, mas pela frequência com que acontecem no país. Muitos dos entulhos provenientes de pequenas obras são transportados a pontos ilegais de descarte pelo próprio gerador ou até por carroceiros pagos para isso, que visando facilidade e custo, acabam por depositar em local impróprio, às vezes mais próximo (MORAIS, 2006). Por conta da elevada quantidade de pequenas obras e reformas realizadas por esses construtores informais ou pequenos construtores, é bastante escassa a informação real de geração e destinação dos RCD no Brasil (SCHNEIDER, 2003 apud ABBEA, 1999). O descarte inapropriado vem se tornando pauta não só no Brasil, mas no mundo. Pois vem-se constatando o imenso impacto na degradação ambiental e os prejuízos causados à saúde (TAVARES, 2008).

3.3. RCD um problema urbano

3.3.1. Na Europa e na Ásia

Os resíduos provenientes das construções e demolições vêm se tornando uma parcela significativa dos RSU no mundo todo e, com isso, tornam-se cada vez mais relevantes e preocupantes (SILVA; FERNADES, 2012). Por isso o foco na importância da redução, reuso e reciclagem destes materiais vem crescendo no mundo todo (TAM; LE, 2006).

Estudos quantificam a geração de RCD em alguns países como, por exemplo, na Malásia, onde este tipo de material corresponde a 28% de massa dos RSU, já na Austrália, cerca de 37%, enquanto no Reino Unido esses RCD correspondem a aproximadamente 60% dos RSU do país, o que numericamente equivale a 109 milhões de toneladas por ano. Outro valor considerável de RCD é produzido em Taiwan, aproximadamente 14 milhões de toneladas a cada ano (BRASILEIRO; MATOS, 2015).

Quando se analisa a quantidade de resíduos gerados pela construção, fica evidente a importância de gerenciá-los; mais um exemplo de uma grande potência mundial com uma taxa elevada de RCD é a União Europeia, cerca de 850 milhões de toneladas anuais são geradas e isso representa 31% dos RSU totais (FISCHER; WERGE, 2009).

O reuso e a reciclagem desses materiais em países desenvolvidos, como Holanda, Dinamarca, Alemanha e Suíça, acontece em uma porcentagem consideravelmente alta, cerca de 50 a 90%

de todos os RCD. E, mesmo assim, uma porcentagem muito pequena é realmente substituída dos agregados naturais por agregados reciclados (MIRANDA; ANGULO; CARELI, 2009).

3.3.2. No Brasil

3.3.2.1. A Resolução CONAMA nº 307

A importância de gerenciar os RCD foi então ganhando espaço e força; diante de tal visibilidade, no Brasil, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) implementou diretrizes a fim de reduzir os impactos ambientais provenientes de tais materiais. Publicada no dia 5 de julho de 2002, a resolução CONAMA nº 307 estabelece critérios e procedimentos para gerenciar esses resíduos. Nesta resolução, especifica-se também quais são os materiais considerados resíduos da construção: qualquer derivado de construções, reformas ou reparos, demolições e materiais resultantes de escavações, como tijolos, cerâmicas, concretos em geral, variados tipos de solo, resinas, gessos, argamassas, telhas, pavimentos asfálticos, tubulações etc., conhecidos também como entulhos. Além dos materiais, define-se também os geradores dos resíduos como: qualquer pessoa física ou jurídica, pública ou privada, que exerça atividade que gere materiais previstos na resolução.

O CONAMA nº 307 define uma classificação para os resíduos, que são divididos em classes “A”, “B”, “C” e “D”. Na classe “A” estão os resíduos recicláveis ou reutilizados como agregados, que sejam de fontes oriundas da construção, demolição, reparos e reformas, inclusive de solos; contanto que não contaminados e que não sejam prejudiciais à saúde. Já a classe “B” destina-se a resíduos com destino distinto, como: plástico, papel, metal, vidro, madeiras etc. Na classe “C” estão resíduos que não tenham tecnologias ou funcionalidade economicamente viáveis para serem reciclados ou recuperados. E, por fim, na classe “D” estão resíduos oriundos também da construção, demolição, reparos de clínicas radiológicas etc., porém que são considerados perigosos, contaminados e até prejudiciais à saúde, como tintas, solventes, óleos, etc. (BRASIL, 2019).

A resolução – que entrou em vigor em 2 de janeiro de 2003 – também deixa explícito, dentro de seus 14 artigos, que os municípios devem ter um Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil. Dentro deste plano, existem 5 importantes etapas definidas. A primeira delas é a caracterização: etapa onde é feita a identificação e quantificação dos resíduos. Depois faz-se uma triagem, preferivelmente realizada pelos geradores no local de origem ou

então em locais licenciados para tal fim, lembrando-se de se respeitar as classificações. Outra etapa de suma importância é a de acondicionamento, onde o gerador deve acondicionar os resíduos desde sua geração até o transporte, garantindo as condições para reuso e reciclagem. Já o transporte deve ser feito de acordo com as normas técnicas. E, por fim, a destinação dos resíduos é prevista por uma classificação, de acordo com o tipo de resíduo, como apresentado anteriormente (BRASIL, 2019).

E então criaram-se planos de gestão de RCD, incluindo a criação de normas técnicas sobre a reciclagem de resíduos, como apresenta a Tabela 2:

Tabela 2 - Normas Técnicas sobre reciclagem de RCD.

Norma Técnica	Título
ABNT NBR 15113:2004	Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes – Aterros – Diretrizes para projeto, implantação e operação.
ABNT NBR 15114:2004	Resíduos sólidos da Construção civil – Áreas de reciclagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação.
ABNT NBR 15115:2004	Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos.
ABNT NBR 15116:2004	Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos.

Fonte: ABNT, 2004.

Tais medidas se fazem extremamente importantes em um país tão grande quanto o Brasil. Mas o problema vai mais adiante, pois além dos grandes geradores de RCD, existe uma gama de construtores informais; e isso dificulta e muito na quantificação real de resíduos (BRASIL, 2019). Informações sobre a geração de RCD no Brasil são bem limitadas, mas se sabe que os RCD compõem uma parcela significativa dos RSU no país, variando entre 51 a 70% (BRASIL, 2019).

Segundo a Abrelpe (2020), houve um aumento quantitativo de RCD coletado no país passando de 33 milhões de toneladas em 2010 para 44,5 milhões de toneladas em 2019, aumentando assim a quantidade per capita de 174,3 kg para 213,5 kg/habitante/ano.

3.3.3. Em São Paulo

A cidade de São Paulo é um importante polo comercial do Brasil, além de ser a sexta cidade mais populosa do mundo. Em consequência às elevadas taxas de crescimento, o município de São Paulo é responsável por produzir um volume considerável de resíduos. Com isso, tiveram de ser implementadas medidas a fim de gerenciar esse problema, sendo uma das ações vigentes o Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PGIRS); implantada em consonância com a lei 12.305/2010 o PGIRS trata-se de um instrumento importante da PNRS. O plano segue uma ordem de prioridade que vai desde a recomendação de não gerar resíduos até a disposição final ambientalmente correta (PGIRS, 2014).

Segundo dados do inventário estadual de Resíduos Sólidos Urbanos, a cidade de São Paulo produz 12.340 toneladas de RSU/dia. A maior parte desses resíduos, 7.500 toneladas de RSU/dia, tem como destino a Central de Tratamento de Resíduos Leste, localizada no distrito de São Mateus zona leste da cidade (CETESB, 2018).

Desse total de RSU produzido, 51% é composto de lixo orgânico e 32% de material reciclável. Apesar disso, a reciclagem na cidade de São Paulo é uma das mais baixas do Brasil em termos de massa recuperada per capita, conforme apontado pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (BRASIL, 2019)

Na cidade, é expressamente proibido o descarte de entulhos em logradouros públicos, então os Ecopontos são opções para destinar corretamente tais resíduos; lá são aceitos até 1 m³ de entulhos diariamente, por munícipe, de forma gratuita e a cidade conta atualmente com 115 desses pontos de coleta. Já para volumes superiores, o gerador fica responsável por remover e destinar corretamente os entulhos e assim contratar empresas cadastradas na administração municipal para realizarem o serviço de caçamba (PREFEITURA, 2021).

Perceberam-se resultados bastante positivos em locais cujos Ecopontos foram instalados, por isso, no dia 15 de maio de 2014, publicou-se o decreto nº 55.113, sobre a implantação de Ecopontos no município de São Paulo. A medida foi uma proposta para a solução do problema dos resíduos sólidos e seu descarte incorreto; norteadas pela lei 12.305/2010, que instituiu uma gestão integrada com uma série de ações voltadas para diminuir e controlar os impactos

causados por eles. O decreto também atribuiu à Autoridade Municipal de Limpeza Urbana – AMLURB a responsabilidade sobre as operações dos Ecopontos e de estabelecer as condições e detalhamentos, passando tal responsabilidade em relação aos serviços de zeladoria urbana, desde junho de 2019, para o consórcio vencedor da última licitação efetuada, composto pelas seguintes empresas: Corpus Saneamento e Obras LTDA, Sustentare Saneamento S. A., Consórcio Locat SP, Consórcio Limpa SP, Consórcio Ecos Ambienta e o Consórcio SCK – Eco Sampa.

Em São Paulo, a quantidade de pontos irregulares de descartes ainda é significativa, contudo, com recolhimento dos resíduos nos Ecopontos, desde 2016, como apresenta o Quadro 1, de um recolhimento inicial de 3.240 toneladas em janeiro de 2016, coletou-se em fevereiro de 2021 a quantia de 33.995 toneladas.

Quadro 1 – Resíduos recolhidos nos Ecopontos.

ECOPONTO													
	JANEIRO	FEVEREIRO	MARÇO	ABRIL	MAIO	JUNHO	JULHO	AGOSTO	SETEMBRO	OUTUBRO	NOVEMBRO	DEZEMBRO	TOTAL
2016	3.240	18.048	22.652	23.809	23.581	26.554	27.516	29.815	28.657	27.561	27.339	28.190	286.961
2017	26.459	27.101	32.446	26.949	30.857	30.236	31.915	33.046	31.778	31.486	31.634	32.264	366.171
2018	30.341	31.230	35.159	32.841	33.690	30.819	36.618	38.597	35.352	37.428	36.073	35.673	413.822
2019	36.532	36.992	38.227	40.459	40.148	28.873	36.623	38.352	36.974	42.030	38.401	34.125	447.735
2020	38.342	35.281	37.644	32.667	31.519	38.905	45.062	41.360	39.958	41.006	36.633	37.062	455.440
2021	32.366	33.995	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	66.361

Fonte: Prefeitura, 2021.

A Figura 3 apresenta o número de pontos viciados por subprefeituras em 2016, no mês de março:

Número de pontos viciados de lixo e entulho por subprefeitura

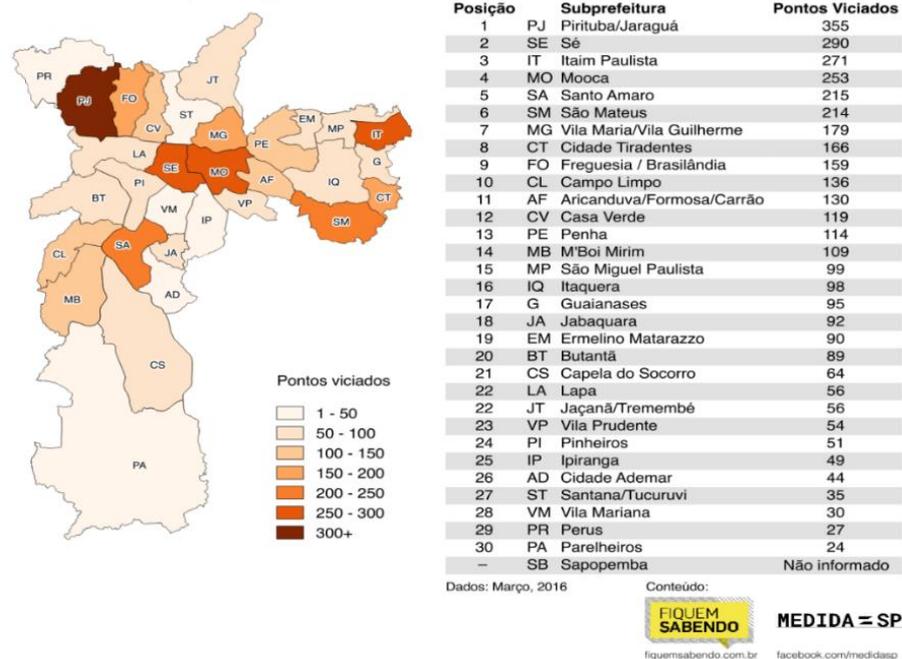


Figura 3 - Pontos viciados de descarte de lixo (PREFEITURA, 2021).

Como observa-se no infográfico, das 10 regiões com maior número de descarte inadequado, quatro ficam na zona mais populosa de São Paulo, a zona leste. (PREFEITURA, 2021).

3.3.4. No Itaim Paulista

A região do Itaim Paulista fica localizada no município de São Paulo, sua subprefeitura é uma das 32 que compõe as subprefeituras da cidade. Ao longo dos anos, pequenos bairros foram crescendo ao redor da região, o que a tornou em um grande aglomerado e com uma infraestrutura muito inferior ao que deveria ser.

A subprefeitura do Itaim Paulista conta com quatro dos 115 Ecopontos de São Paulo, são eles: Moreira, Mãe Preta, Pesqueiro e Flamingo. Um grande problema para se obter quantificações exatas nos Ecopontos do Itaim Paulista é que eles não possuem uma balança, por isso trabalha-se com valores estimados.

Os Ecopontos possuem diversas caçambas destinadas ao descarte de grandes objetos, podas de árvores e madeira, resíduos recicláveis e RCD. No Itaim Paulista, elas são trocadas várias vezes

ao longo do dia devido à grande rotatividade que acontece no local, principalmente as caçambas destinadas aos resíduos da construção.

Durante as visitas aos Ecopontos, pôde-se observar que, apesar do site da prefeitura informar que são aceitos até 1 m³ de entulhos por dia por munícipe, não há de fato um controle rigoroso. Os funcionários responsáveis pelo Ecoponto registram o nome, a placa do veículo e o número do documento da pessoa que está entrando para fazer o descarte e não existem instrumentos para a quantificação dos resíduos que são depositados.

Apesar de existirem caçambas específicas para cada tipo de resíduos, é bastante comum encontrar itens descartados em locais errados, como, por exemplo, dentro das caçambas de RCD pode-se encontrar pedaços de isopor, embalagens de plástico e sacos de cimento.

3.4. Catástrofes e a geração de RCD

Outras fontes que geram imensas quantidades de resíduos provenientes da construção são os acontecimentos catastróficos causados por desastres, sejam eles de causas naturais ou humanas, que levam abaixo casas, edifícios, estabelecimentos e tudo que estiver por perto.

Santos (2007) afirma que os desastres naturais e as guerras são fontes de geração excessiva de RCD. Um exemplo de uma calamidade de causa natural foi um maremoto que ocorreu no Oceano Índico, no ano de 2004, atingiu 12 países e levou à ruína mais de 400 mil casas. Um outro caso citado pelo autor aconteceu em 1994, um ano após um terremoto ter atingido Los Angeles, quando foi quantificado cerca de 3 milhões de toneladas de escombros; a fim de solucionar o problema, foi implementado, por autoridades locais e órgãos do governo, a reciclagem de tais resíduos.

Outro evento desastroso ocorrido recentemente, no ano de 2020, foi a explosão no porto de Beirute, capital do Líbano. A imensa explosão deixou inúmeros rastros nas ruas da cidade, mesmo a quilômetros de distância do local, deixando a cidade repleta de escombros, como mostra a Figura 4:



Figura 4 - Beirute após a explosão (CERIONI, 2020).

Dias após a catástrofe, dezenas de libaneses se reuniram, voluntariamente, para efetuar a limpeza dos detritos espalhados pela cidade, após o pedido feito pela embaixada do Líbano, solicitando ajuda humanitária.

Um caso bastante interessante no Brasil, embora não tenha sido uma catástrofe, foi a desconstrução dos bairros cotas na Serra do Mar, que exigiu um estudo para destinação dos Resíduos da Construção. Por conta das características topográficas e climáticas do local serem propícias a desastres naturais, agravadas ainda pela ocupação desordenada, o bairro de Cubatão que separava o planalto e a região litorânea, teve que ser removido e ser recolocado. Com isso, houve a geração de RCD e, diferente da maioria dos casos, houve um estudo cercado o tema, onde o plano de demolição já contava com os parâmetros de reciclagem para uso em agregado reciclado (GEOTECNIA AMBIENTAL, 2008).

3.5. Agregado Reciclado

O estudo sobre o uso de agregados reciclados em pavimentações teve início na década de 90, no Reino Unido. Pesquisas foram efetuadas buscando-se formas de incorporar o agregado reciclado na construção, mesmo o país na época possuindo uma quantidade considerável de recursos naturais. Os materiais foram submetidos a ensaios de Índice de Suporte Califórnia e mesmo apresentando uma resistência menor do que peças elaboradas com os materiais usuais,

todas as amostras analisadas apresentaram-se dentro do padrão, estabelecido pelo país, de Índice de Suporte California superior a 30% (O'MAHONY, MILLIGAN, 1991).

Assim como quase tudo na construção civil, os agregados reciclados também são norteados e especificados por uma norma técnica brasileira, no caso a ABNT/NBR 15116: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – requisitos. A norma foi publicada no dia 31 de agosto de 2004 com o intuito de estabelecer limites a serem respeitados para o uso desses resíduos. Especificamente, para o uso em pavimentação e concretos sem função estrutural. A norma define o agregado reciclado como sendo um material granular proveniente de RCD, que contém propriedades para o uso em obras de edificação e infraestrutura.

Os agregados reciclados, destinados a obras viárias, são apropriados para o uso em: camadas de reforço do subleito, sub-base e base de pavimentação ou revestimento primário de vias não pavimentadas (ABNT, 2004). A Figura 5 ilustra as camadas de um pavimento:

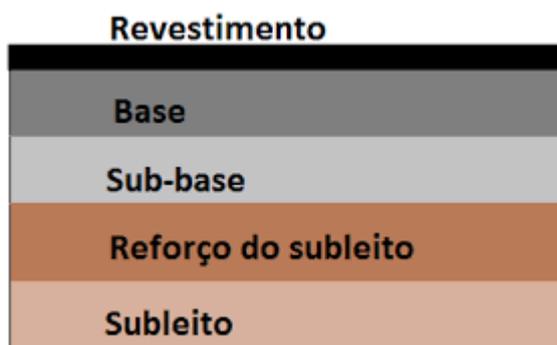


Figura 5 - Camadas de pavimentação (HERMES, 2013).

Eles são divididos em dois grupos: Agregados de Resíduo de Concreto (ARC) e Agregado de Resíduo Misto (ARM). O primeiro tipo, ARC, são compostos na fração graúda por no mínimo 90% em massa de fragmentos à base de cimento Portland e rochas. Já os ARM têm sua composição inferior a 90% de massa de cimento Portland e rochas (ALENCAR, 2013).

Os agregados naturais diferenciam-se dos reciclados em alguns quesitos e isso se dá, principalmente, pela composição distinta entre eles. No caso do RCD, a composição varia de acordo com o material que está presente na mistura. Outro fator que influencia na diferença de propriedades entre eles é a quantidade de argamassa aderida à superfície. Essa argamassa tem influência desde as propriedades dos agregados até o produto de concreto produzido. Dentre as características do concreto produzido a partir de um agregado reciclado em relação ao natural,

pode-se citar uma maior porosidade e uma maior absorção de água, já a massa específica acaba sendo menor (GONÇALVES, 2001). A Figura 6 mostra o agregado reciclado depois de processado:



Figura 6 - Agregado reciclado (ARQXP, 2020).

A porosidade é um elemento de suma importância para as propriedades mecânicas de uma peça de concreto, ela é determinante para a aplicação dele. No caso dos RCD, por propiciar uma maior porosidade ao material que será produzido, acaba por resultar em uma menor resistência a esforços mecânicos. A porosidade do agregado é dada pela relação entre o volume de vazios e o volume de sólidos, em porcentagem.

Já a absorção de água está diretamente ligada à porosidade, a relação entre eles é diretamente proporcional e se dá pela entrada de água nos poros do agregado, por isso, conforme a variação da porosidade do agregado, a absorção de água também irá variar. Um concreto poroso absorverá uma maior quantidade de água, por exemplo.

E, por fim, a massa específica também se relaciona com a porosidade do agregado, porém a relação entre eles já é inversamente proporcional. E ela também varia de acordo com a porosidade do agregado.

O Brasil ainda conta com uma associação que representa o setor de reciclagem de entulhos no país, a Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição (ABRECON). A ABRECON foi criada com o intuito de dar visibilidade às empresas recicladoras e chamar atenção de governantes e sociedade sobre a problemática do enorme volume de RCD gerado e a importância de gerenciá-los. A associação disponibiliza a legislação

responsável pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), os decretos e as normas responsáveis por especificar padrões de reciclagem de resíduos.

Leite (2001) afirma que, para se obter uma maior difusão do uso de agregados reciclados para a produção de componentes de concreto, necessita-se de uma caracterização sistemática; e que apenas conhecendo bem o comportamento do material reciclado dentro da mistura será possível obter-se bons resultados e produtos de qualidade.

3.6. Piso permeável

3.6.1. O problema do escoamento superficial

A impermeabilização de grandes áreas, como acontece nas grandes cidades, vem acarretando inúmeros problemas para a drenagem urbana e para as bacias naturais; com a dificuldade de infiltrar no solo, aumentam-se os picos de vazão e, em consequência a isso, aumenta o número de inundações. Segundo Tucci et al. (2001), os transtornos causados pelo acúmulo de água superficial nas zonas urbanas se dão por um fator principal: o grau de ocupação da bacia pela população.

Muitas das catástrofes, que ocorrem relacionadas a enchentes e inundações, são noticiadas equivocadamente como sendo apenas o resultado de um desastre natural, resultante de uma precipitação elevada ou característica de uma época do ano. Mas o fator causador desses desastres é a soma de fatores geotécnicos com a elevada urbanização, tudo isso combinado com uma rede de drenagem insuficiente (GUTIERREZ; RAMOS, 2019).

Segundo Marchioni e Silva (2010), os efeitos causados pelas “ilhas de calor” acabam intensificando este problema, pois o aumento da temperatura em áreas muito povoadas acaba dando ainda mais intensidade às precipitações. Os autores apontam também o acúmulo de detritos em superfícies como ruas, estacionamentos e calçadas como outra fonte do problema, pois eles acabam sendo carregados por enxurradas para rios e canais; trata-se de um tipo de poluição ainda mais difícil de controlar, pois sua fonte de geração é incerta.

3.6.2. Pavimentação permeável como uma solução

As soluções voltadas à detenção e infiltração da água superficial para reservatórios temporários são medidas que se apresentam bastante efetivas para controle na fonte de áreas pequenas.

Diversos dispositivos vêm sendo empregados para promover a infiltração de água no solo e postergar o tempo de escoamento superficial, proporcionando assim uma maior capacidade de infiltração, semelhante ao que era antes de tamanha urbanização; são eles: valas de infiltração, bacias de percolação, trincheiras, meio fio permeável, entradas permeáveis nas redes de drenagem e os pavimentos permeáveis (TUCCI; DAVIS, 1995).

O piso permeável é uma dessas opções para substituir pavimentos impermeáveis em áreas onde há um tráfego menor, como estacionamentos, parques, lotes e vias de pedestres, por exemplo. Para Ferguson (2005), pavimento permeável é aquele cuja estrutura apresenta espaços livres para que a água escoe. Segundo Urbonas e Stahre (1993), o pavimento permeável refere-se a três classes distintas de pavimentos, são elas: asfalto poroso, concreto poroso e blocos de concreto com superfície que visa minimizar o escoamento superficial.

O escoamento superficial com o uso deste dispositivo pode ser reduzido em até 100%, dependendo da intensidade da chuva, e auxilia a retardar a chegada da água ao subleito. Outra boa característica do piso permeável se dá pela sua camada de base granular e serve como um filtro para a água proveniente das chuvas, reduzindo assim a sua contaminação. E todos os benefícios proporcionados por sua utilização contam com o bônus de manter a área útil do terreno (MARCHIONI; SILVA, 2010).

A diferença de uma área com pavimentação permeável para uma área impermeável é visível; em terrenos onde são encontrados os dois tipos, pode-se observar uma diferença considerável no acúmulo de água superficial. Na Figura 7, constata-se a eficiência do piso permeável:

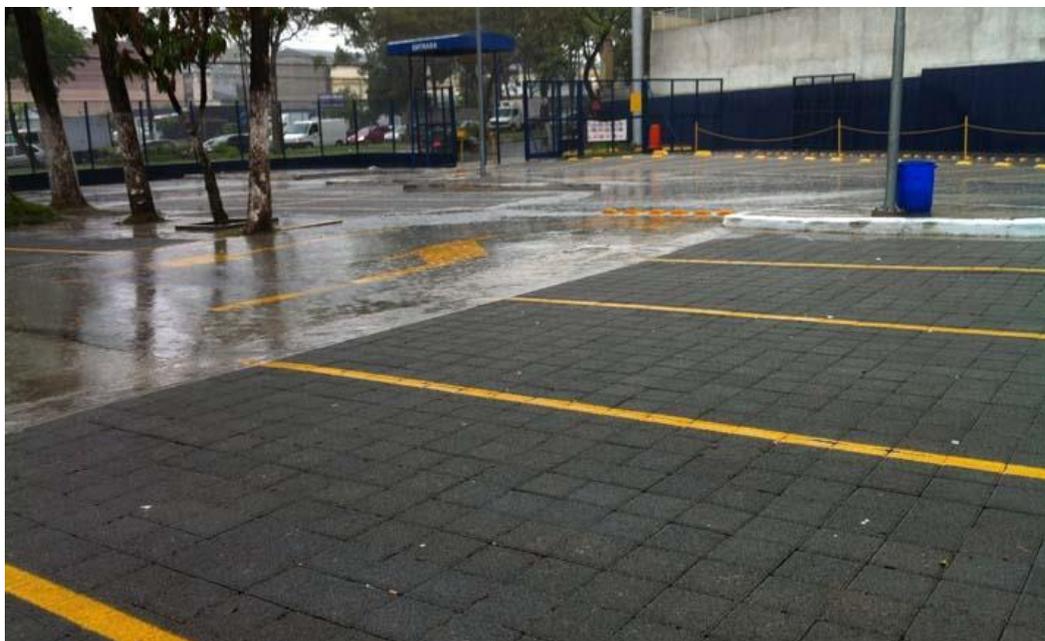


Figura 7 - Diferença de escoamento superficial entre pavimentos permeáveis e impermeáveis (RHINO PISOS, 2013).

A fabricação de um concreto permeável assemelha-se com a de um convencional, a diferença se dá principalmente pelo índice de vazios; em síntese, retira-se os finos da camada do pavimento drenante e deixa-os com a granulometria dos materiais utilizados. Com isso, o concreto drenante acaba tendo um empacotamento menor que o convencional, o que o torna menos resistente.

Os pisos permeáveis são confeccionados com duas camadas de agregados, sendo que uma delas é composta por agregados miúdos (finos ou médios) e a outra por agregados graúdos (SCHUELER, 1987 apud ACIOLI et al., 2003).

Segundo Alencar (2013), a camada subjacente ao piso permeável é constituída por uma faixa de areia sobreposta a um material granular, tipo a brita. E essa última camada tem a função de armazenamento, trata-se de um reservatório projetado para acondicionar o volume de água de uma chuva de projeto, menos o volume que é infiltrado durante a chuva. E é importante ressaltar ainda que a permeabilidade do piso está diretamente ligada ao berço onde os pisos são assentados.

É fundamental que a camada de revestimento permita a passagem da água de forma rápida, para que só então ela fique armazenada durante um período nas camadas de base e sub-base. Além disso, todo pavimento, seja ele permeável ou não, deve suportar a carga a qual é solicitado e distribuí-la ao solo em uma magnitude suportada por ele. Para os pisos permeáveis, a estrutura deve ser confeccionada de uma maneira que a água infiltrada escoe para o solo ou num sistema de drenagem (Figura 8) (MARCHIONI; SILVA, 2010).



Figura 8 - Camadas de pavimentação permeável esquematizada (ARCH DAILY, 2019).

A norma técnica sobre pavimentos permeáveis de concreto, NBR 16416 (2015), determina as tipologias de revestimentos permeáveis da seguinte maneira:

- Revestimento de pavimento intertravado permeável. Este primeiro caso pode ser constituído por peças de concreto com juntas alargadas, peças de concreto com áreas vazadas ou peças de concreto permeável;
- Revestimento de pavimento de placas de concreto permeável;
- Revestimento de pavimento de concreto permeável.

A NBR 16416 (2015) estipula também os sistemas de infiltração nos quais o pavimento pode ser concebido, a escolha deste depende principalmente de dois fatores: as características do solo ou as condições de contorno do projeto. Os sistemas de infiltração são classificados em três tipos, de acordo com a infiltração: infiltração total (Figura 9), infiltração parcial (Figura 10) e sem infiltração (Figura 11).

Na infiltração total, toda água precipitada é infiltrada, ela passa por todas as camadas até chegar ao subleito.

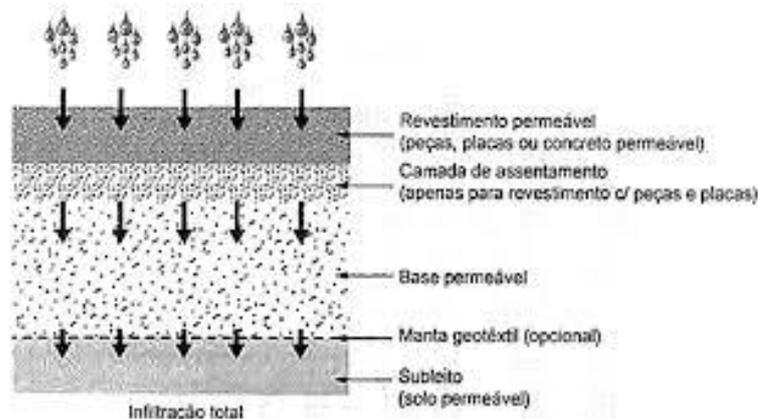


Figura 9 - Sistema de infiltração total (NBR 16416).

Nesse segundo sistema, uma parte da água chega ao subleito e infiltra, enquanto a outra parte fica armazenada temporariamente dentro da estrutura e, posteriormente, é removida por um dreno que se encontra também na estrutura permeável.

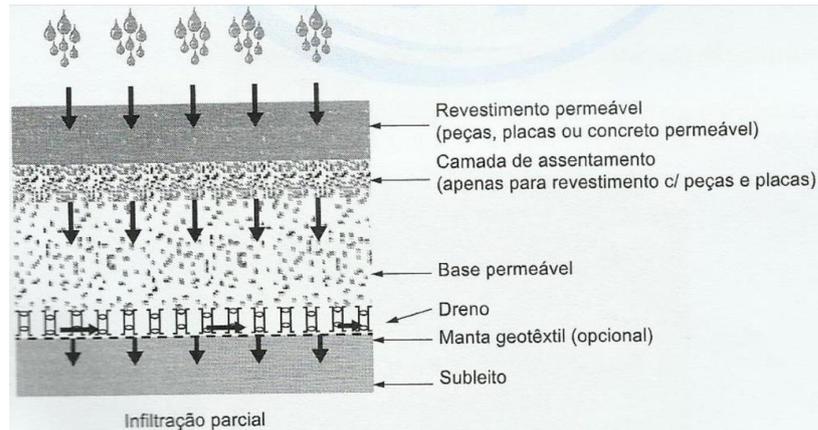


Figura 10 - Sistema de infiltração parcial (NBR 16416).

E, por fim, no sistema sem infiltração, toda a água precipitada fica retida temporariamente na estrutura, porém sem infiltrar no subleito, sendo removida depois por meio do dreno.

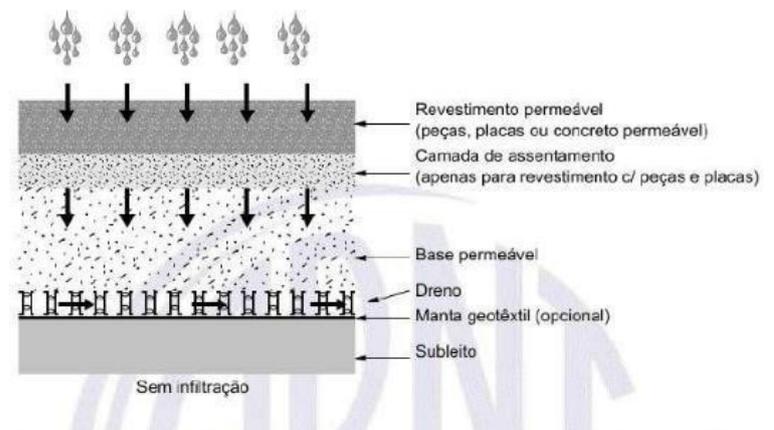


Figura 11 - Sistema sem infiltração (NBR 16416).

Por isso é muito importante elaborar um estudo aprofundado sobre a região de aplicação do pavimento permeável, para escolher corretamente o sistema de infiltração que melhor se adequa e atenda as especificações da norma. O projeto desse tipo de pavimentação deve atender alguns requisitos mínimos, como as condições de implantação, condições de carregamento quanto à solicitação, capacidade de suporte do solo, coeficiente de permeabilidade do subleito, condições de saturação do solo, o nível do lençol freático, saber as áreas de contribuição, utilizar a declividade adequada, ter uma resistência mecânica mínima, etc.

Outro ponto importante é a manutenção dos pavimentos permeáveis que deve evitar o acúmulo de detritos e o crescimento de vegetação entre os espaçamentos. A Figura 12 apresenta um

pavimento com crescimento de vegetação nos espaços vazios. isto porque tais fatores, como a aglomeração de sedimentos, podem reduzir significativamente a capacidade de infiltração. Por isso, em um período de aproximadamente 10 anos, é necessário realizar alguns reparos, para garantir a eficiência do produto; é recomendado que haja uma substituição do material de rejuntamento. Recomenda-se que ainda uma limpeza anual para retirar os sedimentos acumulados e, para isso, pode-se fazer o uso de equipamentos que aspirem o pavimento, promovendo uma limpeza e aumentando a vida útil da peça (MARCHIONI; SILVA, 2010).



Figura 12 - Crescimento de vegetação em juntas de pavimento permeável (MARCHIONI; SILVA, 2010).

Uma estratégia que vem sendo adotada por algumas prefeituras das grandes cidades, a fim de auxiliar no controle do escoamento de água superficial, é a implementação de uma taxa de permeabilidade. Segundo Marchioni e Silva (2010), em algumas cidades, é exigido que uma porcentagem do terreno seja mantida livre, sem pavimentações ou construções, esta taxa varia entre 15 a 30%. Porém, muitas vezes, este requisito não é atendido e mais uma vez o pavimento permeável se apresenta como uma boa opção para solucionar o problema.

3.6.3. Eficiência dos pavimentos permeáveis

Muitos estudos, incluindo o presente, vêm sendo elaborados visando provar a eficácia dos pavimentos permeáveis para solucionar ou minimizar o problema de drenagem urbana. A maior parte dos resultados apresentam um bom desempenho dos pisos como uma proposta promissora.

Para evidenciar a eficiência dos pisos permeáveis, Araújo et al. (2000) realizaram um experimento que consistiu em simular uma chuva sobre diversos tipos de superfícies. O objetivo de tal simulação era determinar as leis de infiltração e o escoamento superficial para depois relacioná-los a escalas maiores de águas e bacias. O aparelho utilizado tem a capacidade de simular diferentes intensidades de precipitações sobre uma peça de 1 m². Foram amostrados pisos com 3 sistemas de drenagem distintos: impermeável, semipermeável e permeável. E como era de se esperar, o sistema de drenagem permeável apresentou o melhor desempenho, tendendo a zero em relação ao escoamento superficial; já os semipermeáveis apresentaram um desempenho favorável em comparação aos pavimentos impermeáveis; e o sistema impermeável resultou na geração de escoamento superficial em todas as chuvas às quais foi submetido.

Já o trabalho de Pinto (2011) buscou propor a adoção de uma técnica compensatória. Para isso, foi utilizada uma pavimentação permeável com o sistema sem infiltração. Implantou-se o dispositivo em um estacionamento e monitorou-se o desempenho de dois tipos de estrutura com revestimentos de concreto, os Bloco de Cimento Portland (BCP) e o Concreto Poroso Asfáltico (CPA). O experimento teve duração de 6 meses e contou com uma estação pluviométrica e 4 sensores de nível. Os resultados apresentados mostraram que a estrutura com revestimento BCP amorteceu a vazão afluyente entre 28% e 85%, enquanto o CPA 56% e 85%; constatando assim a eficácia.

Silva (2006) apresentou um estudo experimental visando verificar a eficiência de diferentes tipos de superfícies permeáveis, também a fim de analisar a funcionalidade delas para controle da geração do escoamento superficial. Para o experimento, foram usados 4 tipos de superfícies: com grama; com solo exposto; revestimento com blocos de concreto maciços; revestimento com blocos de concreto vazados. Foram amostradas parcelas experimentais de 1 m², que foram submetidas a simulações de chuvas artificiais, para quantificar o processo de escoamento superficial e a infiltração. Os resultados apresentaram uma eficiência significativa do revestimento do tipo bloco vazado; já a superfície com bloco maciço apresentou eficiência reduzida. Outro fator relevante, evidenciado pela pesquisa, foi que a deposição de sedimentos, somada à passagem de veículos, levou à perda de quase toda eficiência do dispositivo. O autor ressalta que para a obtenção de bons resultados a manutenção frequente dos revestimentos permeáveis é imprescindível; mas ainda assim classifica-os como viável para auxiliar no escoamento superficial.

Outro ponto em que o concreto permeável se apresenta bastante eficiente é nas causas que se referem às ilhas de calor; o concreto permeável acaba tendo uma coloração mais clara e isso o

leva a ter menor reflexão e um resfriamento evaporativo (LI; HARVEY; GE, 2014 apud OLIVEIRA, 2017).

O trabalho desenvolvido por Santos (2017) visou contribuir ao meio ambiente e, para isso, analisou características mecânicas e a viabilidade técnica do concreto permeável com substituição parcial do agregado natural por resíduos da construção civil. Em sua metodologia, confeccionou corpos de prova de concreto permeável utilizando o agregado reciclado e apresentou os resultados que obteve. Como a grande maioria dos trabalhos envolvendo a substituição do agregado natural por RCD, usou-se dosagens diferentes de agregado reciclado, variando em 15%, 25% e 35% de RCD do total de agregado gráudo substituído no concreto. O concreto com a menor dosagem de RCD (15%) apresentou a melhor viabilidade técnica. Com os ensaios realizados, Santos (2017) evidenciou a positiva viabilidade do RCD no concreto permeável.

Oliveira (2017) realizou um trabalho para a banca de Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, com o objetivo de investigar um traço de um concreto permeável com alta taxa de componentes permeáveis de forma experimental.

Para a realização da pesquisa, o autor utilizou agregados reciclados disponíveis na região de Curitiba, o material composto por miúdos e gráudos era de origem cimentícia e foi retirado do Distrito de Manutenção Urbana – Regional Pinheirinho (órgão da Prefeitura Municipal de Curitiba). Contou também com agregados virgens, Cimento Portland de Alta Resistencia Inicial, CP- V ARI, da marca Itambé Cimentos e água de amassamento obtida pela rede municipal de abastecimento do Paraná.

Uma parte muito importante do trabalho foi a de caracterizar agregados, primeiro eles passaram por uma caracterização visual, física, química e mecânica. Depois foram realizados ensaios normatizados pela NBR 15116.

Para a produção do piso permeável, o traço escolhido baseou-se em trabalhos anteriores e foi adaptado de acordo com as características dos agregados utilizados no experimento. O traço base foi 1:1:5:0,43 (sendo respectivamente os valores de cimento, agregado miúdo, agregado gráudo e água). Porém, mudanças no traço original tiveram de ser feitas; e o traço inicial para o concreto de referência, com 0% dos agregados reciclados, foi alterado para 1:0,5:5,5:0,43. Como o traço de referência utiliza em sua composição a brita virgem, o autor elaborou diferentes tipos de traços com porcentagens distintas de materiais reciclados. A Tabela 3, adaptada do trabalho de Oliveira (2017), apresenta os valores estipulados:

Tabela 3 - Traços utilizados para as composições de concreto.

Traço	Cimento	Agregado miúdo	Agregado graúdo	Água
0% Reciclado	1	0,5	5,5	0,43
30% Reciclado	1	0,425	5,575	0,56
70% Reciclado	1	0,325	5,675	0,73
100% Reciclado	1	0,25	5,75	0,85

Fonte: Oliveira, 2017.

Concluiu-se que o agregado reciclado diminui a taxa de permeabilidade e a massa específica e provoca a queda na resistência mecânica. E que, apesar disso, todas as composições de concreto estão aptas a serem usadas em placas de concreto permeáveis, tanto para o tráfego de pessoas como para o tráfego leve de veículos. Em relação à permeabilidade, todas as composições estudadas demonstraram ser permeáveis, atendendo ao estabelecido pela norma brasileira que trata de pavimentos permeáveis; com um coeficiente de permeabilidade 3,9 vezes maior do que o mínimo estabelecido em norma, mostrando-se, assim, bastante eficiente.

Com base nas pesquisas acima, pode-se chegar à conclusão de que o piso permeável se apresenta como uma medida eficaz; porém necessita de uma manutenção regular e um projeto bem elaborado com base na aplicação para a qual será requisitado. Além disso, é importante que o local seja suscetível a receber este tipo de pavimentação, levando-se em consideração o tipo de tráfego, o solo e as cargas solicitantes.

3.6.4. Piso permeável produzido com agregado reciclado

O intuito de se utilizar um agregado reciclado de RCD para produzir um piso permeável é solucionar dois problemas, que estão intimamente ligados, de uma só vez: a drenagem de grandes áreas urbanas e a poluição causada pelo descarte inadequado de RCD. Um grande empecilho, que sonda o tema, é a falta de estudos a respeito e isso atrapalha na hora de definir valores esperados para resistência.

Segundo Alencar (2013), no país, existem fábricas de diversos tipos de pisos permeáveis, porém, em sua maioria, elas utilizam agregados naturais e, quando muito, incorporam reciclados como borracha moída. Por isso, a inclusão de agregados reciclados de RCD se apresenta como uma proposta inovadora na fabricação de pisos permeáveis.

Os agregados reciclados se encaixam, em sua maioria, dentro do padrão adequado para aplicação em pavimentos, sem perder a resistência à compressão. Porém, uma atenção especial é requerida quando se trata da pavimentação permeável, isto porque a água entra em contato com o material, no caso o RCD, e pode acabar levando resquícios dele. E se o agregado estiver contaminado, seja ele tóxico ou não, poderá ser arrastado para os cursos superficiais de água ou lençol freático, poluindo-os (JIMÉNEZ et al., 2012 apud OLIVEIRA, 2017).

Segundo Oliveira (2017), o uso de agregado reciclado como opção para substituir o agregado natural aponta uma queda de resistência. E isso se dá principalmente pelo fato do material reciclado ser mais frágil e acabar se quebrando na hora da mistura, o que impacta no composto como um todo. E no caso do concreto permeável, com o uso do agregado reciclado, essa queda se dá mais abruptamente por dois fatores: o maior índice de vazios requerido por um componente permeável e a maior fragilidade do agregado reciclado.

Grande parte dos estudos disponíveis sobre o tema propõem a substituição parcial do agregado natural por RCD em porcentagens distintas, a fim de analisar a variação que ocorrem e as propriedades mecânicas alcançadas. Começa-se, geralmente, com um piso permeável convencional, sem o agregado reciclado, para ser utilizado como parâmetro. Depois, utiliza-se dosagens diferentes de concreto com porcentagens de agregado reciclado junto ao agregado natural, por exemplo, prepara-se um concreto com uma substituição de 30% de agregado reciclado; posteriormente, faz-se uma dosagem maior, como 50% e assim por diante. Desta forma, é possível avaliar as mudanças nas propriedades do concreto causadas pelo agregado reciclado.

5. OS BENEFÍCIOS DO RCD

5.1. Viabilidade técnica e econômica da utilização do RCD

As rochas para britagem e areias, são os insumos naturais mais utilizados na construção civil e são facilmente encontradas na natureza. Porém, esta mesma facilidade não ocorre perto dos grandes centros consumidores, e, por se tratar de produtos de baixo custo unitário, para que sua extração traga um retorno financeiro é necessário que seja feita em larga escala, o que resulta no esgotamento destas jazidas (CORREIA, 2014).

Segundo Almeida et al. (2018), o reaproveitamento do RCD apresenta resultados positivos nos quesitos ambientais, técnicos e econômicos. No quesito ambiental o problema principal dos resíduos é a deposição em locais irregulares, os grandes volumes gerados, simultaneamente a extração em excesso das matérias primas de jazidas para a construção e manutenção de vias urbanas. Já do ponto de vista técnico, inúmeros trabalhos apresentam a viabilidade técnica do agregado reciclado no uso em pavimentações, apresentando um desempenho satisfatório. E por fim, do ponto de vista econômico o RCD apresenta-se como uma alternativa sustentável de não explorar novas jazidas.

Um trabalho realizado por Amorim (2013) em Brasília, sobre um estudo de caso do município de Campo Verde (MT), estudou a viabilidade técnica econômica da utilização de um solo com RCD para camadas de base de pavimentos urbanos. Para tanto, a primeira parte da pesquisa consistiu em realizar ensaios técnicos e confeccionar um trecho experimental de pavimentação asfáltica, onde fora utilizado na camada de base um RCD associado a um solo laterítico, típico da região. Já a segunda parte, avaliou a viabilidade econômica da solução apresentada no trabalho, realizando um estudo financeiro baseado nos conceitos da engenharia econômica. Os tópicos do trabalho abrangeram: a geração per capita de RCD, demanda de pavimentação na época do estudo, os elementos necessários para a implantação de uma usina recicladora, os fatores referentes aos custos da reciclagem de RCD (coleta e transporte, custo de produção dos agregado reciclado de RCD e depreciação da usina de reciclagem) e os benefícios econômicos gerados pela reciclagem de RCD em Campo Verde (MT). O autor dividiu os benefícios econômicos gerados em duas parcelas; a primeira referente ao custo de coleta e transporte do RCD até o lixão, que no caso deixaria de existir, e, a segunda sobre os benefícios voltados as questões ambientais, uma vez que os RCD não ocupariam mais espaços para estocagem, tudo

isso somado a economia de materiais naturais extraídos de jazidas, se substituíssem insumos naturais por RCD em camadas de bases dos pavimentos urbanos de Campo Verde (MT). Outro estudo, realizado na zona leste de São Paulo, também abordou a viabilidade econômica da utilização de resíduos de demolição reciclados na execução do contrapiso de um edifício. O trabalho considerou duas hipóteses, a primeira consistia na destinação dos resíduos para um aterro licenciado e depois adquirir material granular natural em volume suficiente; e a segunda reciclar os resíduos da demolição “in loco”, utilizando um equipamento móvel para britagem e assim, substituir o material natural por completo pelo reciclado. Além disso, cotou-se preços de mercado para o transporte e deposição final dos resíduos com empresas em conformidade com a AMLURB e veículos com comprovante de segurança veicular credenciado pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO). Levantou-se também os preços do material natural e a locação do equipamento de britagem. O trabalho concluiu que a reciclagem “in loco” dos resíduos só se torna atrativa a partir de um determinado volume, no caso da obra em estudo, chegou-se a um volume mínimo de 75 m³. Outra observação feita foi referente a produtividade da recicladora, de 100 toneladas/hora de reciclagem de resíduos, constatando que para que se torne economicamente interessante haja um volume mínimo de 120 m³. Portanto, recomenda-se que faça um estudo prévio para verificar se a obra fornecerá o volume necessário de resíduos a serem reciclados (PASCHOALIN FILHO et al., 2014).

5.2. Ciclo de vida do RCD

A ABNT NBR ISO 14040:2014 define ciclo de vida como “estágios consecutivos e encadeados de um sistema de produto, desde a aquisição da matéria-prima ou de sua geração a partir de recursos naturais até a disposição final”.

Segundo Barreto (2014), uma ferramenta utilizada é a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma metodologia normatizada pela ABNT NBR ISO 14040:2014 e NBR ISO 14044:2009, cuja função é identificar os aspectos e impactos ambientais relacionados ao ciclo de vida de um produto ou serviço, em resumo trata-se de uma metodologia que auxilia na tomada de decisões, do ponto de vista ambiental.

Os materiais utilizados na construção civil causam impactos em todo o seu ciclo de vida, desde a sua extração até o seu descarte, por isso se faz tão importante uma avaliação sistêmica como a ACV; uma vez que trata-se de uma ferramenta baseada na quantificação de fluxos de matéria

e energia de cada produto, subsidiando-se assim escolhas mais adequadas (FUKUNISHI, 2014).

Estanqueiro (2012), abordou em seu estudo uma análise de ciclo de vida da utilização de agregado reciclado na produção do concreto, como uma alternativa de prolongar o ciclo de vida dos materiais utilizados na construção. O trabalho apresenta, de forma bastante simples, o ciclo de vida do concreto com o seu início, na seleção e extração dos materiais para a fabricação dele, passando pela construção de elementos, até a sua demolição. Uma vez que se acrescenta a reciclagem dos resíduos da construção e demolição, ela entra como uma quarta etapa, que dá continuidade a esse ciclo, como pode-se observar na Figura 13:

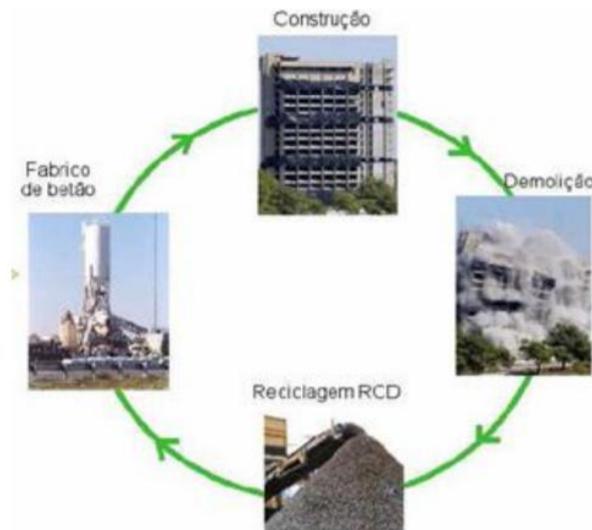


Figura 13 - Ciclo de vida do concreto (MARTINS et al., 2008).

O trabalho de Estanqueiro (2012), realizou também uma comparação do ciclo de vida do agregado natural com o agregado reciclado, para constatar qual deles apresenta maiores vantagens ambientais. Para isso, dividiu-se o estudo de caso realizado em Lisboa, Portugal, em três cenários: a utilização de agregados naturais para a fabricação de concreto, a utilização de agregado reciclado para a produção de concreto com uma central fixa de reciclagem e a utilização de agregado reciclado para a produção de concreto utilizando uma central móvel de reciclagem. O trabalho também contou com a ajuda do *software* SimaPro para realizar a ACV, e, todos os dados utilizados pertencem ao centro Suiço de inventários de ciclo de vida. Após uma série de análises, chegou-se a conclusão de que a produção de concreto com agregado

reciclado com um reciclador móvel é o que apresenta maiores benefícios ao meio ambiente, como mostra a Tabela 4:

Tabela 4 – Resultados dos Impactos ambientais em cada um dos cenários.

Categorias de impactos ambientais	Cenário 1 (agregados naturais)	Cenário 2 (agregado reciclado com central fixa)	Cenário 3 (agregado reciclado com central móvel)
Aquecimento global (kg/CO2 eq.)	242	203,52	194,16
Acidificação (kg/SO2 eq.)	0,88	0,83	0,78
Eutrofização (kg/PO4-3 eq.)	6,79	6,07	6,07
Destruição do ozono (kg/CFC11 eq.)	2,64E-05	1,79E-05	1,63E-05
Formação de oxidantes (kg/ C2H4 eq.)	0,05	0,043	0,042
Energia renovável (Mj)	48,65	-1801,17	-1762,32
Energia não renovável (Mj)	2829,84	1605,12	1452,96

Fonte: Estanqueiro, 2012.

5.3. RCD e as áreas irregulares

Segundo Koury e Cavallari (2018), o Itaim Paulista está localizado em uma Macrozona de Estruturação e Qualificação Urbana, que apresenta uma grande desigualdade socioespacial de São Paulo, conhecido como centros e periferias.

Por este motivo, o trabalho escolheu o bairro do Itaim Paulista a fim de apresentar uma proposta para reinserir os resíduos descartados nos Ecopontos dentro da própria região, uma vez que quanto maior a região, maiores são os impactos ambientais gerados.

A ideia da fabricação de pisos permeáveis se torna viável pois, trata-se de um componente que se encaixa nos parâmetros do agregado reciclado. E isto pode trazer benefícios na drenagem urbana, uma vez que vários fatores, dentre os quais as fortes chuvas, acarretam problemas em toda a cidade de São Paulo, além disso, apresentaria uma solução para a grande quantidade de resíduos descartados diariamente nos Ecopontos.

O agregado reciclado de RCD apresenta características muito parecidas aos produtos orginais, isto porque, cerca de 90% dos materiais que compõem os RCD podem ser reciclados,

contribuindo assim para o corte de gastos com materiais e com a redução da exploração em massa dos recursos naturais, fatores estes que estimulam empresas a investir na reciclagem (KAPUSCINSKI et al., 2019).

Segundo Zordan (2002), a utilização de agregado reciclado em pavimentação trás inúmeros benefícios à sua aplicação, como: menos utilização de tecnologia; menor custo operacional; utilização de componentes minerais do entulho, sem precisar realizar uma separação; economia de energia no processamento; maior eficiência na adição com solos saprolíticos em relação a brita.

Além dos benefícios econômicos com a produção de um material gerado de resíduos de baixo custo, que já foram citados, a reutilização de materiais descartados nos Ecopontos agregaria benefícios sociais a região, como a geração de novos empregos nas recicladoras e nos próprios Ecopontos, que passariam a desenvolver uma nova atividade no local. E aplicando o agregado reciclado dentro da região do Itaim Paulista, otimizaria custos para a prefeitura com o transporte do material, armazenamento e ele poderia ser utilizado em eventuais manutenções no bairro ou em novos componentes, como sugere o trabalho.

6. METODOLOGIA

Inicialmente, a metodologia aplicada neste trabalho foi dividida em duas partes: teórica e empírica. Associando uma revisão bibliográfica a um programa experimental para evidenciar a viabilidade de uso e produção do material desenvolvido: um piso permeável com a utilização de agregados reciclados de RCD extraídos dos Ecopontos do Itaim Paulista.

A primeira parte, fundamental em qualquer pesquisa, baseou-se em um estudo aprofundado na teoria; que consistiu em realizar uma revisão de literatura sobre os temas abordados no presente trabalho. Para ter acesso a monografias, teses, artigos, dissertações e revistas, utilizou-se a ferramenta disponibilizada pelo Google chamada “Google Scholar”, onde pode-se encontrar um acervo de conteúdos acadêmicos. Para iniciar as pesquisas, digitava-se na barra de pesquisa temas relacionados à drenagem urbana, aos resíduos da construção e demolição, aos pisos drenantes, pavimentos permeáveis com agregado reciclado, agregados reciclados de RCD e sustentabilidade na construção civil. O Google Scholar permite filtrar a pesquisa em vários quesitos, como o idioma da publicação, onde era escolhida a opção “todos os idiomas”, o tipo de documento (artigo, tese, revista, etc.), o ano de publicação, a relevância, etc. Para complementar o trabalho, foram consultadas também referências eletrônicas como sites de fabricantes de pisos permeáveis, normas técnicas brasileiras e livros correspondentes ao tema abordado no trabalho.

A segunda etapa consistiria em uma abordagem experimental do tema estudado; onde seria fabricado um piso permeável com a substituição do agregado natural por RCD nos laboratórios de construção civil da Universidade São Judas em São Paulo – SP. Todavia, em virtude da pandemia da Covid-19 não foi possível a realização dos ensaios.

Assim foi provocada uma mudança de rota do projeto de pesquisa, eliminando a fase experimental e desenvolvendo uma fase analítica de parâmetros associados ao ciclo de vida do novo material associado aos ganhos ambientais que poderiam ser proporcionados, quando utilizados os RCCs em áreas de baixa renda, bem como em soluções paliativas em áreas de ocupação irregular, na qual as Prefeituras Regionais poderiam auxiliar por meio de associações a confecção de pisos que possam mitigar os impactos associados, principalmente a enchentes, bem como resolver a disposição inadequada destes resíduos.

O desenvolvimento experimental, consistiria na verificação de características importantes para o desempenho do piso permeável, bem como as características de resistência mecânica do agregado reciclado e da peça em si. A finalidade principal da parte experimental seria simular

as condições previstas no uso como sistema construtivo, por isso, após uma ampla pesquisa em referências bibliográficas, recomendava-se a realização de ensaios no agregado reciclado e, posteriormente, no piso feito com o agregado reciclado.

A base recomendada para os ensaios seriam os mesmos traços já utilizados em trabalhos anteriores, como por exemplo, no trabalho de Oliveira (2017) realizado no Paraná, onde alternava-se as porcentagens de material reciclado. A primeira porcentagem de agregado reciclado seria de 0%, ou seja, seria fabricado um piso permeável com materiais convencionais que seria tido como valor de referência para a comparação.

Pelo fato de o diferencial da peça ser o agregado reciclado de RCD, a maioria dos ensaios que se recomenda são voltados a caracterizar o material reciclado; para isso, são indicados os ensaios contidos na norma ABNT NBR 15116:2004. Para isso, recomenda-se separar 5 amostras do material reciclado para se poder realizar os seguintes ensaios:

- Abrasão Los Angeles;
- Massa específica;
- Índice de vazios;
- Material pulverulento;
- Ensaio granulométrico.

Após realizar os ensaios com os agregados, sugere-se moldar 6 corpos de prova, com a mistura do cimento, agregados reciclados e naturais e a água, em uma forma quadrada com espessura de 60 mm, medida nominal do comprimento máximo de 250 mm e largura real de no mínimo 97 mm, conforme especificado na NBR 9781:2013. Após moldados e curados, recomenda-se os seguintes ensaios:

- Ensaio de compressão;
- Ensaio de Tração na Flexão;
- Permeabilidade.

Para o ensaio de permeabilidade, além dos corpos de prova quadrados (ou retangulares), seriam moldados 2 corpos de prova cilíndricos.

7. FASE EXPERIMENTAL

A primeira parte do plano experimental consiste na obtenção do agregado reciclado de RCD, para isto seguiu-se os passos demonstrados no fluxograma da Figura 14:

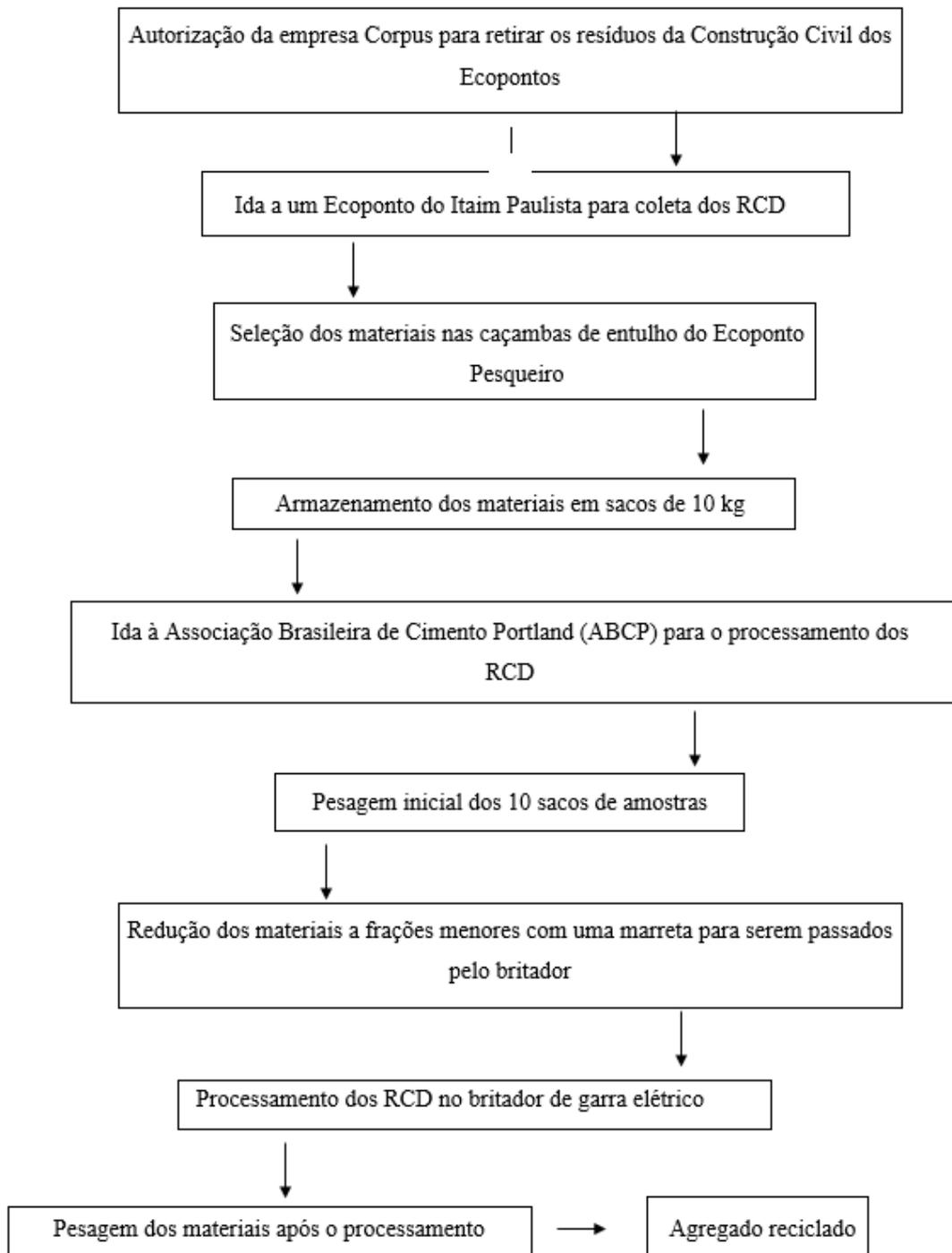


Figura 14 - Fluxograma da produção do agregado reciclado (AUTOR, 2020).

Após a produção do agregado reciclado inicia-se a parte dos ensaios, como mostra o fluxograma da Figura 15:

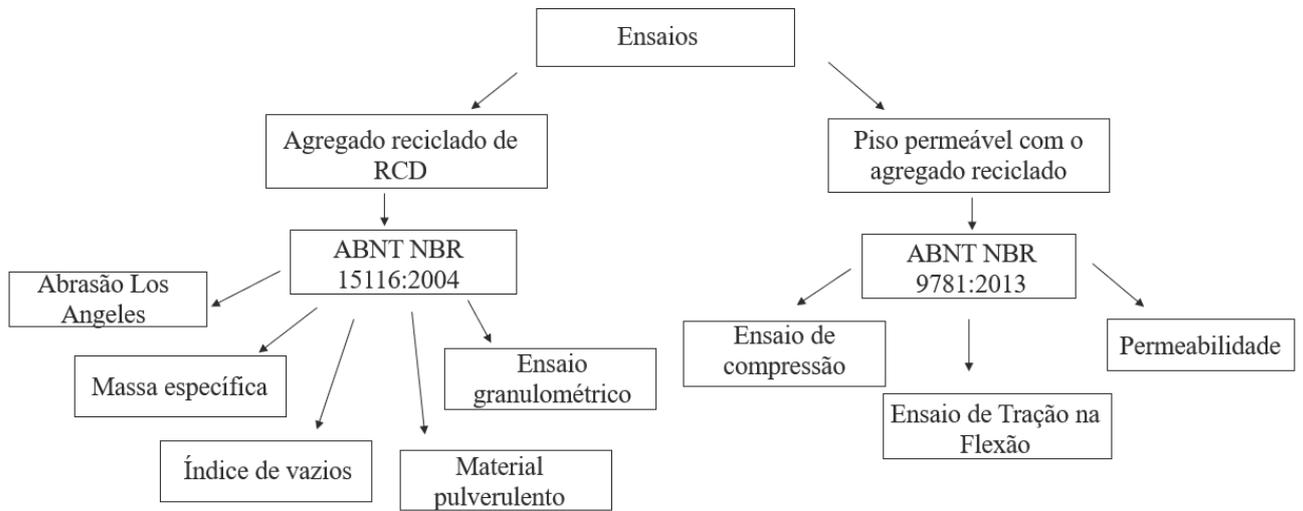


Figura 15 - Fluxograma dos ensaios (AUTOR, 2020).

8. 6.1 Materiais

8.1.1. Cimento Portland

O cimento escolhido e recomendado para a fabricação dos Corpos de Prova (CP) de piso permeável é o CPV-ARI, por ser um cimento que adquire uma resistência elevada logo nos primeiros dias; trata-se de um cimento com alta reatividade em idades jovens. Por permitir uma desforma mais rápida, ele é largamente recomendado para a fabricação de pisos.

8.1.2. Água

A água de amassamento recomendada para ser utilizada na fabricação dos pisos é a proveniente da rede de abastecimento do município de São Paulo. A relação água/cimento (A/C) variou entre 0,25 a 0,35.

8.1.3. Agregados naturais

O agregado natural graúdo é a pedra britada, proveniente de uma pedreira em São Paulo, visando facilitar seu transporte. Em pavimentações permeáveis convencionais, ele é o material que se usa em maior quantidade.

E o agregado miúdo é a areia lavada de granulometria média.

8.1.4. Agregados de RCD

Os agregados reciclados de RCD foram coletados no Ecoponto Pesqueiro do Itaim Paulista e foram devidamente selecionados. A norma que auxiliou nos ensaios para caracterizar os agregados de RCD é a NBR 15116:2004.

8.1.5. Amostragem

A amostragem só pôde ser retirada mediante uma autorização da empresa terceirizada da prefeitura, a Corpus. Depois de resolver a parte burocrática para tal retirada, os materiais foram extraídos diretamente do Ecoponto. Como se pode observar nas Figuras 16, 17, 18 e 19, os materiais recebidos nos Ecopontos são diversos e de granulometrias distintas.



Figura 16 - Caçamba para descarte de RCD no Ecoponto Pesqueiro (AUTOR, 2020).



Figura 17 - Caçamba para descarte de RCD no Ecoporto Flamingo (AUTOR, 2020).



Figura 18 - Caçamba para descarte de RCD no Ecoporto Mãe Preta (AUTOR, 2020).



Figura 19 - Caçamba para descarte de RCD no Ecoporto Moreira (AUTOR, 2020)

8.1.5.1. Coleta de amostras

As amostras foram coletadas do Ecoporto Pesqueiro no dia 25 de novembro de 2020. Retirou-se os materiais de dentro das caçambas de descarte com o auxílio de uma pá e sacos com capacidade para 50 kg, como mostra a Figura 20. Ao todo, foram retirados 10 sacos que foram transportados por um veículo com caçamba, o processo foi registrado na Figura 21.



Figura 20 - Retirada dos materiais de dentro da caçamba (AUTOR, 2020).



Figura 21 - Entulhos sendo transportados do Ecoponto (AUTOR, 2020).

No Ecoponto Pesqueiro, havia duas caçambas destinadas ao descarte de RCD (Figura 22), os materiais coletados foram ARC.



Figura 22 - Caçamba de onde foram retiradas as amostras (AUTOR, 2020).

8.2. Processamento dos RCD

As amostras coletadas do Ecoporto Pesqueiro eram de diversos tamanhos e formatos e, por isso, precisaram passar por um processo de uniformização. Este processo, conhecido como processamento, foi realizado na Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), através de um britador de garra elétrico. As Figuras 23 e 24 mostram o aparelho usado para britar os agregados.



Figura 23 - Britador elétrico da ABCP (AUTOR, 2020).



Figura 24 - Parte interna do britador (AUTOR, 2020).

O primeiro passo realizado foi a pesagem de cada um dos 10 sacos, antes do processo de britagem, para saber a real quantidade de material que foi retirado do Ecoporto. A Figura 25 mostra como foram pesadas as 10 amostras.



Figura 25 - Peso inicial da amostra 1 (AUTOR, 2020).

Em seguida, os materiais tiveram de ser reduzidos a frações menores para que pudessem passar pelo britador. Este processo foi feito de forma manual com o auxílio de uma marreta, como mostra a Figura 26:



Figura 26 - Fracionamento da amostra de RCD (AUTOR, 2020).

Após estarem num tamanho adequado, os materiais de cada saco eram depositados dentro de uma caixa de madeira (Figura 27) para que pudessem passar pela britagem e retornar ao mesmo saco, a fim de se ter um controle de cada amostra, como pode ser observado na Figura 28.



Figura 27 - Material depositado na caixa de madeira antes da britagem (AUTOR, 2020).



Figura 28 - Material sendo britado e retornando ao saco (AUTOR, 2020).

Tanto o processo de fracionamento de material, quanto a britagem em si podem afetar no peso das amostras, por serem feitos de forma manual, por isso, ao final da britagem, todos os sacos foram pesados novamente.

Durante o processamento dos RCD, pôde-se observar que, mesmo buscando realizar o processo com bastante precisão, algumas amostras acabaram com uma massa final diferente da inicial. Algo que acontecia nesse processo era que os materiais de algumas amostras ficavam na pedra onde estavam sendo fracionados ou até mesmo dentro do britador, o que resultava em uma massa final menor e, em outros casos, a amostra terminava com uma massa final maior, pois o que faltava dessas amostras acabava agregando em outras. Na Tabela 4 estão especificados os valores iniciais, finais e a diferença de cada amostra.

Tabela 5 - Peso das amostras de RCD.

Amostra	Peso inicial (Kg)	Peso final (Kg)	Diferença (Kg)
1	18,95	17,55	1,40
2	26,00	24,30	1,70
3	18,80	18,30	0,50
4	34,95	35,00	-0,05
5	22,50	18,15	4,35
6	34,15	30,70	3,45
7	13,15	13,25	-0,10
8	14,10	15,65	-1,55
9	16,60	15,85	0,75
10	18,90	18,50	0,40
Total:	218,10	207,25	10,85

Fonte: AUTOR, 2020.

O resultado obtido após a britagem das amostras, através de uma caracterização visual, foi um agregado uniforme, com um teor elevado de finos. E isso se deu pelo fato de que os materiais selecionados nos Ecopontos eram de ARC. Nas Figuras 29 e 30 pode-se observar os agregados reciclados de RCD após serem processados:



Figura 29 - Agregado reciclado após britagem (AUTOR, 2020).



Figura 30 - Parcela de finos do agregado após britagem (AUTOR, 2020).

8.3. Ensaios

O primeiro passo para determinar os ensaios que seriam realizados no caso deste projeto, segundo a NBR 16416:2015, seria confeccionar o piso permeável que seria utilizado na camada de assentamento; esta camada se aplica aos projetos de pavimento intertravado permeável ou pavimentos com placas de concreto permeáveis.

Além de recomendar ensaios, a norma também especifica alguns padrões que a peça deve seguir: a camada deve ser uniforme e constante e a espessura deve estar entre 20 e 60 mm na

condição compactada, sendo estabelecida no projeto. E ressalta-se também o uso de materiais pétreos de granulometria aberta na camada (ABNT, 2015).

8.3.1. Abrasão Los Angeles

O ensaio de Abrasão Los Angeles foi realizado segundo a NBR 16416:2015 pelo método contido na ABNT NBR NM 51:2001. O aparelho utilizado é conhecido como Máquina Los Angeles, um cilindro (tambor) oco e de aço, com um diâmetro de aproximadamente 700 mm. O ensaio consiste em colocar os agregados junto com a carga abrasiva (esferas de fundição, de ferro e aço) dentro do tambor e fazê-los girar em uma velocidade entre 30 e 33 rpm, até completar 500 rotações ou, dependendo da graduação, 1000 rotações.

8.3.2. Massa específica

Para a determinação da massa específica, a ABNT NBR NM 53:2002 estabelece que o procedimento consiste em submergir o agregado graúdo em água por um período de 24h, sendo recomendado em caso de grandes quantidades dividir o material em várias partes. Após esse período, deve-se enxugar toda água visível e pesar o material, obtendo-se assim a massa do agregado saturado com a superfície seca. Depois, deve-se pegar a amostra, submergi-la em água e pesá-la em água. Por fim, deve-se secar a amostra e deixá-la esfriar em temperatura ambiente e pesar. Em seguida basta substituir na fórmula:

$$d = m/ms - ma$$

Onde:

d = é a massa específica do agregado seco, em gramas por centímetro cúbico;

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

ms = é a massa ao ar da amostra na condição saturada com superfície seca, em gramas;

ma = é a massa em água da amostra, em gramas.

8.3.3. Índice de vazios

O método usado para esse ensaio está descrito na ABNT NBR NM 45:2006. Para calcular o índice de vazios, precisa-se primeiramente do valor da massa unitária; para isso, existem 3

métodos: A, B e C. O método A é empregado para determinar a massa unitária de agregados que tenham a dimensão máxima característica de 37,5 mm ou menor, enquanto o método B é empregado para agregados com dimensões maiores que 37,5 mm e inferiores a 75 mm; o método C é para o material no estado solto. Por fim, calcula-se o índice de vazios por meio de uma fórmula.

8.3.4. Material Pulverulento

O seguinte ensaio tem como objetivo determinar o material passante na peneira com abertura de malha de 0,075 mm, para isso, deverá ser usada a ABNT NBR NM 46:2003. Primeiro, deve-se lavar a amostra seca e pesada, depois passar essa água contendo o material suspenso e dissolvido pela peneira de 0,075 mm e repetir o processo até que a água fique clara.

8.3.5. Ensaio Granulométrico

Este ensaio deverá seguir a NBR 7217:1987 de determinação da composição granulométrica dos agregados; nele, o material passará por uma série de peneiras, semelhantes às da Figura 31, com seus espaçamentos em milímetros de: 50- 38- 31,5- 25- 19. Os materiais serão agitados nas peneiras.



Figura 31 - Agitador de peneiras (MONDRAGON, 2020).

8.3.6. Ensaio de resistência à compressão

Para realizar este ensaio, deverá ser seguida a NBR 9781:2013 para peças de concreto para pavimentação – especificação e métodos de ensaio (ABNT, 2013).

A norma utilizada estabelece os padrões a serem seguidos para se realizar o ensaio de compressão. Segundo inspeções visuais, as peças ensaiadas seguem o formato tipo I, que são próximos ao retangular; ficam estipulados também: a medida nominal do comprimento, que deve ser no máximo de 250 mm, a largura real de no mínimo 97 mm (na área da peça onde será aplicada a carga de compressão) e a medida nominal da espessura de no mínimo 60 mm (especificada sempre em múltiplos de 20).

A estrutura (máquina) empregada para o ensaio deve permitir a aplicação controlada da força sobre a peça. Para a realização do ensaio, a peça deve ser disposta entre os pratos de compressão, de modo que, quando centrada, seu eixo coincida com o da máquina. O prato que se desloca realiza movimento na direção vertical, sendo coaxial ao prato fixo. Importante que a aplicação da força seja constante, com velocidade de 550 KPa/s (com variação de mais ou menos 200 KPa/s) até a ruptura total da peça.

Os corpos de prova para a efetuação do ensaio devem estar saturados em água por no mínimo 24h e com suas superfícies de carregamento retificadas (capeadas). E caso a peça amostrada tenha largura superior a 140 mm, deverá ser cortada com serra de disco.

Como a peça produzida seria destinada ao tráfego de pedestres, aceita-se uma resistência mecânica a partir de 20 MPa e a espessura mínima de 60 mm.

8.3.7. Ensaio de resistência à flexão

Para este ensaio, recomenda-se a utilização da NBR 15805: pisos elevados de placas de concreto – requisitos e procedimentos (ABNT, 2015), associada à NBR 12142: concreto – determinação da resistência à tração na flexão de corpos de provas prismáticos (ABNT, 2010). Assim como no ensaio, a compressão dos corpos de prova deve estar com as suas superfícies retificadas com argamassa e devidamente saturadas 24 h antes do início do teste. Para a mesma solicitação de tráfego de pedestre, adota-se a espessura mínima de 60 mm e uma resistência mecânica aceitável a partir de 2,0 MPa, como especificado na NBR 15805.

O procedimento deverá ser executado de acordo com a com a NBR 12142 que determina que o corpo de prova com seu lado maior paralelo ao seu eixo longitudinal deve ser colocado sobre

os apoios, centrando-o entre eles; recomenda-se fazer marcações na peça para auxiliar no ensaio. Após a alocação do CP, aplica-se uma força contínua até a ruptura.

8.3.8. Ensaio de permeabilidade

Para determinar o coeficiente de permeabilidade do piso permeável, deverá ser aplicado o anexo A da NBR 16416:2015 pavimentos permeáveis de concreto – requisitos e procedimentos (ABNT, 2015).

Deve-se iniciar fazendo uma limpeza superficial na peça, removendo sedimentos ou outros materiais, se necessário; após essa etapa, deve-se posicionar o anel de infiltração no piso e vedar, não permitindo vazamentos. O ensaio deve ser iniciado em até 2 minutos após a pré-molhagem, despejando a água com velocidade suficiente para manter o nível de água dentro do anel de infiltração. Para encontrar o intervalo de tempo, deve-se acionar um cronometro assim que a água entrar em contato com a superfície do pavimento permeável e interromper a cronometragem quando não houver mais disponibilidade de água livre na superfície.

O volume de água é determinado em conformidade com o tempo de pré-molhagem e tem-se que: quando o tempo de pré-molhagem é inferior ou igual a 30 segundos, a massa de água para o ensaio é igual a 18 kg (com margem de erro de mais ou menos 0,05); e quando o tempo e pré-molhagem é superior a 30 segundos, a massa de água para o ensaio é de 3,60 kg, com a mesma margem de erro.

Por fim, pode-se calcular o coeficiente de permeabilidade (k), através da equação:

$$k = C. m / (d^2.t)$$

Onde:

k = coeficiente de permeabilidade expresso em milímetros por hora;

m = a massa de água infiltrada expressa em quilogramas;

d = diâmetro interno do cilindro de infiltração expresso em milímetros;

t = tempo necessário para a percolação da água expresso em segundos;

C = fator de conversão de unidades do sistema SI, com valor igual a 4.583.666.000 (valor este retirado da NBR 16416:2015, página 21).

9. AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS

Por conta da pandemia de Covid 19, que culminou com o isolamento social e o fechamento da universidade e de várias outras atividades, inclusive do laboratório de engenharia civil, o presente trabalho precisou sofrer alterações. Uma parte pragmática e de muita importância na conclusão do presente exercício seria a fabricação de um piso permeável com a substituição parcial do agregado reciclado de RCD recolhido no Itaim Paulista, e os ensaios antes especificados não puderam ser realizados, devido às restrições impostas ao estado de São Paulo. Destarte foi decidido introduzir uma alteração na metodologia, no tocante a parte experimental, a produção do agregado reciclado com o RCD extraído do Itaim Paulista, pôde ser realizada, porém, a parte que seria realizada em laboratório teve que ser substituída por uma revisão bibliográfica, com base em trabalhos com propostas similares ao presente.

O agregado reciclado processado já estava ensacado e armazenado na Universidade São Judas Tadeu (SP), pronto para a produção do piso permeável e a realização dos ensaios. Por isso, foi doado para pesquisas voltadas ao tema.

Como esperado, durante o processamento do RCD, houve uma perda de materiais de 10,85 kg, terminando o processo com um total de 207,25 kg de RCD. Por isso, recomenda-se coletar sempre uma porcentagem a mais de materiais.

Após a coleta no Ecoponto do Itaim Paulista, o processamento realizado na ABCP e uma inspeção visual, chegou-se a um agregado reciclado graúdo, classificado como ARC e com alto teor de finos. Não se tem informações sobre as características físicas e mecânicas do agregado reciclado de origem dos Ecopontos, pois isso seria constatado em laboratório após a realização de ensaios especificados no presente trabalho.

10. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar do trabalho sofrer mudanças na metodologia não sendo executado como planejado inicialmente, com base na revisão bibliográfica realizada e na coleta e processamento do agregado reciclado de RCD, pôde-se analisar os inúmeros benefícios dos componentes permeáveis com a substituição parcial dos insumos naturais por RCD; desde sua concepção ecologicamente correta e totalmente voltada aos princípios socioambientais, até sua efetividade na resolução de problemas graves, que muitas vezes são provenientes da sobrecarga dos sistemas de drenagem urbana. Nesse sentido, nota-se a relevância de estudar e se aprofundar em tecnologias voltadas ao tema.

Após visitar os quatro Ecopontos do Itaim Paulista, sendo eles: Moreira, Mãe Preta, Pesqueiro e Flamingo; foi possível identificar por meio de uma inspeção visual e registro fotográfico os principais materiais que são descartados em cada um deles. O Ecoponto Mãe Preta, dentre os quatro, foi o que mais se encontrou contaminantes dentro das caçambas destinadas aos resíduos da construção civil, resultado de uma fiscalização falha por parte dos funcionários do local. Já os Ecopontos Flamingo e Moreira, apesar de as caçambas estarem divididas mais corretamente, foi encontrada uma grande quantidade de pisos, telhas e areia, o que inviabilizariam a produção de um agregado reciclado com classificação ARC. No último Ecoponto visitado, o Pesqueiro, pôde-se encontrar uma grande quantidade de restos de concreto, pedras e argamassas, o que somado a organização do local, tornou ele uma opção para a coleta dos materiais.

A primeira etapa para a seleção dos resíduos de um dos Ecopontos foi uma autorização da empresa terceirizada responsável pela coleta dos materiais dos Ecopontos, a Corpus. Mediante a esta autorização, pôde-se fazer a seleção dos resíduos, no Ecoponto escolhido, o Pesqueiro. No dia da coleta, as caçambas tinham uma variedade maior de resíduos do que no dia da visita, por isso, precisou-se realizar uma seleção mais cautelosa, para não contaminar as amostras. Escolheu-se manualmente 10 sacos com restos de concreto e argamassa, descartando telhas, pisos e areias.

Após uma ampla revisão bibliográfica chegou-se à conclusão de que o primeiro passo para a utilização de um piso permeável com agregado reciclado, é a realização de um estudo aprofundado na região que se pretende implementar o dispositivo, verificando o melhor local e o sistema de infiltração mais adequado. É de suma importância que o projeto atenda requisitos mínimos como as condições de implantação, condições de carregamento quanto à solicitação, capacidade de suporte do solo, coeficiente de permeabilidade do subleito, condições de

saturação do solo, o nível do lençol freático, saber as áreas de contribuição, utilizar a declividade adequada, ter uma resistência mecânica mínima, etc. Estudos anteriores apresentados neste trabalho, mostraram que o uso do agregado reciclado faz com que haja uma queda de resistência no piso permeável, o que o torna inviável em locais com solicitações maiores de carga, como uma pista de rolamento. Porém, ainda se apresenta como uma opção viável em áreas onde há um tráfego menor, como estacionamentos, lotes, vias de pedestres etc.

O agregado reciclado de RCD, segundo estudos e pesquisas, apresenta viabilidade técnica, pois apresenta um desempenho satisfatório. E o principal ponto da sua viabilidade econômica é a não exploração de novas jazidas, uma vez que a indústria da construção civil consome rochas de britagem e areia em larga escala. Porém, é necessário que haja um estudo de cada caso isoladamente, pois existem várias formas de fazer a reciclagem dos RCD (reciclagem “in loco”, central de reciclagem etc.), para analisar qual será o mais rentável.

A ecoeficiência é uma das principais medidas que contribuem para um futuro sustentável. Este conceito se refere à disponibilização de serviços e bens capazes de satisfazer as necessidades humanas e proporcionar qualidade de vida sem causar impactos ambientais e gastando o mínimo dos recursos naturais não renováveis.

Assim, o agregado reciclado de RCD trata-se de uma forma de solucionar dois problemas de uma só vez: a geração excessiva de resíduos e a questão da drenagem urbana. Pode-se concluir que promover investimentos para a finalidade de reciclagem dos RCD acarretaria não só economia na produção como funcionalidade para um padrão urbanístico adequado, despojado e, principalmente, rentável, proporcionando conforto e segurança para a população. A reciclagem de RCD ainda necessita de pesquisas que possam equacionar as seguintes questões: custo para logística e geração de materiais de construção reciclada, que muitas vezes acabam inviabilizando a reciclagem; e fomentar o desenvolvimento de novos materiais e sistemas construtivos inovadores com desempenhos iguais ou superiores aos produzidos de forma convencional.

Ao longo da pesquisa teórica, das idas aos Ecopontos do Itaim Paulista e do contato com agregado reciclado produzido, constatou-se que o uso do agregado reciclado com os RCD, apresenta os seguintes potenciais para a região:

- Diminuir a intensidade energética de bens e serviços;
- Minimizar a liberação de substâncias tóxicas;
- Ampliar a utilização sustentável de recursos renováveis;

- Promover a reciclagem de materiais da construção usados;
- Maximizar a utilização consciente dos recursos renováveis, fomentando a sustentabilidade;
- Estender a vida útil dos RCD;
- Auxiliar na conscientização dos munícipes sobre a gestão de recursos naturais e energéticos.

Este trabalho reúne uma série de informações, bibliografias e de normas técnicas, que visam contribuir para melhora da recuperação dos RCD, indicando ensaios e procedimentos a serem realizados para se obter um piso permeável que atenda aos requisitos das normas técnicas brasileiras. O presente trabalho também busca incentivar mais pesquisas em cima da problemática dos RCD que são importantes para a zona leste da cidade de São Paulo, para o Brasil e para o mundo, estimulando ainda mais pesquisas sobre o tema.

11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15116:2004. **Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural.** 2004.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 16416:2015. **Pavimentos permeáveis de concreto - Requisitos e procedimentos.** 2015.

ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil.** Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, 2020. Disponível em: <<https://abrelpe.org.br/>>. Acesso em: 31 mar. 2021.

ACIOLI, L. A. et al. **Implantação de um módulo experimental para a análise da eficiência de pavimentos permeáveis no controle do escoamento superficial na fonte.** Simpósio ABRH, 2003.

ACIOLI, Laura Albuquerque. **Estudo experimental de pavimentos permeáveis para o controle do escoamento superficial na fonte.** Porto Alegre, 2005. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10183/5843>>. Acesso em: 22 jul. 2020.

AGAMUTHU, P. et al. Drivers of sustainable waste management in Asia. **Waste Management and Research**, n. 27, p. 625-633, 2009.

ALENCAR, P. C. D. **Avaliação experimental do concreto poroso na atenuação do escoamento superficial em parcelas urbanizadas.** 2013. Dissertação (Mestrado em 2013) – Faculdade de Engenharia da Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

ALMEIDA, J. et al. Estudo de viabilidade econômica do uso do agregado de RCD em pavimentação de vias urbanas. **Revista de Engenharia Civil**, n. 54, p. 16-25, 2018. Disponível em: <<http://www.civil.uminho.pt/revista/artigos/n54/Pag.16-25.pdf>>. Acesso em: 10 mai. 2021.

AMORIM, E. F. **Viabilidade Técnica Econômica de Misturas de Solo-RCD em Camadas de Base de Pavimentos Urbanos. Estudo de Caso: Município de Campo Verde - MT.** 2013. Tese (Doutorado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

ANGULO, S. C. **Caracterização de Agregados de Resíduos de Construção e Demolição Reciclados e a Influência de suas Características no Comportamento Mecânico dos Concretos.** 2005. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

ARAÚJO, P. R. et al. Avaliação da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução do escoamento superficial. **Revista Brasileira dos Recursos Hídricos**, v. 5, n. 3, 2000.

AZZOUT, Y. et. al. **Techniques Alternatives en Assainissement Pluvial.** Paris: Technique et Documentation – Lavoisier, 1994.

BARRETO, L. S. S. **Avaliação ambiental e econômica de ciclo de vida da gestão de resíduos de construção e demolição**. 2014. Dissertação (Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

BRASILEIRO, L. L.; MATOS, J. M. E. Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil. **Cerâmica**, São Paulo, v. 61, n. 358, p.178-189, 2015. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-69132015000200178&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 30 jul.2020.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos – 2018**. Brasília: SNS/MDR, 2019.

CASTRO, C. N. de. **Gestão das águas: experiências internacional e brasileira**. Brasília: Ipea, 2012.

CBIC. **Banco de dados**. 2017. Disponível em: <www.redeaguape.org.br/desc_artigo.php?cod=92>. Acesso em: 05 abr. 2021.

CETESB (São Paulo). **Inventário estadual de resíduos sólidos urbanos 2018/ CETESB Coord.** Maria Heloisa P. L. Assumpção. São Paulo: CETESB, 2018.

CERIONI, C. As fotos de Beirute após a explosão que destruiu a capital do Líbano. **Exame**, 4 ago. 2020. Disponível em: <<https://exame.com/mundo/as-fotos-de-beirute-apos-a-explosao-que-destruiu-a-capital-do-libano/>>. Acesso em: 20 mar. 2021.

CIRIA. **Construction Industry Research and Information Association**. Control of Risk. A guide to the systematic management of risk from construction. 1996.

CONFERÊNCIA das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento: **Desenvolvimento Sustentável dos Países**, 2, 1992, Rio de Janeiro.

CORRÊA, L. R. **Sustentabilidade na Construção Civil**. 2009. Monografia (Curso de Especialização em Construção Civil) – Departamento de Engenharia de Materiais e Construção, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

CORREIA, R. da S. **Estudo de viabilidade econômica para o uso de resíduos de construção e demolição em camadas de base e sub-base de pavimentos**. 2014. Monografia (Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

CORTÊS, R. G. et al. J. Contribuições para a Sustentabilidade na Construção Civil. **Sistemas & Gestão**, v. 6, n. 3, p. 384-397, 2012.

DIAS, F. S.; ANTUNES, P. T. S. C. **Estudo comparativo de projeto de drenagem convencional e sustentável para controle de escoamento superficial em ambientes urbanos**. Curso de Engenharia Civil. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio Janeiro, 2010.

DIAS, S. M. F. **Proposição de uma matriz de indicadores de sustentabilidade em gestão integrada de resíduos sólidos urbanos e sua aplicação em um estudo de caso**. Monografia

(Progressão de carreira no Magistério Superior) – Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2009.

ESTANQUEIRO, B. A. M. **Análise de ciclo de vida da utilização de agregados reciclados no fabrico de betão**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial) – Escola de Engenharia, Técnico Lisboa, Lisboa, 2012.

EUROPEAN Commission. **EU Construction and Demolition Waste Protocol and Guidelines**. EC Europa, 2018. Disponível em: <https://ec.europa.eu/growth/content/eu-construction-and-demolition-waste-protocol-0_en>. Acesso em: 21 jul. de 2020.

FERGUSON, B. K. **Porous Pavements. Integrative Studies in Water Management and Land Development**. Florida, 2005. Disponível em: <<https://www.twirpx.com/file/731601/>> Acesso em: 11 jul. 2020.

FISCHER, C.; WERGE, M. **EU as a Recycling Society: Present recycling levels of Municipal Waste and Construction and Demolition Waste in the EU**. Copenhagen: ETC/SCP, 2009.

FUKUNISHI, E. N. **Avaliação da Disponibilidade de Dados de Resíduos Sólidos da Construção Civil no Brasil para Auxiliar a Avaliação do Ciclo de Vida**. 2014. Monografia (Especialização em Construções Sustentáveis) – Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

GALBIATI, A. F. **O gerenciamento integrado de resíduos sólidos e a reciclagem. Educação ambiental para o Pantanal**. 2005. Disponível em <www.redeaguape.org.br/desc_artigo.php?cod=92>. Acesso em: 15 jul. 2020.

GEOTECNIA AMBIENTAL. **Bairros Cota na Serra do Mar em Cubatão – Riscos em ebulição e planos de ação em andamento**, v.1. n.1, 2008.

GONÇALVES, R. D. C. **Agregados reciclados de resíduos de concreto - um novo material para dosagens estruturais**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

GUNTHER, W. M. R. **Minimização de resíduos e educação ambiental**. In: Anais do 7º Seminário Nacional de Resíduos Sólidos e Limpeza Pública. Curitiba, 2000.

HOLDERBAUM, M. **Gestão de resíduos da construção civil: análise da cidade de Porto Alegre**. 2009. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

IBGE. **População rural e urbana**. 2015. Disponível em: <<https://educa.ibge.gov.br/jovens/conheca-o-brasil/populacao/18313-populacao-rural-e-urbana.html>>. Acesso em: 01 abr. 2021.

JIMÉNEZ, J. R.; AYUSO, J.; GALVÍN, A.P.; LÓPEZ, M.; AGRELA, F. **Use of mixed recycled aggregates with a low embodied energy from non-selected CDW in unpaved rural roads**. Construction and Building Materials, n. 34, Elsevier, 2012.

JOHN, V. M.; AGOPYAN, V.; Reciclagem de resíduos da Construção. In: **Seminário de Resíduos Sólidos e Domiciliares**. São Paulo: CETESB, 2000.

JOHN, V. M. Aproveitamento de resíduos sólidos como materiais de construção. In: CARNEIRO, A. P. et al. **Reciclagem de entulho para a produção de materiais de construção**. Salvador: EDUFBA, 2001, p. 27-45.

JOHN, V. M. **Reciclagem de Resíduos na Construção Civil – Contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. 2000. Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

KAPUSCINSKI, J. V. et al. Reciclagem de RCD's e os seus benefícios. **Revista Pesquisa e Inovação – PI**, Guarapuava, v.1, n.1, p. 74-85, jan.-jul. 2019. Disponível em: <<http://revista.camporeal.edu.br/index.php/pi/article/view/273/52>>. Acesso em: 10 mai. 2021.

KOURY, A. P.; CAVALLARI, T. V. Desenvolvimento urbano em áreas de fronteira: o caso do Itaim Paulista. **Revista Brasileira de Gestão Urbana – Urbe**, Curitiba, v. 10, n. 3, p. 663-676, dez. 2018. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2175-33692018000300663&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 10 mai. 2021.

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

LIMA, F. M. da R. de S. **A formação da mineração urbana no Brasil: reciclagem de RCD e a produção de agregados**. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2013, p. 178.

MARCHIONI, M.; SILVA, C. O. **Pavimento Intertravado Permeável – Melhores Práticas**. São Paulo: ABCP, 2010.

MARQUES, C. E. B. **Proposta de método para a formulação de planos diretores de drenagem urbana**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) - Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2006.

MATTOSINHO, C.; PIONÓRIO, P. Aplicação da Produção Mais Limpa na Construção Civil: Uma proposta de Minimização de Resíduos na Fonte. **2nd International Workshop Advances in Cleaner Production**. São Paulo: UNIP, 2009.

MIRANDA, L.; ANGULO, S. C.; CARELI, E. D. **A reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil: 1986-2008**. Ambiente Construído, v. 9, n. 1, p. 57-71, 2009.

MORAIS, G. M. D. **Diagnóstico da deposição clandestina de resíduos de construção e demolição em bairros periféricos de Uberlândia: Subsídios para uma gestão sustentável**. Uberlândia-MG, 2006.

OLIVEIRA, I. de. **Concreto permeável com agregado reciclado para uso em pavimentação**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

PASCHOALIN FILHO, J. A. et al. **Economic viability of demolition recycled wastes used during the construction of the subfloor of a building located in the east side of the city of São Paulo**. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental – REGET, Universidade Federal de Santa Maria, v. 18, n. 2, mai-ago 2014. Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/index.php/reget/article/view/13750>>. Acesso em: 10 mai. 2021.

PINTO, T. **Metodologia para a Gestão Diferenciada de Resíduos Sólidos da Construção Urbana**. 1999. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

PINTO, L. L. C. A., **O desempenho de pavimentos permeáveis como medida mitigadora da impermeabilização do solo urbano**. 2011. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Sanitária) – Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

PREFEITURA de São Paulo. **Quantitativos: resíduos coletados no município**. 2021. Disponível em: <<https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/subprefeituras/amlurb/index.php?p=185375>>. Acesso em: 20 mar. 2021.

ROTH, C. das G.; GARCIAS, C. M. **Construção Civil e a Degradação Ambiental. Desenvolvimento em questão**, v. 7, n. 13, p. 111- 128, 2011.

SANTOS, C. de A. **Impacto da Utilização da Pavimentação Permeável em Áreas Urbanas na Recuperação de Bacias Hidrográficas**. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2016.

SANTOS, E. C. G. **Use of recycled Construction and demolition wastes (RCDW) as backfill of reinforced soil structures**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

SANTOS, F. R. **Logística reversa de resíduos da construção civil: uma análise de viabilidade econômica**. FATEC, Americana, 2014.

SANTOS, R. R. **Estudo da Resistência Mecânica do Concreto Permeável com Substituição de Agregado Natural por Agregado Reciclado**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul (UNIJUÍ), Santa Rosa, 2017.

SCHNEIDER, D. M. **Deposição Irregulares de resíduos da Construção Civil na Cidade de São Paulo**. 2003. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) – Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

SCREMIN, L. B. **Desenvolvimento de um sistema de apoio ao gerenciamento de resíduos de construção e demolição para municípios de pequeno porte**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

SILVA, G. B. L. **Avaliação Experimental Sobre a Eficiência de Superfícies Permeáveis com Vistas ao Controle do Escoamento Superficial em Áreas Urbanas**. Brasília: UnB, 2006. Tese (Doutorado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Faculdade de Tecnologia Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Brasília, 2006.

SILVA, V. A. da; FERNANDES, A. L. T. Cenário do gerenciamento dos resíduos da construção e demolição (RCD) em Uberaba-MG. **Sociedade & Natureza**, v. 24, n. 2, p. 333–344, 2012.

SUDERHSA. **Manual de drenagem Urbana**, v. 1, Curitiba, 2002. Disponível em: <http://www.aguasparana.pr.gov.br/arquivos/File/pddrenagem/volume6/mdu_versao01.pdf>. Acesso em: 30 jul. 2020.

TAVARES, J. C. L. **Caracterização dos Resíduos Sólidos Urbanos da Cidade de Maceió – Al**. 2008. 114p. Dissertação (Mestrado em Engenharia: Recursos Hídricos e Saneamento) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2008.

TAM, V. W. Y.; LE, C. M. A review on the viable technology for construction waste recycling. **Resources, Conservation and Recycling**. v. 47, p. 209-221, 2006.

TUCCI, C. E. M. et al. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2ª edição. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, 2001.

URBONAS, B; STAHRÉ, D. **Stormwater: Best management practices and detention for water quality, drainage and CSO management**. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1993.

VIDAL, A. dos S. **Caracterização de concreto permeável produzido com agregados reciclados de construção e demolição para utilização em pavimentação permeável em ambiente urbano**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

ZORDAN, S. E. **Entulho na indústria da construção**. São Paulo: PCCEPUSP, 2002. Disponível em: <<http://www.reciclagem.pcc.usp.br/>>. Acesso em: 10 mai. 2021.