



Universidade Federal do Rio de Janeiro
Escola Politécnica
Programa de Engenharia Urbana

Vitor Sant' Anna Rodrigues

ANÁLISE DA INFILTRAÇÃO DA ÁGUA DE CHUVA EM PAVIMENTO
PERMEÁVEL COMO TÉCNICA COMPENSATÓRIA EM DRENAGEM
URBANA

Rio de Janeiro
2018



UFRJ

Vitor Sant' Anna Rodrigues

ANÁLISE DA INFILTRAÇÃO DA ÁGUA DE CHUVA EM PAVIMENTO
PERMEÁVEL COMO TÉCNICA COMPENSATÓRIA EM DRENAGEM
URBANA

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Engenharia Urbana, Escola Politécnica, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Urbana.

Orientadora: Prof^a. Elaine Garrido Vazquez

Rio de Janeiro
2018

Rodrigues, Vitor Sant' Anna

Análise da infiltração da água de chuva em pavimento permeável como técnica compensatória em drenagem urbana / Vitor Sant' Anna Rodrigues. – Rio de Janeiro, 2018.

86 f.

Orientador: Elaine Garrido Vazquez.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, 2018.

1. Revestimento Permeável 2. Pavimento permeável, 3. Drenagem urbana I. Vazquez, Elaine Garrido. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Escola Politécnica. III. Título.



UFRJ

Vitor Sant' Anna Rodrigues

ANÁLISE DA INFILTRAÇÃO DA ÁGUA DE CHUVA EM PAVIMENTO
PERMEÁVEL COMO TÉCNICA COMPENSATÓRIA EM DRENAGEM
URBANA

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Engenharia Urbana, Escola Politécnica, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Urbana.

Aprovada pela Banca:

Presidente, Prof^a. Elaine Garrido Vazquez, D.Sc., Poli/UFRJ

Prof^a. Prof. Gisele Barbosa, D. Sc., Poli/UFRJ

Prof^a. Sylvia Meimaridou Rola D.Sc., FAU/UFRJ

Rio de Janeiro
2018

DEDICATÓRIA

Dedico esta dissertação à minha filha Manuela e à minha família, por todo o auxílio até aqui, em meio às lutas e aos desesperos, demonstrando sempre total incentivo nos momentos mais difíceis, obrigado.

AGRADECIMENTOS

À Deus, em primeiro lugar, por me dar o fôlego de vida a cada dia, pois sem Ele não teria sido possível chegar até aqui. Glórias sejam dadas a Deus!

À minha filha Manuela, a razão para continuar meus estudos.

À minha família, pais, irmãos e esposa, ao apoio que nos momentos difíceis que passei me incentivaram.

À minha professora orientadora Elaine Garrido que acreditou na minha proposta, demonstrando total compreensão em meio às muitas adversidades que passei durante a construção deste trabalho.

À todos os meus colegas e amigos que sempre me incentivaram, em especial Jones e Luciene, Jadna e Jaina.

À secretaria do PEU, em especial à Ângela e aos professores Armando e Júlio que me auxiliaram no momento que eu mais precisei para dar continuidade a esta dissertação.

A equipe do CESA, seguranças e alunos que auxiliaram na pesquisa.

A todos vocês o meu muito obrigado!

RESUMO

RODRIGUES, Vitor Sant' Anna. **Análise da infiltração da água de chuva em pavimentos permeáveis como técnica compensatória em drenagem urbana.** Rio de Janeiro, 2018. Dissertação (Mestrado) – Programa de Engenharia Urbana, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

Sabendo de todos os problemas causados pelo impacto da urbanização, principalmente enchentes, e que a utilização de pavimento permeável pode servir como uma medida mitigadora na gestão de drenagem urbana, o objetivo desse trabalho é avaliar experimentalmente superfícies projetadas com pavimento permeável fabricado com placas de RC (resíduos da construção) e RCD (resíduos da construção e demolição). Os pavimentos permeáveis podem evitar, durante uma chuva, o escoamento superficial, garantindo que seja infiltrada através de sua estrutura.

Inicialmente foi realizado a avaliação das placas de acordo com a ABNT NBR 16416: 2015, e, de modo a atestar a qualidade das placas de concreto permeáveis produzidas por Vidal, 2014. Prosseguiu o estudo, com ensaios de permeabilidade e inspeção visual das placas, para verificação dos requisitos mínimos descritos pela norma supracitada.

Posteriormente, foram realizados ensaios para dois protótipos de pavimentos com um simulador de chuvas (um infiltrômetro de aspersão artificial, cujas características são semelhantes àsquelas da chuva natural) para determinadas precipitações, e uma caixa pluviométrica para obter dados e analisar as curvas de infiltração para cada experimento para fins de cálculo. A partir dos ensaios foram feitos os tratamentos dos dados, utilizando-se de conceitos básicos hidrológicos (precipitação total, infiltração e escoamento superficial) relacionados à chuva. Após todos os ensaios realizados e análise dos dados, constatou-se que o experimento é representativo para efeito de comparação entre os pavimentos, a fim de determinar qual pavimento respondeu melhor ao teste de permeabilidade, sempre que utilizado o ajuste de curva pelos métodos de Kostiaikov e Horton.

Palavras-chave: Revestimento Permeável, Pavimento permeável, drenagem urbana.

ABSTRACT

RODRIGUES, Vitor Sant' Anna. **Analysis of rainwater infiltration in permeable pavements as compensatory technique in urban drainage**. Rio de Janeiro, 2018. Master's Thesis – Urban Engineering Program, Polytechnic School, Federal University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

Knowing all the problems caused by the impact of urbanization, mainly floods, and that the use of permeable pavement, can serve as a mitigating measure in urban drainage management, the objective of this work is to experimentally evaluate surfaces designed with permeable pavement made with RC (construction waste) and RCD (construction and demolition waste). Pervious pavements can prevent surface runoff during rain, ensuring that it is infiltrated through its structure.

Initially the evaluation of the plates according to ABNT NBR 16416: 2015 was carried out and, in order to verify the quality of the permeable concrete plates produced by Vidal, 2014. The study was continued with permeability tests and visual inspection of the plates, to verify the minimum requirements described by the aforementioned standard.

Subsequently, tests were performed for two prototypes of pavements with a rainfall simulator (an artificial sprinkler infiltrator, whose characteristics are similar to those of natural rainfall) for certain precipitations, and a rainfall box to obtain data and analyze the infiltration curves for each experiment for calculation purposes. From the tests, the data were processed, using basic hydrological concepts (total precipitation, infiltration and runoff) related to rainfall. After all the tests performed and data analysis, it was verified that the experiment is representative for the effect of comparison between the floors, in order to determine which pavement responded better to the permeability test, whenever using the curve fitting by the methods of Kostiakov and Horton.

Keywords: Permeable coating, pervious pavement, urban drainage.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Infiltração Total.....	39
Figura 2 – Infiltração Parcial.....	40
Figura 3 – Sem Infiltração.....	41
Figura 4 – CESA-UFRJ Rua Lobo Carneiro 6299.....	46
Figura 5 – Piso Cerâmico – Resíduo de construção.....	47
Figura 6 – Concreto – Resíduo de demolição.....	47
Figura 7 – Bancada experimental (2015).....	51
Figura 8 – Identificação das faces do protótipo (2018).....	51
Figura 9 – Tubulação de drenagem (2015).....	52
Figura 10 – Primeira camada de areia (2015).....	52
Figura 11 – Disposição das tubulações cobertas com bidin após 1ª camada de areia (2015) ..	53
Figura 12 – Tubo de drenagem flexível perfurado (2015).....	54
Figura 13 – Sistema de retirada de ar (2017).....	54
Figura 14 – Camada de Bidim (2015).....	55
Figura 15 – Camada de areia de regularização para assentamento das placas (2015).....	55
Figura 16 – Corte esquemático da bancada experimental (2017).....	55
Figura 17 – 100% de agregado graúdo de resíduo de construção – AGC, (2017).....	56
Figura 18 – 50% de AGN e 50% de AGD, (2017).....	56
Figura 19 – placa de pavimento permeável (2015).....	57
Figura 20 – placas montadas na bancada para ensaio (2017).....	57
Figura 21 – Caixa pluviométrica com aparato medidor (equipamento registrador) (2017).....	58
Figura 22 – Esquema do Simulador de chuvas: InfiAsper Double.....	60
Figura 23 – 2 (dois) tabuleiros de ferro para auxílio da calibração (2015).....	61
Figura 24 – Disposição Simulador sobre bancada suspensa (2015).....	61
Figura 25 – Balde e provetas graduadas (2015).....	62
Figura 26 – Vista superior da Caixa pluviométrica.....	63
Figura 27 – Aparato para medição do volume que aporta à Caixa pluviométrica.....	65
Figura 28 – Simulador de Chuva na determinação da intensidade (2015).....	66
Figura 29 – placas com dimensões de 450 x 450 x 5mm (2018).....	67
Figura 30 – Montagem e disposição do anel sobre placa para ensaio (2018).....	67
Figura 31 – Esquema representativo ensaio placa permeável.....	68
Figura 32 – Preenchimento de possíveis vazios, 2018.....	68
Figura 33 – Molhagem das placas (2018).....	69
Figura 34 – ensaio coeficiente de permeabilidade (2018).....	70
Figura 35 – Placa 100% de agregado graúdo de resíduo de construção – AGC (2015).....	70
Figura 36 – Placa 50% AGC e 50% de AGC (2015).....	71
Figura 37 – Resultado dos dados experimentais e as respectivas curvas ajustadas para os modelos de Kostiaikov e Huston. Pavimento AGC 100% Cerâmico.....	73
Figura 38 – Resultado dos dados experimentais e as respectivas curvas ajustadas para os modelos de Kostiaikov e Huston. Pavimento 50% AGC e 50% AGD.....	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição média de entulhos de obras no Brasil	29
Tabela 2 – Componentes Presentes no RCD	29
Tabela 3 – Causas e efeitos da urbanização sobre as inundações urbanas	35
Tabela 4 - Valores típicos de Coeficientes de Permeabilidade	42
Tabela 5 – Classificação de Permeabilidade	43
Tabela 6 – Determinação do coeficiente de permeabilidade	43
Tabela 7: Quantidade de água para ensaio do coeficiente de permeabilidade	45
Tabela 8: Resumo esquemático das variáveis estudadas no experimento	49
Tabela 9: Consumo de concreto, água e agregados utilizados.	49
Tabela 10: Quantidade de água para ensaio do coeficiente de permeabilidade	69
Tabela 11 – Resultado ensaio revestimento permeável com 100% de agregado graúdo de resíduo de construção – AGC	71
Tabela 12 – Resultado ensaio revestimento permeável composto de 50% de AGN e 50% de AGD	71

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Resíduo Sólido.....	26
Quadro 2 – Constituição dos Resíduos.....	26
Quadro 3 – De acordo com a NBR 10.004/2004 os Resíduos Sólidos	27
Quadro 4 – Classificação os resíduos da construção civil.....	28
Quadro 5 – Soluções eficazes de drenagem urbana	34
Quadro 6 – Normas utilizadas	37
Quadro 7 – Atividades de cada ensaio.....	66

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AGN – Agregado Graúdo Natural

AGC – Agregado Graúdo de resíduos de Construção

AGD – Agregado Graúdo de resíduos de Demolição

RCD – Resíduo de construção e demolição

RC – Resíduo de Construção

RD – Resíduos de Demolição

RSU – Resíduos Sólidos Urbanos

RCC – Resíduos da Construção Civil

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Contextualização	15
1.2	OBJETIVOS	18
1.3	JUSTIFICATIVA E MOTIVAÇÃO	19
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO	21
2	REVISÃO DA LITERATURA	23
2.1	Definição, Classificação e Composição do RCD	24
2.1.1	Legislação Nacional e Normas Referentes aos RCD	30
2.1.2	Aplicação de RCD	32
2.2	Drenagem Urbana	33
2.2.1	Conceito	33
2.2.2	Impactos da urbanização	35
2.2.3	Hidrologia Urbana	36
3	PAVIMENTO PERMEÁVEL	37
3.1	Introdução	37
3.2	Aplicabilidade do RCD Reciclado	38
3.3	Sistema de Infiltração	39
3.4	Coefficiente de Permeabilidade	42
3.5	Das Características do Revestimento	45
4	MÉTODO EXPERIMENTAL	46
4.1	Da Determinação do Coeficiente de Permeabilidade	46
4.2	Da bancada Experimental (Taxa de infiltração)	50
A.	Bancada experimental de teste.....	50
B.	Protótipo.....	51
C.	Montagem do pavimento permeável.....	52
	Revestimento de piso com placa de RC e RCD	56
D.	Caixa Pluviométrica.....	57
E.	Simulador de chuvas: InfiAsper Double	59
F.	Intensidade - Calibração do Simulador de Chuva.....	61
G.	Volume afluente à caixa pluviométrica	63
H.	Procedimentos do ensaio.....	66

5	ENSAIO E RESULTADOS	67
5.1	Ensaio para determinação do Coeficiente de Permeabilidade	67
5.1.1	Resultado do Coeficiente de Permeabilidade.....	70
5.2	Ensaio em bancada Experimental e Analise dos resultados (Taxa de Infiltração).....	72
5.2.1	Procedimentos Taxa de Infiltração	72
5.2.2	Resultado Taxa de Infiltração	73
	CONCLUSÃO.....	75
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

A urbanização, o adensamento de grandes cidades e a diminuição de áreas verdes ocasionam inúmeros problemas ambientais. Tais problemas, na tentativa de serem solucionados, precisam ser vistos sob a ótica do entendimento sobre densidade populacional, uso e ocupação do solo, pois esses influenciam diretamente nas características físicas e ambientais de uma cidade.

Ao analisar o crescimento e o desenvolvimento das cidades para compreender os aspectos que influenciam direta e indiretamente tal contexto, tem de se falar sobre a importância do planejamento para a garantia da qualidade de vida da população, sobretudo, em relação aos recursos hídricos. Os impactos sobre as águas urbanas, geralmente, ficam atrelados ao forte adensamento urbano, além dos aspectos climáticos e das práticas inconsequentes da população, como: o despejo de esgoto, sem tratamento, nos rios; os depósitos de resíduos sólidos, que contaminam as águas superficiais e subterrâneas; a ocupação do solo urbano sem controle do impacto sobre o sistema hídrico; dentre outras (TUCCI, 2008).

Antigamente, antes das cidades se formarem, havia inundações e a água da chuva era absorvida pela terra quase que imediatamente e sem causar grandes danos, e conseqüentemente afetar as pessoas. As inundações também eram responsáveis pelo sucesso da agricultura. O Antigo Egito é um exemplo de grande relevância. Durante a época de chuvas (de junho a setembro), havia a ocorrência de inundações nas áreas mais baixas do Nilo. Porém, quando o nível da água baixava, o solo liberava o húmus, tornando a terra favorável para a prática da agricultura. Com o surgimento das primeiras cidades, o homem passou a destruir a vegetação sem sequer um planejamento para construir casas às margens dos rios e, então, as enchentes tornaram-se um problema (SAPORITO, 2017).

O crescimento populacional desenfreado ocasionou a ocupação inadequada do espaço urbano. Essa é a realidade de grande parte das cidades do Brasil e tem como consequência a alteração em grande escala das bacias urbanas. Nesse contexto, quando a rede de drenagem natural é substituída por estruturas artificiais, a área impermeável nas cidades é aumentada, gerando graves consequências para o solo. (FELDE, 2015)

Segundo Miguez (2015), a partir de 1950 a urbanização no Brasil foi intensificada, a partir de alterações sociais e econômicas, durante o processo de modernização do país. Uma das consequências foi a grande migração de pessoas das áreas rurais para os centros urbanos da região sudeste. Assim, os serviços de infraestrutura não eram mais suficientes e a demanda por saneamento nas cidades cresceu. Santos Neto e Barros (2003) relatam em sua obra que o período entre 1964 e 1985 caracterizou-se pelo início dos investimentos na drenagem urbana, financiados por empréstimos internacionais.

No entanto, durante esse processo de urbanização e modernização do país o sistema de drenagem urbana era posto em prática sem estar baseado, em muitos dos casos, em normas técnicas que pudessem fundamentar as corretas execuções dos projetos (GRIGG E WILLIE 1979, apud SILVEIRA, 1998). Com isso, muitos problemas foram agravados, já que, tradicionalmente, a drenagem urbana é de exclusiva responsabilidade dos municípios.

Com a impermeabilização do solo, a água das chuvas não tem para onde escoar e, conseqüentemente, tornam-se constantes os casos de enchentes e alagamentos.

Um exemplo prático de como as enchentes acontecem nas grandes cidades pode ser descrito como: prédios, casas e asfalto recobrem as ruas, pois a impermeabilização do solo não permite a percolação da água superficial. Essa situação aumenta somada a eventos de chuva mais volumosa, sobrecarregando o sistema de drenagem.

Outro problema está diretamente relacionado à saturação dos sistemas de drenagem urbana através do lixo. A questão educacional da população desde do descarte correto até a construção da conscientização em reutilizar. Wolff (2016) diz que com o crescimento da população e o conseqüente aumento da urbanização, o lançamento de resíduos sólidos nos sistemas de drenagem urbana tem aumentado nos últimos anos, principalmente nas regiões periféricas das cidades.

Segundo a ONU, a geração de resíduos nas três últimas décadas, aumentou três vezes mais rápido do que a própria população.

Todo esse aumento da produção de lixo traz um custo tanto ambiental quanto financeiro, onde gestores, governantes e sociedade têm que buscar soluções eficazes para tal problema.

Em várias regiões do mundo, as chuvas devastam cidades e, a cada ano, pessoas perdem suas casas, empresas e até mesmo familiares, por causa dos inúmeros problemas no processo de urbanização. Nas grandes cidades, o problema das enchentes é cada vez mais comum.

Chuvas rápidas e de grande intensidade são capazes de causar transtornos. A produção excessiva de lixo, de construções inadequadas – em morros, próximos a córregos – a falta de saneamento e de iniciativas eficazes de controle ambiental nas comunidades contribuem para o aumento do problema (SAPORITO, 2017).

Segundo Vendrame et al. (2005), o desenvolvimento urbano produz aumento significativo na frequência de inundações, na produção de sedimentos e na deterioração da qualidade da água. Na fase de urbanização, o aumento da produção de sedimentos na bacia hidrográfica é significativo, devido às construções, limpeza de terrenos para novos loteamentos, construção de ruas, avenidas, rodovias, etc.

Os autores destacam ainda que, com relação ao processo de risco de inundação, os impactos principais devido à urbanização sobre um sistema de drenagem são o aumento do pico da vazão de cheia, a antecipação no tempo desta vazão máxima e o aumento do volume do escoamento superficial.

A urbanização, como toda obra que interpõe estruturas pouco permeáveis entre o solo e a chuva, faz com que o escoamento seja incrementado e que a infiltração diminua, numa mudança de regime de escoamento localmente mais drástica do que aquela provocada pelo desmatamento (FENDRICH & IWASA, 1998). O impacto da urbanização pode produzir aumento sensível nos coeficientes de escoamento de uma bacia.

Segundo Vasconcelos (2016), o processo de urbanização resulta em alterações no ciclo hidrológico e essas são prejudiciais à população. Para amenizar esses efeitos, as técnicas compensatórias em drenagem urbana visam à maior sustentabilidade hidrológica na expansão urbana.

Uma ideia incentivada é de que não somente a precipitação deve ser estudada e medida, mas também seus consequentes efeitos, como a infiltração, o escoamento superficial, a erosão hídrica e inundações nas bacias hidrológicas (LIBERATO, 2015).

Uma das causas de enchentes e alagamentos em cidades é o resultado de superfícies comumente cobertas por cimento, que são obras com técnicas construtivas tradicionais que impermeabilizam a superfície que antes era natural e permitia a infiltração da água. Ou seja, os ralos naturais que têm por objetivo dar vazão à água das chuvas estão cobertos por asfalto impermeável.

Técnicas atuais de gerenciamento de drenagem urbana preconizam que a drenagem da água da precipitação seja realizada com uso de dispositivos de controle que agem na fonte do escoamento superficial. Dispositivos tem objetivo de recuperar a capacidade natural de

armazenamento do solo, reduzida devido aos impactos da urbanização. Com o desvio do escoamento das áreas impermeabilizáveis para esses dispositivos, o solo recupera as condições de escoamento anteriores à urbanização (ACIOLI, 2008).

O uso de revestimento de pavimento de concreto permeável é uma alternativa sustentável para diminuir a intensidade de enchentes e alagamentos nos centros urbanos. Isso se dá pelo fato de que parte da água da chuva ao invés de escorrer em grande quantidade no asfalto, é absorvida pelas placas de concreto permeável, impedindo que grande parte da água da chuva fique retida, acumulando-se na superfície.

A partir dessa análise, torna-se possível o desenvolvimento e a execução de ações sustentáveis para minimizar os inúmeros casos de enchentes.

Hoje, é possível observar o grande impacto que a ação antrópica e a urbanização causam no processo de circulação das águas. Com a impermeabilização dos espaços naturais, tornam-se bem menores, em relação a quantidade de precipitação, as seguintes parcelas do ciclo hidrológico: interceptação, evaporação, transpiração e infiltração (NETO, 2016).

Diante da urbanização e consolidação das cidades, torna-se inviável resolver o problema das enchentes e dos alagamentos mudando toda a estrutura de drenagem convencional. Com isso, faz-se necessário o uso de técnicas compensatórias com o objetivo de aproveitamento da infraestrutura já existente.

Em seu estudo, Acioli (2005) relata que o pavimento permeável se mostrou uma técnica eficiente de controle na fonte do escoamento superficial. Foram obtidos taxas médias de 5% de escoamento superficial para superfícies com revestimento asfáltico, e de 2,3% para revestimento em blocos vazados intertravados.

Nesse contexto, percebe-se cada vez mais a importância da adoção de sistemas de drenagem urbana sustentáveis, que busquem integrar-se com o desenvolvimento das cidades, e que tenham como objetivo reduzir os impactos sobre o ciclo hidrológico, atuando tanto nos processos de armazenamento, quanto nos de infiltração, que comumente são significativamente reduzidos no processo de urbanização (NETO, 2016).

1.2 OBJETIVOS

Este trabalho tem o objetivo de avaliar 2 tipos de placas, utilizadas como revestimento de piso, de acordo com a ABNT NBR 16416: 2015, de modo a atestar a qualidade das placas de concreto permeáveis produzidas pelo VIDAL, 2014. Estudar, com ensaios de

permeabilidade e inspeção visual das placas, para verificação dos requisitos mínimos descritos pela norma supracitada.

Analisar de forma experimental 2 protótipos de pavimentos permeáveis, com revestimentos produzidos com resíduos de construção civil, de baixo custo e de tecnologia simples, em uma bancada experimental, no sentido de demonstrar, através da observação/avaliação da infiltração e do escoamento superficial da água de chuva, a possibilidade de utilização desta técnica compensatória em drenagem urbana, no controle da geração de escoamento superficial. Os objetivos acima serão aplicados no uso de dois revestimentos diferentes: O primeiro protótipo de pavimento é composto de RC (resíduo de construção) e o segundo protótipo de pavimento é composto de RCD (resíduo de construção e demolição) na sua estrutura.

1.3 JUSTIFICATIVA E MOTIVAÇÃO

A frequência e intensidade na ocorrência de eventos extremos (tempestades, secas, inundações), possivelmente associados às alterações climáticas, têm levado governos e organizações da sociedade civil em diversas regiões do mundo a reorganizarem seus sistemas de prevenção, adaptação e mitigação de seus efeitos (CEDBS, 2015).

O risco de perda de vidas e danos materiais provenientes de desastres naturais está aumentando no planeta. Mais de 226 milhões de pessoas são afetadas por desastres a cada ano. Com o crescimento populacional e o grande impacto das mudanças climáticas, há mais pessoas vivendo em áreas de risco, onde estão expostas aos perigos de eventos naturais (Rio+20, 2012).

Mundialmente, de acordo com as Rio+20 (2012), entre 1970 e 2010, a proporção da população que vive em bacias hidrográficas sujeitas a inundações aumentou 114%. Em média, 102 milhões de pessoas são afetadas todos os anos pelas enchentes.

Segundo citado por Vaz, et. Al., (2015), as inundações estão entre os riscos naturais mais devastadores do mundo, amplamente distribuído e levando a prejuízos econômicos e sociais significativos de um qualquer outro fenômeno natural (DMSG, 2001).

Os desastres mais comumente reportados pelos municípios são aqueles do grupo climatológico, que são aqueles de evolução mais gradual, mais lenta, como seca e estiagem. Eles representam 48% dos registros e ocorrem com maior frequência nas regiões Nordeste e Sul do país. Em segundo lugar, vem o grupo hidrológico, que são os desastres relacionados ao excesso de chuvas. E eles ocorrem com maior frequência na Região Sudeste do país,

representando 39% dos registros da pesquisa, segundo o relatório de danos materiais e prejuízos decorrentes de desastres naturais no Brasil – 1995-2014. (CEPED, 2016)

Na economia e nos custos públicos, as chuvas e enchentes em São Paulo trazem prejuízos de 3,4 bilhões por ano segundo FIESP (2017).

No Rio de Janeiro, o Tribunal de Contas do Estado do Rio de Janeiro (TCE-RJ) divulgou no mês de 2011 um balanço consolidado sobre os investimentos públicos e os prejuízos financeiros na região serrana, atingida por fortes temporais no dia 12 de janeiro de 2011. O documento aponta danos materiais de R\$ 614 milhões, sem contabilizar os prejuízos no município de Nova Friburgo, que não havia remetido os valores até o fechamento do material pelo TCE (Agência Brasil, 2011).

Por que acontece enchentes? Quais as principais causas das enchentes? Como ocorrem as inundações? Diante de tantas perguntas, observa-se que enchentes e inundações são problemas de grande abrangência. Sendo necessário grande esforço e estudo. Para isso não existe solução única. É necessário uma equipe multidisciplinar, assim como uma gerência de modo a entender o todo não só socialmente e politicamente, mas tecnicamente, pois todos esses problemas ocorrem por causa de inadequados, inexistentes e/ou ineficientes sistemas de drenagem urbana. A Engenharia Urbana detém capacidade para atender essas demandas. Sendo assim, é necessário pesquisas e busca de novas técnicas e soluções, no âmbito das engenharias.

Porém, obras tradicionais de drenagem urbana não apresentam bons resultados quanto a redução de enchentes por muito anos, sendo necessário estudo e pesquisa na área de drenagem. E hoje, mais do que nunca, a questão sustentável é evidente e super importante para a ciência, principalmente para a engenharia.

Os revestimentos e as estruturas de pavimentos capazes de drenar a água e encaminhá-la, por infiltração às camadas inferiores, possuem relevância em amenizar as inundações ocasionadas principalmente pelo aumento do número de habitações, a insuficiência da capacidade de recolhimento das águas e o crescimento de revestimentos impermeáveis. Portanto, as águas da chuva devem ser evacuadas cada vez mais rapidamente (SALLES, 2008).

Novamente, graves ocorrências de desastres refletiram em um período de mudanças na legislação e na organização institucional dos órgãos de defesa civil brasileiros. Entre 2008 e 2011, inundações e movimentos de massa fizeram com que essa fosse a década com mais mortes decorrentes de desastres em toda a história brasileira. Santa Catarina, Alagoas,

Pernambuco e Rio de Janeiro protagonizaram cenas sem precedentes. (Gestão de Riscos, 2017)

A principal demanda é criar mecanismos e instrumentos de gestão que favorecessem a prevenção de ocorrências de desastres e a diminuição de seus impactos. (Gestão de Riscos, 2017)

1.1 METODOLOGIA

A metodologia empregada nesse trabalho consiste nas seguintes etapas:

Primeiramente foi feita uma pesquisa abrangente sobre pavimentos permeáveis e drenagem urbana no âmbito da sustentabilidade.

Após essa etapa iniciou-se a construção de uma bancada experimental de ensaio, de um pavimento permeável, utilizado para o estudo, com revestimentos constituídos de agregados reciclados de construção e demolição civil, oriundos de pesquisa de Vidal (2014), sobre caracterização de revestimento permeável.

Em seguida, utilizou-se um simulador de chuva, objeto de estudo de Sobrinho (2001), para simulação de uma chuva com características semelhantes às de uma chuva natural.

Sabido a intensidade da chuva, empregada na metodologia, incluímos uma Caixa Pluviométrica no sistema para aquisição de coletas de dados.

Para isso, utiliza-se nessa metodologia, uma caixa pluviométrica desenvolvida na Escola Politécnica da UFRJ, pelo professor Theophilo Benedicto Ottoni Filho e equipe, e objeto de estudo de pesquisa de Liberato (2015), com o intuito de determinar a taxa de infiltração do pavimento, considerando conceitos básicos de hidrologia onde o escoamento superficial, da chuva não absorvida do pelo pavimento, é coletado na respectiva caixa pluviométrica.

Após coleta dos dados, obtidos e mensurados de forma sistemática, inicia-se a avaliação e tratamento destes dados; e comparação e verificação dos cenários.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho é delimitado em 5 capítulos.

O primeiro capítulo faz a abordagem contextual iniciando sobre a problemática do adensamento das cidades, seus efeitos e causas, assim como a impermeabilização do solo oriunda desse crescimento desorganizado das grandes cidades, seja no Brasil como no mundo. Posteriormente, aprofunda-se na abordagem de drenagem urbana das águas pluviais e suas

facetas. A importância do estudo, seja na Engenharia Urbana ou em outras ciências, durante esses anos é oportuno visto que drenagem urbana é atual e objeto de estudo multidisciplinar. Inclui-se o pavimento permeável como possibilidade de mitigar os efeitos negativos da urbanização e a necessidade de usos de tecnologias sustentáveis para mundo atual.

Como forma de transcrição de ideias, o segundo e o terceiro capítulo, é uma revisão da literatura, base para a referida pesquisa, de forma a propiciar o avanço em um campo de conhecimento já estudado por outros pesquisadores, a ajudar na delimitação do problema. Para isso consultou-se fontes tais como artigos publicados em periódicos nacionais e internacionais; livros; teses e dissertações; anais de conferências nacionais e internacionais; seja através do uso da tecnologia digital (internet) ou físico/material (livros, revista e etc). O segundo capítulo é uma revisão literária de RCD (Resíduo de Construção e Demolição), Drenagem Urbana e Hidrologia. O terceiro capítulo é uma revisão literária de Pavimento Permeável.

O quarto capítulo é a descrição do método experimental, necessários na execução da pesquisa, inclusive conceitos de Hidrologia, como subsídio para entendimento e parâmetro para traçar o gráfico da taxa de infiltração. Neste capítulo encontra-se os procedimentos adotados na construção da bancada de pavimento permeável, utilizando 2 (dois) tipos de revestimentos; a adoção e detalhamento dos equipamentos (simulador de chuva e caixa pluviométrica); plano coleta de dados, bem como a plano de análise de dados. Encontra-se também os procedimentos adotados para determinação do Coeficiente de Permeabilidade e para Determinação da Taxa de Infiltração.

O quinto capítulo é a apresentação dos experimentos, no caso, os ensaios e a análise dos resultados obtidos experimentalmente no estudo. A análise dos dados é apresentada através do tratamento destes, com auxílio de uma planilha matemática.

Nas considerações finais, remete-se a vantagens e desvantagens do pavimento; suas características no decorrer da pesquisa; assim como pontuando as necessidades de estudos futuros, seja na drenagem urbana sustentável, como a adoção da tecnologia de pavimentos permeável como técnica compensatória comparada a dispositivos de drenagens convencionais.

Por último, apresentação das referências bibliográficas citadas na pesquisa, juntamente com anexos e apêndices.

2 REVISÃO DA LITERATURA

O processo de urbanização no Brasil e no mundo, nem sempre esteve alinhado às preocupações com questões ambientais. Porém, em meio à busca por uma mudança de paradigma de maneira geral, fez-se necessário repensar certas práticas para que a ideia de sustentabilidade estivesse presente em todos os aspectos no cotidiano das sociedades. As questões ambientais têm ocupado cada vez mais espaço nas legislações de muitos países, devido à grande geração de resíduos, oriundos também, da indústria da construção civil. Assim, os dados levantados pelo IBGE (2008), Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais, Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (2008), fazem comparação pontuando que no Brasil, 99,60% dos Municípios possuem coletas de seus resíduos domiciliares, mas que 50% são depositados a céu aberto (lixões), sem qualquer tratamento. A partir daí, pode-se fazer uma breve reflexão de que a coleta de resíduos cresceu no país, porém o descarte desse resíduos e a forma como é tratado não teve alinhado as questões ambientais. Esse processo gera grandes impactos ambientais desde a extração de recursos naturais para a produção de insumos até a produção de resíduos, que são dispostos no meio ambiente sem nenhum controle.

Segundo Brasileiro (2015), pesquisadores de todo o mundo continuam disponibilizando dados quanto à quantidade de Resíduos de Construção e Demolição – RCD gerado, legislações são constantemente empregadas com o intuito de diminuir e prevenir a geração de RCD com aplicabilidades dos resíduos reciclados nos mais diversos ramos do setor construtivo, para promover o efetivo retorno à cadeia da construção. A partir dessa colocação de Brasileiro (2015) pode-se acreditar em melhorias no que diz respeito a diminuição desses resíduos visto que, é exatamente com esse intuito de se criar propostas que, de fato, tragam mudanças efetivas para a situação atual, que é cada vez mais importante analisar historicamente o processo de descarte desses resíduos de construção civil para que a sociedade em geral possa ter seus direitos assegurados em garantir qualidade de vida minimizando esses impactos causados por essas quantidades de RCD despertando assim a conscientização de que a continuação do desenvolvimento só pode dar-se se forem levados em consideração os princípios associados à sustentabilidade;

De acordo com Hendre e Lint iz apud BRASILEIRO (2015) “a construção civil é uma das atividades mais antigas que se tem conhecimento e desde os primórdios da humanidade foi executada de forma artesanal, gerando como subproduto, grande quantidade de resíduos de diversas naturezas. É também

responsável pelo consumo excessivo de recursos naturais provenientes de fontes não-renováveis”.

Vale ressaltar que de todos os setores da indústria, a construção civil é a que mais consome recursos naturais. E desde a produção dos insumos utilizados até a execução da obra e sua operação ao longo do tempo, o setor apropria-se de cerca de 75% de tudo que é extraído do meio ambiente.

Brasileiro (2015) cita também em sua pesquisa que as atividades de construção civil demandam uma quantidade considerável de materiais inertes, tais como areia e cascalho, que usualmente são fornecidos por meio da extração de sedimentos aluviais. A extração desses sedimentos traz como consequência a transformação do perfil dos rios e o seu equilíbrio, além de introduzir problemas ambientais como modificações em sua estrutura hidrológica e hidrogeológica. Outra consequência negativa é a extração de material inerte de formações rochosas em áreas acidentadas e montanhosas, pois essa também é uma atividade prejudicial ao meio-ambiente ao alterar a paisagem, provocando problemas de instabilidade.

A geração de RCD, portanto, alcançou altos índices nos últimos tempos, fruto do desperdício e do descarte inconsequente nas obras de construções, nas reformas e nas demolições (HALMEMAN, 2009). Esses resíduos representam aproximadamente, de 20% a 30% do fluxo de resíduos sólidos gerados pelas cidades dos países desenvolvidos (MARCHI, COSTA, 2011) e (ROCHA, 2007).

Segundo Pinto (2010), nas cidades brasileiras o RCD representa de 41 a 70% da massa total de resíduos sólidos urbanos (RSU). Para CABRAL et al., o RCD constitui uma importante parcela do RSU, correspondendo em torno de 50%, enquanto que para (SILVA e FERNANDES, 2011) em alguns municípios, representa 60% do montante de RSU. Porém, todos os autores citados tendem a confirmar que os descartes desses resíduos só ampliam as consequências dos impactos ambientais agravando a cada dia a situação do meio ambiente e da população brasileira.

2.1 Definição, Classificação e Composição do RCD

O desenvolvimento e o crescimento dos centros urbanos trouxeram para a sociedade problemas que não se deve ignorar diante de construções e demolições, cujo destino incorreto traz em diversos aspectos preocupações para a cidade brasileira, que são os resíduos sólidos.

Observou-se que ao longo deste trabalho, utilizou-se a sigla RCD, como definição de resíduos na Construção Civil sob a Resolução n.º 307 do CONAMA, 2002.

Alguns autores, definem o resíduo de construção (RC), como o material proveniente de atividades da construção civil, devido à construção de edificações, reformas e reparos de residências individuais, edificações comerciais e outras estruturas. Definem também resíduos de demolição (RD) como todo material proveniente da destruição de construções e outras estruturas sendo ambos resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concretos, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica, etc., também chamados de entulhos de obras, calça ou metralha (Resolução CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente - nº 307/02).

Bidone (1999) relata que resíduo sólido no latim é *reliquum corpus* e significa sobras de substâncias ou seja, lixo, acrescido de sólido para diferenciar de resíduos líquidos e gasosos.

Tavares, (2007), apud Santos (2009) refere-se que o significado de resíduo sólido e lixo são os mesmos, visto que o termo resíduo sólido é mais acadêmico, enquanto popularmente é comum utilizar o termo lixo, para as sobras inúteis a partir das atividades humanas.

Relatam ainda que anteriormente, devido às pequenas concentrações humanas, os resíduos sólidos eram constituídos predominantemente de materiais orgânicos, sendo costume enterrá-los para evitar a proliferação de vetores e doenças, ou usá-los na fertilização do solo.

Segundo os autores acima, percebe-se que atualmente, com o crescimento populacional e o desenvolvimento tecnológico, observa-se um aumento da quantidade de resíduos e uma diversidade na sua composição.

Segundo Brasil/FUNASA (2004), os resíduos sólidos podem ser classificados de acordo com sua origem e grau de biodegradabilidade como mostra os quadros 1 e 2.

Quadro 1 – Resíduo Sólido

TIPO DO RESÍDUO	ORIGEM DO RESÍDUO
Urbana	Domiciliar, comercial, portos, aeroportos, terminais ferroviários e terminais rodoviários. Limpeza urbana: varrição de logradouros, praias, feiras, eventos, capinação, poda, etc...
Industrial	Nessa categoria se inclui o lodo produzido no tratamento de efluentes, líquidos industriais, bem como resíduos de processos de transformação.
Serviços de Saúde	Resíduos gerados em hospitais, clínicas médicas, odontológicas e veterinárias, postos de saúde e farmácias.
Radioativa	Resíduos de origem atômica. Esse tipo tem legislação própria e é controlado pelo Conselho Nacional de Energia Nuclear (CNEN).
Agrícola	Resíduo de fabricação de defensivos agrícolas e suas embalagens.
Construção Civil	Resíduos da Construção Civil, tais como: vidros, tijolos, pedras, tintas, solventes e outros.

FUNASA 2004

Quadro 2 – Constituição dos Resíduos

SUBSTÂNCIA	CARACTERÍSTICAS
Facilmente degradáveis (FD)	Restos de comida, sobras de cozinha, folhas, capim, cascas de frutas, animais mortos, excrementos, etc.
Moderadamente degradáveis	Papel, papelão e outros produtos celulósicos, etc.
Não degradáveis	Metal não ferroso, vidro, pedras, cinzas, terra, areia, cerâmica, etc.

FUNASA 2004

A ABNT normatiza a classificação dos resíduos na NBR 10.004 (2004). A classificação considera os riscos potenciais ao meio ambiente, conforme se observa no quadro 3.

Quadro 3 – De acordo com a NBR 10.004/2004 os Resíduos Sólidos

CATEGORIA /CLASSIFICAÇÃO	DEFINIÇÃO / CARACTERÍSTICA
Classe I (Perigosos)	Apresentam riscos à saúde pública ou ao meio ambiente, caracterizando-se por possuir uma ou mais das seguintes propriedades: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade.
Classe IIA Classe IIB (Inertes)	Podem ter propriedades como: combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade, porém, não se enquadram como resíduo I e IIB.
Classe IIB (Inertes)	Não tem constituinte algum solubilizado em concentração superior ao padrão de potabilidade da água. Como exemplo destes materiais tem se: rocha, tijolos, vidros e certos plásticos e borrachas que não são decompostos prontamente.

FUNASA 2004

Tavares (2007) cita que os RCD são partes integrantes dos RSU, e são gerados em elevadas porcentagens, interferindo na qualidade de vida da população e imputam prejuízos de diversas ordens à administração pública e ao meio ambiente.

Segundo Pinto (1999), a massa de RCD gerada nas cidades, é igual ou maior que a massa de resíduos domiciliares, isto se compara a Neto (2006) que afirma que os RCD, definem-se como rejeito de material utilizado na execução de etapas de obras da construção civil, sendo provenientes de construções novas, reformas, reparos, restaurações, demolições e obras de infraestrutura.

De acordo com MORAIS (2006), as terminologias RCD e Resíduos da Construção Civil (RCC), têm sido utilizadas no meio acadêmico para designar os resíduos sólidos gerados nas atividades de construção e demolição, também conhecidos popularmente como entulhos.

Entulho ou sobras de materiais de construção civil “são os subprodutos gerados e removidos de construções, reformas e locais de demolição ou canteiros de edificações e de obras de arte de Engenharia Civil”. HONG KONG POLYTECHNIC (1993 apud VIDAL, 2014).

A Resolução 307 de 05 de julho de 2002 do CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente classifica os resíduos da construção civil conforme apresenta-se no quadro 4 abaixo.

Quadro 4 – Classificação os resíduos da construção civil

CLASSE	ORIGEM	TIPO DE RESÍDUO
A	São os resíduos reutilizáveis ou recicláveis com agregados	a. De construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagens.
		b. De construção, demolição, reformas e reparos de edificações, componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento, etc..), argamassa e concreto
		c. De processo de fabricação e ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meio-fios) produzidos no canteiro de obras.
B	São os resíduos recicláveis para outras destinações	Plástico, papel / papelão, metais, vidros e outros;
C	São os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações	Gesso e produtos oriundos deste
D	São os resíduos perigosos oriundos do processo de construção	Tintas, solventes, óleos e outros, ou aqueles contaminados oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros

CONAMA (2002)

Na visão dos autores Schenini, Bagnati e Cardoso (2004), a constituição dos rejeitos da construção civil é heterogênea dependendo das características de cada construção e do grau de desenvolvimento da indústria em uma determinada região. Dessa forma, sua composição é feita por uma mistura de brita, areia, concreto, argamassa, tijolos cerâmicos e blocos de concreto, restos de madeira, caixas de papelão, ferro e plástico.

De acordo com a NBR 10.004 da ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, são classificados como resíduos sólidos inertes ou resíduos de Classe II B.

Para Tavares (2007), os resíduos provenientes de atividades construtivas apresentam-se sob forma sólida, pois são gerados em grandes volumes apresentando características físicas variáveis dependendo do processo em que ocorreu sua geração.

Zordan (2001), refere-se ao resíduo da construção e demolição como o mais heterogêneo de todos os resíduos industriais. Sendo assim, essa heterogeneidade na sua composição, faz dos RCD apresentarem diferentes características em cada local onde é gerado, tendo uma variabilidade no ato de sua composição.

Monteiro et al. (2001) apud Silva Filho (2005), afirma que os RCD são uma mistura de materiais inertes, tais como: concreto, argamassa, madeira, plástico, papelão, vidros, metais, cerâmica e terra. Sendo assim os autores apresentam a composição média do entulho de obra no Brasil, como pode-se observar na tabela 1, não considerando o solo extraído durante as escavações.

Tabela 1 – Composição média de entulhos de obras no Brasil

COMPONENTES	PORCENTAGEM (%)
Argamassa	63
Concreto e Blocos	29
Outros	7
Orgânicos	1
Total	100

Monteiro et al. (2001) apud Silva Filho (2005)

Dentre os diversos tipos de obras de reformas, manutenção e demolição ligadas ao setor da construção civil, têm influência direta na composição dos RCD, como pode-se ver na tabela 2.

Tabela 2 – Componentes Presentes no RCD

COMPONENTES PRESENTES NO RCD	TRABALHOS RODOVIÁRIOS (%)	ESCAVAÇÕES (%)	SOBRAS DE DEMOLIÇÕES (%)	OBRAS DIVERSAS (%)	SOBRAS DE LIMPEZA (%)
Concreto	48	6,1	54,3	17,5	18,4
Tijolo	-	0,3	6,3	12	5
Areia	4,6	9,6	1,4	3,3	1,7
Solo, poeira, lama	16,8	48,9	11,9	16,1	30,5
Rocha	7	32,5	11,4	23,1	23,9
Asfalto	23,5	-	1,6	-	0,1
Metais	-	0,5	3,4	6,1	4,4
Madeira	0,1	1,1	7,2	19,3	10,5
Papel/Material Orgânico	-	1	1,6	2,7	3,5
Outros	-	-	0,9	0,9	2

Levy (1999), apud Leite (2001)

Tavares (2007) ressalta que a grande variabilidade de técnicas e metodologias de produções existentes e a presença ou não do controle de qualidade interferem na composição dos RCD. Isto significa que quanto maior for as variações nos métodos de composição, mais interferência existirá em sua composição. Já Carneiro et al. (2001), diz que a composição dos RCD sofrem influência do processo, do período e do local da coleta da amostragem; existindo assim interferências em suas características, composição e qualidade dos RCD, e em seus aspectos como: o nível de desenvolvimento da indústria da construção civil; a qualidade e treinamento da mão de obra disponível; as técnicas de construção e demolição empregadas; a adoção de programas de reciclagem com reutilização dos materiais nos canteiros; os tipos de materiais predominantes disponíveis da região; o desenvolvimento de obras (metrô, estação de tratamento de esgoto, restauração de centros históricos, entre outras); o desenvolvimento econômico e tecnológico da região e a demanda por novas construções.

2.1.1 Legislação Nacional e Normas Referentes aos RCD

A legislação brasileira, no que tange às políticas urbanas, vem se posicionando com o objetivo de implementar diretrizes, ou seja, orientações para a efetiva redução dos impactos ambientais gerados pela construção civil.

Cabe ressaltar que até 2002, o Brasil não tinha políticas públicas para os resíduos gerados pelo setor da construção civil. No entanto, a Resolução nº. 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente de 5 de julho de 2002 (CONAMA, 2002), em vigor desde janeiro de 2003, é o primeiro instrumento legal e também a principal legislação direcionada ao tratamento das questões específicas dos RCD que trouxe regras importantes para o setor. Essa resolução visa, entre outros objetivos, estabelecer critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos (RCD), a partir da classificação destes para que os mesmos recebam a destinação adequada e minimize os impactos causados à população. Vale destacar que, segundo a resolução, os geradores desses resíduos (pessoas físicas ou jurídicas, públicas ou privadas, responsáveis por atividades e/ou empreendimentos que gerem os resíduos definidos no documento jurídico) devem ter como objetivo prioritário a não geração de resíduos e, secundariamente, a redução, a reutilização, a reciclagem e a destinação final.

A gestão de resíduos da construção civil deve ser integrada, proporcionando benefícios de ordem social, econômica e ambiental.

Consta na resolução que o instrumento para implementar a gestão dos resíduos sólidos da construção civil é o Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos que deverá ser

elaborado por cada município e pelo Distrito Federal. Tal documento incorporará o Programa Municipal de Gerenciamento de Resíduos e os Projetos de Gerenciamento dos Resíduos da Construção Civil.

Em 2010, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) foi aprovada, por intermédio da Lei nº 12.305/10, é atual e contém instrumentos importantes para permitir o avanço necessário ao país no enfrentamento dos principais problemas ambientais, sociais e econômicos decorrentes do manejo inadequado dos resíduos sólidos. Prevê tanto a redução quanto a prevenção na geração de resíduos, trazendo como proposta a prática de hábitos de consumo sustentável e um conjunto de instrumentos que propiciem o aumento da reciclagem e da reutilização desses resíduos.

A lei também institui uma responsabilidade compartilhada entre todos os participantes desse processo, além da criação de metas importantes que contribuem para a eliminação dos lixões.

Ela coloca o Brasil em patamar de igualdade aos principais países desenvolvidos no que concerne ao marco legal e inova com a inclusão de catadoras e catadores de materiais recicláveis e reutilizáveis, tanto na Logística Reversa¹ quanto na Coleta Seletiva².

Brasileiro (2015), afirma em sua pesquisa que, para os aterros sanitários somente serão destinados os rejeitos, material este composto quase na sua totalidade por matéria orgânica. Se houver uma efetiva fiscalização da lei e o fechamento dos “lixões”, o tratamento e a reciclagem de resíduos sólidos como papel, plásticos, metal e inclusive, dos resíduos sólidos da construção e demolição, poderá ter alta nos lucros. Pois, a grande maioria dos resíduos gerados nos canteiros de obras e de demolição é composta por restos de argamassas, tijolo, alvenaria, concreto, cerâmica, gesso, madeira, metais e etc. Estes materiais são descartados em aterros sanitários devido à ausência de mercados para suas formas recicladas (X. Duran et al, 2006). Os autores fazem essa afirmação baseados em toda realidade mundial, visto que se

¹ A logística reversa é um dos instrumentos para aplicação da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos. Entre outros princípios e instrumentos introduzidos pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, e seu regulamento, Decreto Nº 7.404 de 23 de dezembro de 2010, destacam-se a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos e a logística reversa.

² Coleta seletiva é a coleta diferenciada de resíduos que foram previamente separados segundo a sua constituição ou composição. Ou seja, resíduos com características similares são selecionados pelo gerador (que pode ser o cidadão, uma empresa ou outra instituição) e disponibilizados para a coleta separadamente. De acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos, a implantação da coleta seletiva é obrigação dos municípios e metas referentes à coleta seletiva fazem parte do conteúdo mínimo que deve constar nos planos de gestão integrada de resíduos sólidos dos municípios

faz necessário um olhar mais centralizado para a solução dessa situação a partir das políticas públicas que por bem protegem o meio ambiente.

2.1.2 Aplicação de RCD

A geração de resíduos sólidos é, de fato, consequência do crescimento e desenvolvimento dos grandes centros urbanos. Segundo Pinto (1999), nas cidades do Brasil de grande e médio porte os principais resíduos gerados são exatamente os resíduos de construção e demolição (RCD), pois esses representam em média 40 a 70% de todos os sólidos das cidades brasileiras.

Esse material descartado de maneira inadequada tem causado enchentes, entupimento de galerias e assoreamento de canais, poluição e custos altos e muitas vezes desnecessários na administração pública. Dessa maneira, visando toda essa problemática, percebeu-se que há grande desperdício ou perda de dinheiro. Uma solução para a problemática é a reciclagem de resíduos de construção, o que passaram a ser objeto de atenção especial no setor da construção civil e diversas políticas públicas. A partir daí, foram implementadas com esse objetivo. Quanto ao total de RCD, deve ser notado que no Brasil, são contabilizados apenas os resíduos lançados nos logradouros públicos, coletados pelos municípios e sua reutilização na própria construção civil, como matéria-prima é a alternativa.

Além de redução da super exploração de jazidas minerais para extração de recursos naturais não renováveis, há também, a carência de locais para a deposição desses resíduos, fazendo com que as distâncias entre os locais de demolição e as áreas de disposição sejam cada vez maiores, onerando os custos de transporte. A reciclagem de RCD contribui também para a ampliação da vida útil dos aterros, especialmente em grandes cidades, em que a construção civil é intensa e há escassez de área para deposição (BRASILEIRO, 2015).

Ela traz benefícios econômicos e ambientais para as cidades em que é implantada. Além da diminuição dos custos de gerenciamento do resíduo, o custo do produto reciclado é bem menor que o agregado natural. Leite, (2001, apud Costa 2003) observa que se obtém uma economia de 67% em média, quando comparados os preços do agregado reciclado e do agregado natural.

Para Evangelista, Costa e Costa (2010, p 23) citado por Silva e Fernandes (2012, p 333), a reciclagem de RCD no Brasil encontra-se em atraso quando comparada aos países europeus. De acordo com o IBGE (2008) dos 5.564 municípios brasileiros, 4.031 municípios (72,45%) possuem “serviço de manejo dos resíduos de construção e demolição”; em 392

municípios (7,05%) tem “existência e tipo de processamento dos resíduos”, 124 (2,23%) existe a “triagem simples dos resíduos de construção e demolição reaproveitáveis (classes A e B)”, em 14 (0,25%) existe “triagem e trituração simples dos resíduos classe A”, em 20 (0,36%) existe “triagem e trituração dos resíduos classe A, com classificação granulométrica dos agregados reciclados” e somente em 79 municípios (1,42%) existe o programa de “reaproveitamento dos agregados produzidos na fabricação de componentes construtivos. Somente uma parte do RCD desses municípios é destinada às usinas de reciclagem, concluindo-se que a grande maioria dos RCD no país não é reciclada (BRASILEIRO, 2015).

2.2 Drenagem Urbana

2.2.1 Conceito

Conforme o plano diretor de drenagem urbana de Porto Alegre (2013), o principal objetivo de um plano de drenagem urbana e manejo de águas pluviais é criar mecanismos de gestão para a bacia hidrográfica, o zoneamento urbano e as estruturas de macro e microdrenagem.

Durante muito tempo o objetivo principal da drenagem urbana foi remover as águas pluviais em excesso da forma mais eficiente possível para evitar transtornos, prejuízos e riscos de inundações TUCCI (1993). A necessidade de uma nova visão, mais abrangente e sistêmica, capaz de oferecer uma maior sustentabilidade aos processos de controle de inundações se mostra, fundamental e urgente BAHIENSE (2013).

A partir de tal enfoque as ações encontram-se na execução de projetos e obras e nas análises econômicas dos benefícios e custos dessas medidas, ditas estruturais TUCCI (1993).

Segundo Bahiense (2013), o crescimento das cidades invariavelmente provoca mudanças no ciclo hidrológico local, onde o aumento das áreas impermeabilizadas é frequentemente uma das principais causas para o agravamento das inundações urbanas. Por esta razão, diversas concepções de projeto de drenagem têm sido pesquisadas, buscando uma abordagem mais sustentável para a gestão de águas pluviais urbanas.

Medidas estruturais, conforme Tucci (1993), são necessárias e mesmo essenciais para solução de grande número de problemas de inundações urbana, pois a experiência nacional e internacional mostra, entretanto, que tais medidas, além de onerosas, não representam por si só solução eficaz e sustentável dos problemas mais complexos de drenagem Urbana.

Silva e Travassos (2008), relata em sua pesquisa sobre os problemas ambientais urbanos e os desafios para a elaboração de políticas públicas integradas, onde melhores soluções para esses problemas são alcançadas a partir de uma compreensão mais integrada do ambiente urbano e das relações entre as sistemas que o compõem. Ou seja, depende também de uma atuação mais abrangente por parte dos responsáveis pelo setor que necessariamente deve envolver aspectos legais, institucionais, tecnológicos e sociológicos. Tucci (1993), diz em outras palavras que, o conceito do que se entende por drenagem Urbana atravessou o campo restrito da engenharia para se tornar um problema gerencial, com componentes políticos e sociológicos.

O termo drenagem urbana é entendido aqui, no sentido mais amplo, com o conjunto de medidas que tenham por objetivo minimizar os riscos a que as populações estão sujeitas, diminuir os prejuízos causados por inundações e possibilitar o desenvolvimento urbano de forma harmônica, articulada e sustentável TUCCI (1993). O quadro 5 mostra que a relação de soluções eficazes de drenagem urbana depende de fatores diversos.

Quadro 5 – Soluções eficazes de drenagem urbana

Existência de uma política para o setor que defina objetivos a serem alcançados e os meios (legais, institucionais, técnicos e financeiros) para atingi-los;
Existência de uma política para ocupação do solo urbano devidamente articulada com a política de drenagem Urbana, principalmente no que se refere ao ocupação das várzeas de inundação;
Processo de planejamento que Contemple medidas de curto, médio e longo prazo em toda a bacia e integre as medidas de drenagem de águas pluviais no complexo maior do meio ambiente Urbano;
Existência de entidades eficientes que dominem as tecnologias necessárias, implante obras e medidas, desenvolva atividades de comunicação social, promova a participação pública, estabeleça critérios, aplique leis e normas e enfim, exerça, de forma positiva, a liderança do setor;
Domínio da tecnologia adequada para planejamento, projetos, construção e operação das obras, e;
Organização de campanhas de educação e esclarecimento da opinião pública

PORTO (1993)

2.2.2 Impactos da urbanização

As consequências da urbanização que mais diretamente interfere com a drenagem urbana são as alterações do escoamento superficial direto. Para os casos extremos, verifica-se que o bico de cheia numa bacia urbanizada pode chegar a ser seis vezes maior do que o bico desta mesma bacia em condições naturais TUCCI (1993). A tabela 3 explica melhor a relações de causa e efeito.

Tabela 3 – Causas e efeitos da urbanização sobre as inundações urbanas

CAUSAS	EFEITOS
Impermeabilização	Maiores Picos e vazões
Redes de drenagem	Maiores Picos e a jusante
Lixo	Degradação da qualidade da água entupimento de bueiros e Galerias
Rede de esgoto deficientes	Degradação da qualidade da água moléstia de Veículos São hídrica e não dá são consequências mais sérias
Desmatamento e desenvolvimento indisciplinado	Maiores Picos e volumes mais erosão assoreamento e canais e Galerias
Ocupação das várzeas	Maiores prejuízos maiores Picos maiores custos de utilidade pública

TUCCI (1993)

Verifica-se que os problemas resultantes desse processo refere-se principalmente ao aproveitamento de recursos hídricos, controle de poluição e controle de inundações. Soluções eficientes e sustentáveis para esses problemas são aqueles que atuam sobre a causa e abrange todas as relações entre os diversos processos TUCCI (1993).

Porto (2013), diz que as consequências da urbanização sobre o clima, contrariamente aos impactos hidrológicos, são de pequena escala, mas podem, a longo prazo, introduzir alterações significativas no balanço hídrico, com impactos inclusive sobre a qualidade da água devido, por exemplo, as alterações da qualidade da água da chuva, diminuição das vazões mínimas e etc

Porto (2013) também cita que a urbanização tem também consequências não hidrológicas que interfere significativa nas questões de drenagem urbana, principalmente se forem consideradas as considerações condições brasileiras das últimas décadas, marcadas pelo

crescimento acelerado e caótico das populações urbanas; e que os impactos mais importantes citados pelo autor são consequências sobre a ocupação do solo e consequências do comportamento político e administrativos TUCCI (1993).

2.2.3 Hidrologia Urbana

Outro tópico importante a ser abordado nessa pesquisa é a questão da hidrologia Urbana, onde o autor Tucci, 1993, define hidrologia urbana como o estudo dos processos hidrológicos em ambientes afetados pela organização, e que quando o interesse maior é a drenagem urbana e o escopo dos estudos pode ser bastante simplificado e geralmente se limita ao estudo das cheias.

O sistema de drenagem urbana constitui-se basicamente de dois subsistemas característicos (REZENDE, 2010):

A) Microdrenagem Urbana

Não sendo tópico importante desse estudo, porém envolve aspectos urbanos no que se refere à drenagem urbana, a microdrenagem urbana é constituída por elementos básicos do sistema pluvial onde os principais termos utilizados no desenvolvimento de um sistema pluvial são galerias, sarjetas, sarjetões, condutos forçados, estações de bombeamento. (Porto, 1993). Já Rezende (2010), define que microdrenagem urbana constituída pela drenagem dos loteamentos urbanos e áreas públicas como praças, parques e ruas, convencionalmente visando à retirada das águas precipitadas e sua condução para a rede secundária, ou macrodrenagem, o mais rapidamente possível, com um risco associado de 2 a 10 anos

B) Macrodrenagem Urbana

Assim como na microdrenagem, a macrodrenagem é um tópico dentro da drenagem urbana importante ser estudada e conhecida. Por isso vale citar que a macrodrenagem, são intervenções em fundos de vale que coletam águas pluviais de águas providas de sistemas de microdrenagem ou não (TUCCI, 1993). Macrodrenagem Urbana, REZENDE (2010), é formada pela hidrografia natural da bacia. A rede de macrodrenagem recebe grandes intervenções hidráulicas a fim de retificar os rios, aumentar sua capacidade de escoamento, diminuir áreas de alagamento, entre outras, com riscos ou recorrência variando entre 10 e 100 anos.

Obras de macrodrenagem busca evitar as enchentes devido a bacias urbanas, isto é, construções de canais, revestidos ou não, com maior capacidade de transporte que um canal natural e bacias de retenção Tucci, et al (1993).

3 PAVIMENTO PERMEÁVEL

3.1 Introdução

Os primeiros tipos de pavimentos permeáveis usaram como revestimento concreto poroso, asfalto poroso e peças intertravadas de concreto permeável. O pavimento intertravado de concreto permeável foi introduzido na Europa no fim da década de 1980 e na América do Norte desde 1992, enquanto o asfalto e o concreto poroso foram introduzidos anteriormente, na década de 1970. Nas últimas duas décadas, o pavimento intertravado permeável tem sido profundamente estudado (ICPI, 2008).

Com relação ao pavimento intertravado de concreto convencional, seu uso também cresceu em grandes proporções na década de 1980 e a tecnologia ganhou espaço no Brasil em 1990 (WIEBBELLING, 2015).

Pesquisas sobre pavimentos permeáveis vêm sendo coordenadas pela engenheira civil Mariana Marchioni desde 2007 na Associação Brasileira de Cimento Portland. O resultado foi a elaboração de um manual de melhores práticas para pavimentos permeáveis. (SANTOS, 2011).

Em 2015, foi dado mais um passo no Brasil para o sistema construtivo: a criação da ABNT NBR 16416:2015 com título “Pavimentos Permeáveis de Concreto – Requisitos e Procedimentos”. Esta, por sua vez, é resultado do projeto 18:600.10-001, elaborado pelo Comitê Brasileiro de Cimento, Concreto e Agregados (CB-18) da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) para a criação do novo texto.

As normas relacionadas com pavimentos permeáveis que foram utilizadas para realização desse trabalho podem ser vistas no Quadro 6.

Quadro 6 – Normas utilizadas

Norma	Título
NBR 9781:2013	Peças de concreto para pavimentação - Especificação e métodos de ensaio
NBR 16416:2015	Pavimentos permeáveis de concreto - Requisitos e procedimentos

ABNT, 2013; ABNT, 2015

3.2 Aplicabilidade do RCD Reciclado

A construção civil é um dos setores que apresenta maior potencial para absorver os resíduos sólidos. Exemplos de aplicações têm sido apresentados por diversos autores (BRASILEIRO, 2015). Dentre as várias possibilidades, a reciclagem de RCD pode ser aplicada para diversos fins, tais como: camadas de base e sub-base para pavimentação, coberturas primárias de vias, fabricação de argamassas de assentamento e revestimento, fabricação de concretos, fabricação de pré-moldados (blocos, meio-fio, dentre outros), camadas drenantes, etc.

Bastos (2004) também salienta o emprego do RCD em pavimentação de novas vias. Outros estudos foram realizados objetivando avaliar a viabilidade técnica, como também econômica, da utilização de RCD na produção de materiais de construção como concretos, argamassas, blocos de concreto, elementos pré-moldados e em pavimentação Evangelista, Costa e Costa (2010).

Vieira e Molin (2004) avaliaram a viabilidade técnica e econômica da utilização de agregados reciclados provenientes de RCD, em concretos, através da realização de uma comparação entre concretos produzidos com agregados naturais e reciclados, substituindo 50% e 100% de agregados graúdos e miúdos, em cinco composições. Os resultados da pesquisa indicaram que os agregados reciclados em proporções devidamente dosadas que podem melhorar algumas propriedades do concreto, como resistência à compressão e durabilidade.

Um processo de pesquisa e desenvolvimento de um novo material ou produto a partir de um resíduo, que venha a se estabelecer como uma alternativa de mercado ambientalmente segura, é uma tarefa complexa envolvendo conhecimentos multidisciplinares.

Assim, uma metodologia que tenha por objetivo orientar atividades de pesquisa e desenvolvimento de reciclagem de resíduos como materiais de construção deve reunir e articular os conceitos e ferramentas relevantes ao desenvolvimento das diferentes atividades e deve compreender os seguintes tópicos: identificação e quantificação dos resíduos disponíveis; caracterização do resíduo; custos associados aos resíduos; seleção das aplicações a serem desenvolvidas; avaliação do produto, análise de desempenho ambiental; desenvolvimento do produto e transferência de tecnologia (VIDAL, 2014).

3.3 Sistema de Infiltração

Tendo em vista o pavimento permeável, constata-se que pode ser executado de três formas, em relação a precipitação da água. E sua escolha depende do sistema de infiltração e das características do solo ou das condicionantes de projeto.

A primeira forma apresentada na ABNT NBR 16416 é a infiltração total, na qual, toda a água precipitada é direcionada ao subleito, como pode se observar na Figura 1.

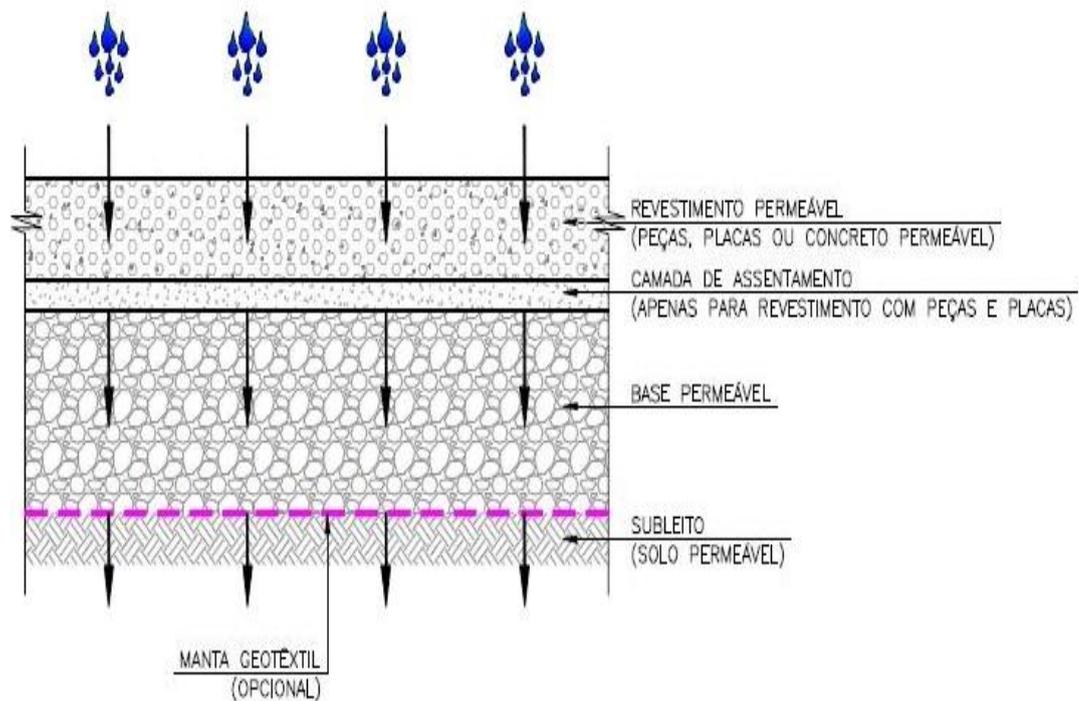


Figura 1 – Infiltração Total

(<http://lpe.tempsite.ws/blog/index.php/pavimento-intertravado-e-sempre-permeavel/>)

Na segunda forma, tem-se a infiltração parcial, em que a água precipitada se infiltra e é direcionada da mesma forma ao subleito e conta com o auxílio de tubos de drenagem instalados para complementar a drenagem do excesso de água, de acordo com a ilustração na Figura 2.

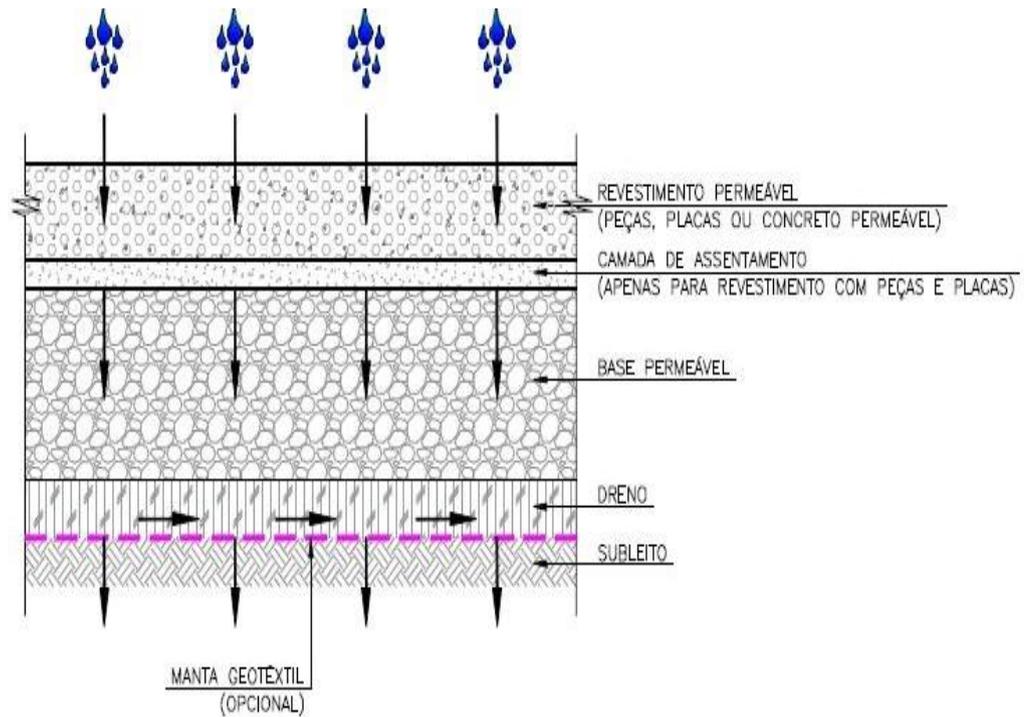


Figura 2 – Infiltração Parcial

(<http://lpe.tempsite.ws/blog/index.php/pavimento-intertravado-e-sempre-permeavel/>)

Na terceira forma, há o sistema sem infiltração. Nele, a água precipitada fica alojada e armazenada por um período curto na estrutura permeável e não infiltra no terreno de fundação, ou seja, no subleito, sendo, em seguida, removida pelo dreno, como mostra na Figura 3. Esse sistema de acordo com a norma é utilizado para o caso do solo ter permeabilidade muito baixa ou ocorrer risco de contaminação de água. Assim, utiliza-se o sistema sem infiltração, em que toda a água é direcionada a um sistema de drenagem.

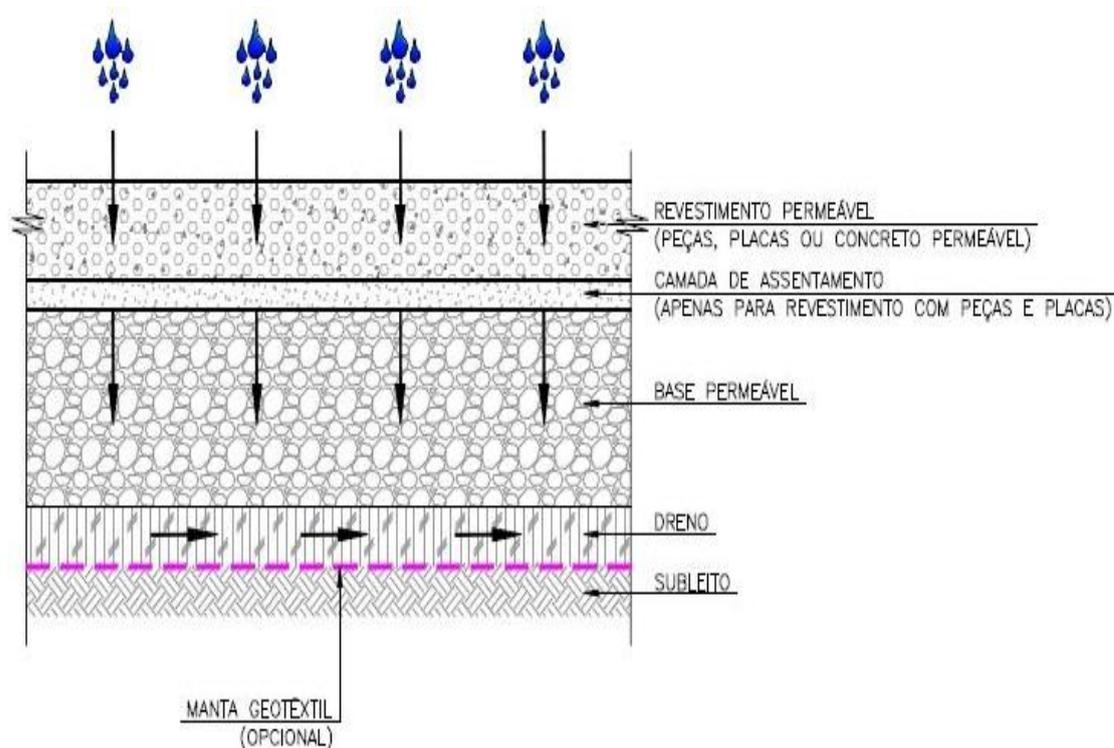


Figura 3 – Sem Infiltração

(<http://lpe.tempsite.ws/blog/index.php/pavimento-intertravado-e-sempre-permeavel/>)

As áreas revestidas com pavimentos permeáveis precisam necessariamente permitir a percolação, ou seja, a dissolução dos constituintes do solo com 100% de água precipitada inesperadamente sobre esta área, referindo-se a 100% da precipitação incidente sobre as áreas de contribuição inseridas no projeto, em cumprimento as normas da ABNT NBR 16416: 2015.

As pavimentações permeáveis devem possuir superfícies 100% permeável, de acordo com a soma da área permeável e da área de contribuição.

A seguir consta na tabela 4, valores típicos do coeficiente de permeabilidade:

Tabela 4 - Valores típicos de Coeficientes de Permeabilidade

Solo	Coeficiente de Permeabilidade
Argilas	$< 10^{-8}$ m/s
Siltes	10^{-6} a 10^{-8} m/s
Areias argilosas	10^{-7} m/s
Areias finas	10^{-5} m/s
Areias medias	10^{-4} m/s
Areias grossas	10^{-3} m/s

MARCHIONI; SILVA, 2011

3.4 Coeficiente de Permeabilidade

De acordo com o pavimento permeável quando recém-construído, seu coeficiente de permeabilidade deve ser maior que 10^{-3} m/s. Sendo este avaliado em campo após a execução do pavimento descrito em Anexo A da ABNT NBR 16416.

O coeficiente de permeabilidade é uma importante característica a ser determinado (OLIVEIRA, 2017). Este ensaio determina o fator mais importante do pavimento de concreto permeável, que é a vazão que o mesmo consegue infiltrar (ALTERMANN, 2015).

Por conseguinte, o coeficiente de permeabilidade é avaliado em laboratório, permitindo ter apenas a camada de revestimento ou o revestimento juntamente com toda a estrutura do pavimento.

A tabela 5 mostra a importância de se conhecer a permeabilidade baixa, alta ou muito alta. A exemplo, observa-se que a areia grossa possui alta permeabilidade enquanto a areia fina e a argilosa possuem baixa permeabilidade.

Tabela 5 – Classificação de Permeabilidade

Valores típicos de coeficiente de permeabilidade para solos		
Permeabilidade		k (m/s)
Pavimentos permeáveis	Muito alta	$> 10^{-3}$
	Alta	10^{-3} a 10^{-5}
	Baixa	10^{-5} a 10^{-7}
Pavimentos impermeáveis	Muito baixa	10^{-7} a 10^{-9}
	Baixíssima	$< 10^{-9}$

ABNT, 2015

Na Tabela 6 há um resumo sobre a determinação do coeficiente de permeabilidade em campo e em laboratório de acordo com a norma.

Tabela 6 – Determinação do coeficiente de permeabilidade

Tipo de revestimento	Método de Ensaio		Coeficiente de permeabilidade do pavimento recém construído m/s
	Local de avaliação		
	Em Laboratório	Em campo	
Peças de concreto (juntas alargadas ou áreas vazadas)	Anexo A	Anexo A	$> 10^{-3}$
Pelas de concreto permeável	ABNT NBR 13292 ou Anexo A		
Placas de concreto permeável			
Concreto permeável moldado no local			

ABNT, 2015

Estes tipos de revestimentos são utilizados a partir do método descrito no Anexo A da ABNT NBR 16416: 2015 onde é feita a avaliação prévia do coeficiente de permeabilidade. Assim, este ensaio é realizado em um segmento de pavimento com no mínimo $0,5\text{m}^2$ de área.

Dessa forma, este seguimento de pavimento pode ser ensaiado junto com as camadas previstas para compor a estrutura do pavimento, reproduzidas com as mesmas espessuras do projeto, ou somente com a camada de revestimento. O assentamento e

rejuntamento são reproduzidos de acordo com a avaliação prévia dos revestimentos de pavimento intertravado permeável e pavimentos de placas de concreto permeável.

Previamente o coeficiente de permeabilidade em laboratório se dá apenas para a aprovação preliminar dos materiais de revestimento e simulação das condições de permeabilidade desse pavimento. Dessa maneira, a aprovação final do pavimento, do coeficiente de permeabilidade, é realizada em campo, após a prática de execução do pavimento.

A realização do método sugerido pela norma no Anexo A, segue os seguintes equipamentos para a execução do ensaio:

a) Anel de infiltração cilíndrico vazado com diâmetro de (300 ± 10) mm e altura mínima de 50 mm. Internamente o cilindro deve ter duas linhas de referência com distâncias de 10 mm e 15 mm em relação à face inferior do anel. O material deve ser resistente à água, com rigidez suficiente para não deformar quando cheio;

b) Balança com resolução de 0,1 g;

c) Recipiente com volume mínimo de 20L, que permita o derramamento controlado do volume de água;

d) Cronômetro com resolução de 0,1 s;

e) Massa de calafetar.

Esses ensaios ocorrem em três diferentes pontos de ensaio para áreas até 2500m^2 e um ponto adicional para cada 1000m^2 adicionais. Os locais em que estes acontecem devem ser escolhidos aleatoriamente e ser localizados a representar o lote. E esta execução deve ser realizada com intervalo superior a 24 h depois da última precipitação ocorrida no local. Porém, não é permitido executar o ensaio caso haja água na superfície do pavimento.

O pavimento deve ser limpo apenas varrendo o lixo, sedimentos e outros materiais, em seguida, o anel de infiltração deve ser posicionado no local de ensaio e vedado na parte em contato com o pavimento com massa de calafetar, para não permitir vazamentos.

O ensaio de determinação do coeficiente de permeabilidade deve ser realizado conforme a seguir: iniciar o ensaio em até 2 min depois da execução da pré-molhagem, depois despejar a água no anel de infiltração com velocidade suficiente para manter o nível de água entre as duas marcações do anel (10 mm a 15 mm), em seguida, marcar o intervalo de tempo acionando o cronômetro assim que a água atingir a superfície do pavimento permeável e parar o cronômetro quando não houver mais água livre na superfície do mesmo. Registrar o tempo com exatidão de 0,1 s. O volume de água a ser despejado é determinado em função do tempo de pré-molhagem conforme a Tabela 7.

Tabela 7: Quantidade de água para ensaio do coeficiente de permeabilidade

Tempo de pré-molhagem (s)	Massa de água para o ensaio (kg)
≤ 30	18,00 ± 0,05
> 30	3,60 ± 0,05

ABNT, 2015

O pavimento sendo inclinado, deve sempre ter o nível de água entre as duas marcas no cilindro na parte mais baixa do aclave.

E se o ensaio for repetido no mesmo ponto, a segunda determinação não requer a realização do procedimento de pré-molhagem, se for iniciada em até 5 min após o primeiro. Deve-se considerar a média das duas determinações como resultado do ensaio. Não se pode repetir o ensaio mais que duas vezes no mesmo local no mesmo dia.

Sendo assim o coeficiente de permeabilidade (k) é realizado e utilizado conforme a seguinte equação 1:

$$k = \frac{C \cdot m}{(d^2 \cdot t)} \quad \text{eq. (1)}$$

Onde

k é o coeficiente de permeabilidade expresso em milímetros por hora (mm/h);

m é a massa de água infiltrada expressa em quilogramas (kg);

d é o diâmetro interno do cilindro de infiltração expresso em milímetros (mm);

t é o tempo necessário para toda a água percolar expresso em segundos (s);

C fator de conversão de unidade do sistema SI, com valor igual a 4583666000.

3.5 Das Características do Revestimento

Nessa pesquisa utiliza-se dois tipos de agregados para realização dos ensaios: Agregado graúdo de demolição (100%) e Agregado graúdo de construção (50%) e demolição (50%).

Nesse revestimento não foi adotada a aplicação de aditivos plastificantes ou superplastificantes, pois de acordo com Vidal, et al, Batezini (2013) e Levy (2001), tais

aditivos aumentam o teor de ar incorporado ao concreto, mas obtém melhoria na trabalhabilidade e adensamento da mistura.

Tal medida permite o estudo com comportamento do concreto composto de agregados reciclados.

4 MÉTODO EXPERIMENTAL

Apresenta-se a descrição do método experimental e a análise dos resultados dos pavimentos estudados nessa pesquisa. O método experimental se dividiu em duas etapas: determinação do coeficiente de permeabilidade e ensaio em bancada experimental para determinação da taxa de infiltração.

Ambos ensaios foram realizados no Centro Experimental de Saneamento Ambiental da UFRJ (CESA/UFRJ), figura 4, laboratório de ensino, pesquisa e extensão subordinado ao departamento de Recursos Hídricos e Meio Ambiente da Escola Politécnica.

O CESA/UFRJ consiste em um conjunto de instalações em escala piloto, contemplando simuladores de águas urbanas, unidades de tratamento de esgotos, assim como o protótipo do telhado verde e pavimentos.



Figura 4 – CESA-UFRJ Rua Lobo Carneiro 6299
www.saneamento.poli.ufrj.br/index.php/br/

4.1 Da Determinação do Coeficiente de Permeabilidade

Para determinação do Coeficiente de Permeabilidade, nessa pesquisa foram analisados dois pavimentos permeáveis que, na sua composição, possuem agregados graúdos provenientes de materiais reciclados de resíduos de construção e demolição (RCD)

Ambos os revestimentos utilizados nessa pesquisa, e produzidos por Vidal, como placa de concreto, RC e RCD, foram anteriormente avaliados, sobre os efeitos dos agregados

recicladados, sobre as propriedades mecânicas do concreto permeável no estado fresco (teor de ar incorporado e trabalhabilidade) e sobre o estado endurecido (resistência à compressão axial, resistência à tração por compressão diametral, resistência à tração na flexão e no módulo de elasticidade) (VIDAL, 2014).

Nesse trabalho utilizou-se placas de concreto permeável 100% de AGC (agregado graúdo de resíduo de construção), e 50% de AGC (agregado graúdo de resíduo de construção) e 50% de AGD (agregado graúdo de resíduo de demolição).

Os agregados utilizados para confecção dos revestimentos permeáveis foram obtidos do descarte dos resíduos da construção do novo Laboratório de Ensaios de Materiais de Construção Civil, da Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro (LAMAC). Onde, de acordo com a figura 5, a colocação do piso cerâmico gerou o resíduo de construção (RC), composto unicamente por resíduo cerâmico e a demolição da base de concreto da antiga máquina de ensaio de carregamento cíclico de elementos de concreto, que por sua vez, deu origem ao resíduo de demolição (RD), figura 6, composto somente de resíduo de concreto (VIDAL, 2014). A seleção e a coleta dos resíduos utilizados na fabricação das placas de revestimento permeável, foram feitas por Vidal.



Figura 5 – Piso Cerâmico – Resíduo de construção
Vidal, 2014



Figura 6 – Concreto – Resíduo de demolição
Vidal, 2014

Segundo Vidal (2014), tal estudo sobre esses revestimentos permeáveis é parte integrante do Projeto — Desenvolvimento de soluções urbanísticas e ambientalmente

adequadas de manejo de águas pluviais, visando à redução do impacto sobre o hidrograma de enchente, em bacias experimentais urbanas, financiado pela FINEP.

Para os dois tipos de revestimentos desta pesquisa, Vidal moldou corpos de provas, com misturas distintas, para a realização dos ensaios de resistência à compressão, resistência à tração por compressão diametral e resistência à tração na flexão.

O teor de ar incorporado ao concreto e módulo de deformação, com propriedades mecânica do concreto permeável, também foram objeto de estudo na pesquisa de Vidal (2014).

Para os revestimentos também foram realizados os estudos da trabalhabilidade dos concretos reciclados. Nesse revestimento não foi adotada a aplicação de aditivos plastificantes ou superplastificantes, pois de acordo com Vidal (2014), et al, Batezini (2013) e Levy (2001), tais aditivos aumentam o teor de ar incorporado ao concreto, mas obtém melhoria na trabalhabilidade e adensamento da mistura. Tal medida permite produzir concreto permeável com menor custo e para avaliar a trabalhabilidade do concreto sem a adição de aditivos.

Após a análise da curva granulométrica dos agregados no estudo, nenhum dos agregados reciclados estavam dentro dos limites estabelecidos pela NBR 7211/2009, para composição do agregado de graduação para brita n.º1, para produção de concreto permeável (VIDAL, 2014).

Na caracterização dos agregados, Vidal (2014), também cita Leire (2001), no que se refere aos custos de produção do revestimento permeável. Onde sempre se busca a economicidade, sustentabilidade e a utilização do agregado sem correção e com o mínimo de beneficiamento.

Em seus resultados, Vidal (2014) conclui que os concretos permeáveis reciclados apresentaram redução na relação entre a resistência à tração e a resistência à compressão, fato idêntico ao concreto convencional, mas a redução nesta relação é maior nos concretos permeáveis reciclados. De acordo com os resultados obtidos, em comparação com o concreto convencional considera-se que as misturas de concreto permeável compostas somente de agregados graúdos, influenciaram negativamente as propriedades mecânicas desses concretos principalmente a resistência à compressão, à tração e ao módulo de elasticidade.

A Norma NBR 16416 com título “Pavimentos Permeáveis de Concreto – Requisitos e Procedimentos” têm como escopo estabelecer os requisitos mínimos exigíveis ao projeto, especificação, execução e manutenção de pavimentos permeáveis de concreto, construídos com revestimentos de peças de concreto intertravadas, placas de concreto ou pavimentos de concreto moldado no local (ABNT, 2015).

De acordo com a norma as placas de concreto permeáveis são componentes pré-moldados de concreto permeável, utilizados como material de revestimento em pavimentos permeáveis e cujo índice de forma, ou seja, a relação entre o comprimento e a espessura da placa de concreto, descontando a espessura do espaçador, é superior a quatro e se difere das peças de concreto por não apresentar intertravamento, ou seja, a água deve infiltrar pela própria placa e não pelas juntas.

Em relação as dosagens em sua composição e dosagem dos agregados utilizados na fabricação do revestimento Vidal (2014), define:

Tabela 8: Resumo esquemático das variáveis estudadas no experimento

Mistura	Fator água/ cimento	Agregado Graúdo CONST. (%)	Agregado Graúdo DEM. (%)
Agregado Graúdo de Construção (100%)	0,48	100	
Agregado graúdo de Construção (50%) e de Demolição (50%)	0,46	50	50

VIDAL (2014)

Tabela 9: Consumo de concreto, água e agregados utilizados.

Mistura	Cimento (kg/m ³)	Água (kg/m ³)	Agregado Graúdo CONST. (kg/m ³)	Agregado Graúdo DEM. (kg/m ³)
Agregado Graúdo de Construção (100%)	300	144	1200	
Agregado graúdo de Construção (50%) e de Demolição (50%)	300	138	600	600

VIDAL (2014)

Nesse trabalho, utilizou-se as normas, Tabela 6, relacionadas com pavimentos permeável.

A avaliação prévia do coeficiente de permeabilidade em laboratório serve apenas para a aprovação preliminar dos materiais de revestimento e simulação das condições de permeabilidade do pavimento. A aprovação final do pavimento, em relação ao coeficiente de permeabilidade, deve ser realizada em campo, após a execução do pavimento.

Nesta etapa foi realizado o ensaio para a determinação do coeficiente de permeabilidade. Os primeiros ensaios foram realizados em Agosto de 2017. Nessa data foi realizado o ensaio somente na placa composta de resíduos 100% cerâmico. No caso, resíduos de construção civil. Porém decidiu-se descartar os dados anteriores e fazer outros ensaios em

junho de 2018. E nesse momento dois tipos de placas diferentes de revestimento permeável foram testadas.

A NBR 16416 (2015) permite uma avaliação prévia do coeficiente de permeabilidade no laboratório, através de dois métodos de ensaio, segundo a NBR 13292 (1995) ou conforme o anexo A da referida norma, para num segmento de pavimento com área mínima de $0,5\text{m}^2$.

O coeficiente de permeabilidade pode ser previamente avaliado em laboratório, podendo-se ensaiar apenas a camada de revestimento ou o revestimento juntamente com toda a estrutura do pavimento.

Nesse trabalho optou-se ensaiar apenas a camada de revestimento, conforme método descrito na norma, assim como realizar o trabalho ao ar livre por questões de logística, disponibilidade de equipamentos e das placas próximo ao local de ensaio.

De acordo com a norma, vide tabela 6, resumo sobre as considerações para a determinação do coeficiente de permeabilidade em campo e em laboratório, quando recém construído, o pavimento permeável deve apresentar coeficiente de permeabilidade no mínimo de 10^{-3} m/s.

4.2 Da bancada Experimental (Taxa de infiltração)

Essa etapa experimental também foi realizada no Centro Experimental de Saneamento Ambiental – CT/UFRJ (CESA) na Ilha do Fundão, no campus da UFRJ, na Cidade Universitária – RJ. Foi construída uma bancada experimental de teste para a montagem do pavimento permeável e realização dos ensaios. Também foram utilizados um infiltrômetro de aspersão artificial (simulador de chuva), para gerar uma precipitação e uma caixa pluviométrica, para coletar dados oriundos da água do escoamento superficial. Com esses dados e juntamente com a utilização das equações empíricas de Kostiakov (1932) e Houston (1940), apresenta-se a taxa de infiltração para os pavimentos permeáveis.

A. Bancada experimental de teste

As placas de concreto permeável foram montadas para a realização de testes de permeabilidade, através de simulações de chuvas pré-determinadas, geradas por um simulador, para estudar o comportamento do concreto permeável produzido com agregados reciclados de construção civil e demolição, como revestimento permeável de piso, analisando sua eficiência na retenção de chuvas e se sua aplicação pode ser viável tecnicamente, em ambiente urbano (VIDAL, 2014).

A bancada experimental de teste foi construída em blocos de alvenaria estrutural, figura 7, com dimensões aproximadas de 1,88 x 0,89m (comprimento e largura), totalizando uma área de superfície de 1,67 m². Estas medidas referentes à largura e comprimento, apresentam um erro aproximado de 0,02m devido às irregularidades da massa de reboco utilizada para cobertura do pavimento e da espessura do impermeabilizante. Essa área de 1,67m² corresponde justamente à área de teste dos pavimentos permeáveis. Conforme figura 7, a bancada possui profundidade aproximada de 0,66m (cota da borda interna) onde se dispuseram as camadas em areia de subleito para o assentamento do pavimento permeável. Neste protótipo, foi construído um leito de drenagem através do posicionamento de drenos tubulares de 60 cm, no fundo do protótipo.



Figura 7 – Bancada experimental (2015)

B. Protótipo

A estrutura deve suportar toda a carga do pavimento permeável e para isso deve considerar o peso das camadas e dos revestimentos e a quantidade de água que pode ficar retida no sistema.

O protótipo utilizado na pesquisa teve sua construção concluída no início desse trabalho experimental em 2015. Conforme ilustrado na Figura 7.



Figura 8 – Identificação das faces do protótipo (2018)

Não há na base da sua estrutura nenhum caimento, de forma a conduzir a água para uma saída. A única inclinação que existe no protótipo é na face superior das bordas, que tem a função de excluir a água oriunda da precipitação fora da área de contribuição.

C. Montagem do pavimento permeável

Após a caracterização da areia, foram realizadas as seguintes etapas construtivas para montagem do subleito do pavimento permeável:

- a. Limpeza, fundo e paredes, da caixa suspensa, com água;
- b. Secagem, fundo e paredes, da caixa suspensa;
- c. Verificação das falhas, trincas na impermeabilização;

Instalação da tubulação, figura 9, de 40mm de PVC marrom, que tem a função de drenar a água acumulada na caixa suspensa.



Figura 9 – Tubulação de drenagem (2015)

Execução de uma fina camada de areia seca de 5cm, figura 10, e, logo em seguida, realizou-se a compactação da mesma.



Figura 10 – Primeira camada de areia (2015)

Para não pisar na areia e interferir na etapa de compactação, utilizou-se um cabo de madeira contendo na sua extremidade um peso de 2kg de modo a garantir a homogeneidade da areia compactada. Em seguida, foi executada outra camada de areia de 5cm aplicada em cima da primeira superfície. Para nivelar essas camadas de subleito, utilizou-se duas mestras planas de madeiras de 5cm no sentido de maior comprimento da bancada, garantindo assim a uniformidade da camada. Para evitar acúmulo de ar enclausurado no subleito da bancada, nessa etapa construtiva, foram posicionados tubos de drenagem flexíveis perfurados interligados, por meio de conexões (redução de 100 mm para 40mm) e tubos de PVC de 40mm, figura 10, da parte interna da bancada ao lado externo da bancada.

Tal sistema, segundo Horton (1940), interligado como vasos comunicantes, por meio da pressão atmosférica, garante maior capacidade de infiltração. Em seus experimentos, Horton (1940), observou que a capacidade de infiltração aumentou aproximadamente 2 (duas) vezes em relação a um sistema sem o uso de tubos.



Figura 11 – Disposição das tubulações cobertas com bidin após 1ª camada de areia (2015)

Na execução, foram dispostos tubos simetricamente equidistantes, conforme figura 11. O comprimento de cada tubo (dreno flexível perfurado) utilizado foi de 80cm, totalizando 4 (quatro) metros de tubo de drenagem flexível perfurado.



Figura 12 – Tubo de drenagem flexível perfurado (2015)

Para este experimento utilizou-se 5(cinco) pedaços de tubo de drenagem flexível perfurado, interligado ao sistema de retirada de ar da bancada, figura 12 e 13, promovendo uma maior infiltração da água no solo.

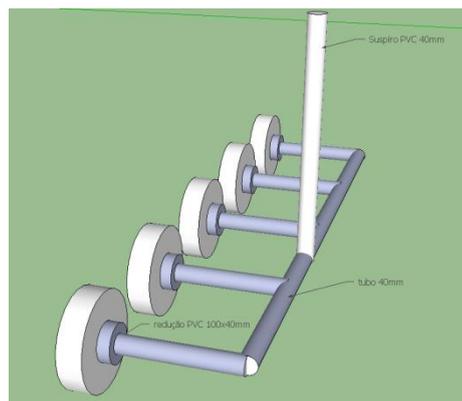


Figura 13 – Sistema de retirada de ar (2017)

Antes de aplicar mais uma camada de areia com cota de 15cm, foi necessário proteger o tubo de drenagem flexível perfurado, com uma manta de drenagem geotêxtil, figura 11, comumente denominada bidim, em toda a extensão do mesmo, para evitar que a areia entupisse os furos existentes em todo o corpo do tubo dreno flexível perfurado. Garantindo assim 100% a funcionalidade do sistema de retirada de ar. Após a execução da camada de 15 cm, foi realizada uma simulação de chuva com intensidade de 150 mm/h com o intuito de permitir que os grãos menores preenchessem os vazios imperceptíveis ao olho humano, e se aproximar ao máximo de um subleito natural. No dia seguinte, após esgotar toda água da bancada, foi posicionada sobre esta camada de areia uma manta de drenagem geotêxtil, figura 14, em toda superfície, devidamente regularizada e nivelada.



Figura 14 – Camada de Bidim (2015)

Por fim, o protótipo recebeu a última camada de areia, figura 15, para o posterior assentamento das placas do pavimento permeável.



Figura 15 – Camada de areia de regularização para assentamento das placas (2015)

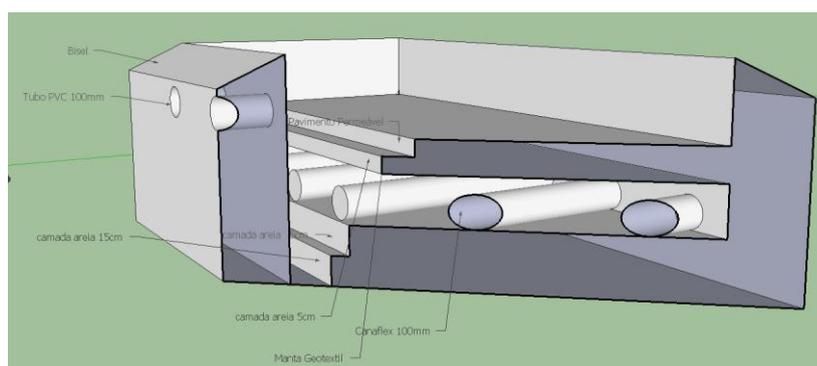


Figura 16 – Corte esquemático da bancada experimental (2017)

Em todas essas etapas construtivas do subleito, utilizou-se o mesmo material de areia, de modo a garantir a padronização da pesquisa e eliminar qualquer interferência no experimento. Tal ação segundo Liberato (2015), garante que a única interferência quanto às medidas da curva de infiltração nas bancadas partirá do pavimento permeável, assim como da intensidade de chuva.

Revestimento de piso com placa de RC e RCD

O pavimento utilizado nessa pesquisa tem na sua composição agregados da construção e demolição. Vidal, 2014, estudou a utilização dos agregados graúdos reciclados em substituição aos agregados naturais, em cinco misturas diferentes. Porém nessa pesquisa estudou-se apenas 2 (duas) placas com as composições descritas abaixo:

- 100% de AGC,
- 50% de AGN e 50% de AGD,

De acordo com a classificação de Vidal, nesta pesquisa utiliza-se para o primeiro estudo o pavimento III (Figura 17) e para o segundo estudo o pavimento IV (Figura 18). Sendo então o primeiro estudo uma placa somente com composição de 100% AGC e o segundo estudo com uma placa com composição de 50% AGC e 50% AGD.

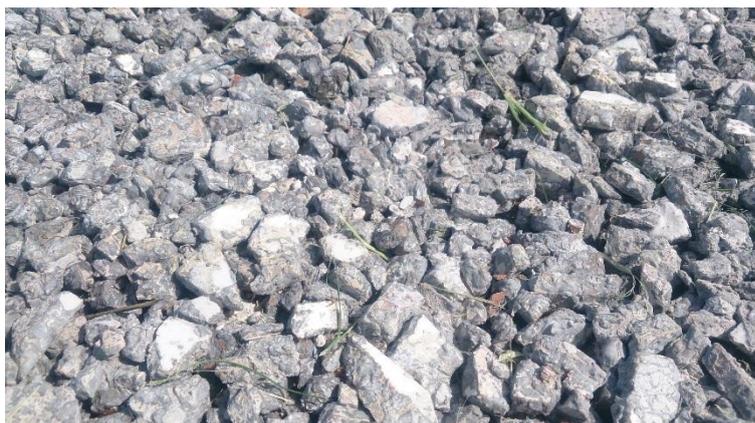


Figura 17 – 100% de agregado graúdo de resíduo de construção – AGC, (2017)



Figura 18 – 50% de AGN e 50% de AGD, (2017)

Após a execução da camada de subleito, foi realizado o assentamento das placas de pavimento permeável. As placas de dimensões de 15x15 cm, figura 19, foram distribuídas na

bancada, figura 20, niveladas entre si e sem caimentos, de modo a garantir uma lâmina de água de, no máximo, 1cm entre a superfície superior da pavimento ao ponto inferior do tubo de PVC de 100mm. Em alguns momentos, foi necessário a utilização de uma máquina de corte, serra mármore, para concluir a colocação do piso de pavimento permeável. As juntas existentes entre as placas do pavimento permeável foram preenchidas com o mesmo material granulométrico do pavimento permeável misturado com cimento, de modo a garantir a homogeneidade do pavimento.



a) b)
 Figura 19 – placa de pavimento permeável (2015)
 a)100% AGC e b) 50% AGC e 50% AGD



a) b)
 Figura 20 – placas montadas na bancada para ensaio (2017)
 a) 100% AGC e b) 50% AGC e 50% AGD

D. Caixa Pluviométrica

Outro equipamento utilizado na pesquisa, para coleta de dados, foi a caixa pluviométrica (CP), figura 21.

A CP foi um equipamento desenvolvido pela Escola Politécnica da UFRJ. O idealizador desse equipamento é o professor Theophilo Benedicto Ottoni Filho, professor da

Escola Politécnica da UFRJ (Departamento de Recursos Hídricos e Meio Ambiente) (LIBERATO, 2015).



Figura 21 – Caixa pluviométrica com aparato medidor (equipamento registrador) (2017)

A caixa pluviométrica é uma estrutura com dimensões de 1,00 x 0,90 x 0,70 m, feita em chapas de aço, perfeitamente nivelada por 4 (quatro) parafusos na parte inferior. Possui 2 (dois) reservatórios para a coleta de água oriundos do escoamento superficial da bancada. Essa coleta se dá através da utilização de uma calha de 100m em PCV, com inclinação, que interliga a bancada à CP; transportando assim a água do escoamento superficial da bancada, oriunda da chuva simulada, até a caixa pluviométrica.

O reservatório maior possui capacidade para reter 230 litros da chuva, provenientes do escoamento superficial. Já o reservatório menor possui capacidade para 90 litros, para o mesmo fim. A CP possui como estrutura, uma canaleta de alimentação do reservatório menor e furos para alimentação do reservatório maior, figura 21. Nessa pesquisa, utilizou-se a canaleta de alimentação do reservatório maior para a coleta de dados, por meio do equipamento registrador do escoamento superficial para determinação da curva de infiltração. Existe nessa CP 3 (três) tubos de aço de 40mm. Cada tubo é interligado a um reservatório. O primeiro tubo é interligado ao reservatório menor, o segundo interligado ao reservatório maior e o terceiro tubo interligado um pluviômetro padrão fixado ao corpo da CP. Cada interligação exerce a função de vaso comunicante. Ou seja, a ligação de dois recipientes através de um duto aberto, para o único líquido, independente da seção do ramo, garante para todos os pontos do líquido a mesma altura. Nos ensaios, utilizou-se apenas 1 (um) tubo, para fixação do aparato medidor, figura 21, que no caso foi o tubo interligado ao reservatório maior. Para a leitura dos dados utilizou-se uma régua graduada e aferida no laboratório, com um tubo de borracha transparente fixada precisamente paralela à régua em aço inoxidável. Por dentro desse tubo transparente tem-se uma barra de arame rígido, com marcação, fixado em sua

extremidade uma bola de isopor, capaz de se mover livremente dentro do tubo. Resume-se que o uso dessa bola de isopor tem a função de boia para o arame quando em contato com a água dentro tubo de vaso comunicante.

E. Simulador de chuvas: InfiAsper Double

Nos ensaios, utilizou-se um infiltrômetro de aspersão artificial devidamente calibrado para produção da chuva. Esse simulador de chuvas, InfiAsper Double, diferente de simuladores equipados com gotejadores, é um simulador, por classificação, equipado com bicos. É um equipamento desenvolvido pelo pesquisador Teodorico Alves Sobrinho, da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, como parte da sua tese de doutorado, que auxilia na geração de chuva para avaliação dos pavimentos permeáveis do meio urbano. Para atender aos critérios de um simulador de chuva, esse infiltrômetro, que possui características de precipitação relativas ao diâmetro de gotas e energia cinética de impacto das gotas produzidas sobre solo semelhantes àquelas da chuva natural (SOBRINHO, 2002), permitiu nos ensaios, aplicar água sobre a bancada de pavimento permeável de forma não intermitente. Na montagem do simulador, atendendo às especificações do equipamento, e garantindo a eficácia dos ensaios, manteve-se, de acordo com Sobrinho, 2002, o interceptor da água a 1,95 m de altura em relação ao pavimento estudado e devidamente montado na bancada. Os bicos foram mantidos a uma altura de 2,30 m em relação ao solo, assim como mantidos a 0,30 m em relação ao obturador rotativo (dispositivo regulador capaz de reduzir a intensidade de precipitação). Como para todo os ensaios a intensidade de chuva de estudo é superior a 40mmh-1, utilizou-se bicos modelos Veejet 80.150 com pressão de 35,6 kPa (equivalente a 5,0 PSI) de modo a atender a intensidade de precipitação. Devido ao fato de que os ensaios são em área ao ar livre e sujeitos a condições climáticas desfavoráveis, fixou-se uma lona em torno dos perfis verticais estruturais do infiltrômetro de modo a evitar o arraste das partículas de gotas devido ventos e garantir assim a precipitação centralizada em relação à área útil.

Utilizou-se um reservatório com capacidade de 200 litros, figura 22 e 23, abastecido com água, para alimentar o sistema; assim como receber o excesso de água interceptado pelo interceptor de água e captado pela calhas, evitando-se que o excesso contribuísse na área útil da parcela experimental. Esse interceptor de água foi útil para eliminar os picos de precipitação que ocorrem nas extremidades do jato de água formado pelo bico (SOBRINHO, 2002). Como o sistema é um ciclo fechado de circulação de água, e nos ensaios existe a perda de água, é importante manter a alimentação do reservatório de 200 litros constante, a fim de manter constante a carga hidráulica do sistema (LIBERATO, 2015).

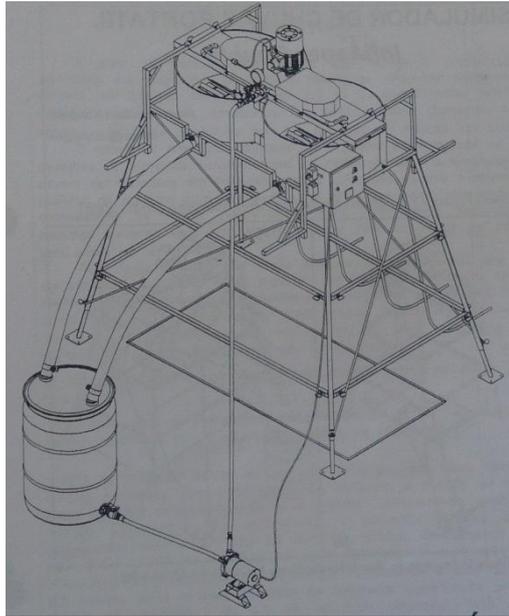


Figura 22 – Esquema do Simulador de chuvas: InfiAsper Double
MANUAL DO USUÁRIO

Esse sistema também é composto por uma bomba de água de 1,5cv de potência, tensão de 220 V, que envia através de uma mangueira de 22,0 mm a água contida no reservatório para os bicos de forma pressurizada. O controle da pressão da água se dá por um registro que controla o fluxo de entrada d'água e é calibrado por um manômetro de pressão devidamente monitorado durante os ensaios, evitando-se assim picos na alimentação de água no sistema. Já o controle da intensidade da chuva é feito pela regulagem da abertura do obturador rotativo ajustável, dispostos dentro do interceptor de água. Por ser um sistema duplo, e ambos controlados por um único motor elétrico de 2cv, na frequência de rotação de 127 RPM, é necessário manter aproximadamente a mesma medida de abertura para os obturadores, de modo a garantir a mesma intensidade para ambos os lados. O controle de frequência de rotação do motor é feito através do inversor de frequência localizado dentro do quadro de comando elétrico do simulador.



Figura 23 – 2 (dois) tabuleiros de ferro para auxílio da calibração (2015)

Para garantir que os mesmos estivessem igualmente calibrados, e assim avaliar o desempenho do simulador de chuva, foram realizados testes de precipitações iniciais e finais, com duração de 6 minutos, sobre 2 (dois) tabuleiros de ferro, figura 23, denominados parcelas específicas, cada um medindo 0,90 x 1,00 m, totalizando uma área útil de 1,80m².



Figura 24 – Disposição Simulador sobre bancada suspensa (2015)

Com o volume de água coletado nesses 6 (seis) minutos de precipitação é possível matematicamente, equação 1 (Manual Simulador de Chuva Portátil), verificar a intensidade (mm h⁻¹) da chuva simulada.

F. Intensidade - Calibração do Simulador de Chuva

A determinação da intensidade de chuva é feita com base na equação:

$$I_p = \frac{\text{Volume coletado}}{\text{área coletada} \times \text{tempo}} \quad \text{eq. (4)}$$

Onde:

I_p = Precipitação (mm h^{-1})

Volume coletado (litros)

Área de coleta = $1,80 \text{ m}^2$

Tempo = $0,1 \text{ h} = 6 \text{ min}$

Nosso simulador pode ser calibrado para aplicar chuvas de 30 a 200mm/h de intensidade. A área da parcela experimental, que recebe a precipitação, é delimitada por duas placas metálicas retangulares de 0,90m de largura e 1,0m de comprimento cada uma, totalizando $1,80 \text{ m}^2$ de área útil. Assim a equação para ajustar a intensidade fica igual a:

$$I_p \left(\frac{\text{mm}}{\text{h}} \right) = \frac{\text{Volume coletado (litros)}}{1,80 \text{ m}^2 \times \text{tempo (h)}} \quad \text{eq. (5)}$$

Ou seja, a partir da intensidade e do tempo de duração da chuva, pré-definidos de acordo com o interesse da pesquisa, determina-se, com a equação acima, o volume ideal a ser coletado pelas placas.

Para as intensidades de precipitação de 100mm/h e 150mm/h, deve-se coletar durante 6 minutos (0,1h) o equivalente de 18 e 27 litros, respectivamente. Medidas com o auxílio de balde e proveta, figura 25.



Figura 25 – Balde e provetas graduadas (2015)

A calibração deve ser feita através de controle nas aberturas do obturador. A primeira chuva de 6 minutos para calibração deve ser feita com uma abertura aleatória. Após medir o volume coletado pelas placas tenta-se aproximá-lo do volume ideal:

Volume medido > Volume ideal → Reduzir abertura do obturador e fazer nova chuva de 6 min.

Volume medido < Volume ideal → Aumentar abertura do obturador e fazer nova chuva de 6 min

Tal procedimento é repetido até que o valor de volume medido esteja próximo do ideal.

G. Volume afluente à caixa pluviométrica

A Caixa Pluviométrica é composta de 3 (três) compartimentos capazes de armazenar água: o pluviômetro, o reservatório maior e o reservatório menor. Cada um desses compartimentos está ligado a um tubo piezométrico: O tubo piezométrico 1 está ligado ao pluviômetro, o tubo piezométrico 2 está ligado ao reservatório menor e o tubo piezométrico 3 está ligado ao reservatório maior. A figura 26, a seguir, ilustra a caixa pluviométrica utilizada.



Figura 26 – Vista superior da Caixa pluviométrica
NETO (2016)

Através da intensidade de chuva e de seu tempo de duração é determinado o volume de água que choveu sobre a pavimento. Como já mencionado anteriormente, uma parte dessa água fica retida no protótipo e outra parte escoá, através de um calha em PVC de 100mm, até atingir os caixa pluviométrica. O conhecimento do volume de água que chega na caixa ao

longo do tempo permite junto com as formulas empíricas de Huston e Kostiakov construir a taxa de infiltração.

Como o comportamento do protótipo não é avaliado em relação a chuvas reais, dentre os 3 compartimentos da caixa pluviométrica, o pluviômetro não foi utilizado (NETO, 2018).

Então, conhecidas as áreas dos reservatórios maior e menor, mais as áreas do piezômetro 2 e do piezômetro 3 e medindo a cota do nível d'água na Caixa Pluviométrica é possível determinar o volume de água na caixa. O que fica melhor representado através da equação a seguir:

$$V_{af,CP}(t + \Delta t) = [(A_{res,Maior} + A_{tubo3}) \times (h_{t+\Delta t}^{tubo3} - h_t^{tubo3})] \quad \text{eq. (6)} \\ + [(A_{res,Menor} + A_{tubo2}) \times (h_{t+\Delta t}^{tubo2} - h_t^{tubo2})]$$

$V_{af,t+\Delta t}$ é o volume que aflui para a Caixa Pluviométrica no intervalo de tempo entre t e Δt .

$A_{res,Maior}$ e $A_{res,Menor}$ são as áreas dos reservatórios maior e menor, respectivamente.

A_{tubo2} e A_{tubo3} são as áreas dos tubos piezométricos 2 e 3 respectivamente.

$h_{t+\Delta t}^{tubo2}$ e $h_{t+\Delta t}^{tubo3}$ são as cotas nos tubos piezométricos 2 e 3, *no instante $t + \Delta t$* .

h_t^{tubo2} e h_t^{tubo3} são as cotas do nível d'água nos tubos piezométricos 2 e 3, *no instante t* .

Como forma de facilitar a execução do ensaio e a minimização de erros, optou-se, assim como Neto, 2018, por vedar a entrada do reservatório menor. Caso isso não fosse feito, seria preciso o registro das alturas nos tubos piezométricos 2 e 3 ao mesmo tempo, o que na prática, considerando que essas medidas não são automatizadas, seria complicado, visto que necessitaria de 2 observadores e portanto sujeito a maiores erros. Portanto toda a água drenada da calha para a Caixa Pluviométrica vai para o reservatório maior. A equação anterior fica resumida a:

$$V_{af,CP}(t + \Delta t) = [(A_{res,Maior} + A_{tubo3}) \times (h_{t+\Delta t}^{tubo3} - h_t^{tubo3})] \quad \text{eq. (7)}$$

A Caixa pluviométrica foi foco da dissertação de Liberato (2015). Nesse estudo ele demonstra a forma de medição das cotas h_t ao longo do experimento, descrito a seguir:

Conforme descrito no item 3.3.4, assim como descrito por Neto (2018), uma estrutura de ferro galvanizado é fixada no tubo piezométrico 3 por meio de dois parafusos. Essa

estrutura sustenta uma régua de 62,5cm, colado a essa régua está um tubo de acrílico rígido e transparente de 3mm de diâmetro interno. E uma vareta de aço inox de 70,0cm de comprimento e 2mm de diâmetro percorre por dentro desse tubo de acrílico.

Em uma das pontas da vareta metálica, fica uma esfera de isopor de 35mm de diâmetro em contato com o nível d'água do tubo piezométrico. Na outra ponta da vareta, foi feita uma marca branca para facilitar a leitura na régua. Conforme o nível d'água varia dentro do reservatório, o nível d'água dentro do tubo piezométrico irá variar, desta forma possibilitando a medição desta variação ao longo do tempo, conforme ilustrado na Figura 27.



Figura 27 – Aparato para medição do volume que aporta à Caixa pluviométrica NETO (2016)

H. Procedimentos do ensaio

O quadro a seguir apresenta a sequência de atividades seguida em cada ensaio.

Quadro 7 – Atividades de cada ensaio

Passo1	Ainda que o Simulador já esteja calibrado para a intensidade de chuva desejada, o equipamento não mantém exatamente essa intensidade. Sendo assim, a chuva de 6 min. sobre as placas metálicas, a medição do volume precipitado, e a equação apresentada no item 3.3.7 são usados para determinar a intensidade.
Passo2	Ligar o Simulador de chuvas sobre o pavimento para que seja iniciada a chuva com a duração já prevista. Anotar a hora que o simulador é ligado.
Passo3	Ligar o simulador de chuvas sobre a pavimento para que seja iniciada a chuva com a duração já prevista. Anotar a hora que o simulador é ligado.
Passo4	Anotar a hora que a água começa a sair do pavimento para a calha.
Passo5	A partir do momento que a água chegar a caixa pluviométrica, anotar consecutivamente, 8 séries de 1 minuto, 8 séries de 2 minutos e 8 séries de 5 minutos, e as cotas L na mesma.
Passo6	Desligar o simulador de chuvas após o tempo de chuva pré definido.
Passo7	Realizar a segunda medida de intensidade. Repetição do passo 1.

Obs₁:São feitas duas medições de intensidade, uma antes do experimento e uma após o final do experimento. A intensidade considerada para o experimento é a média das duas.



Figura 28 – Simulador de Chuva na determinação da intensidade (2015)

5 ENSAIO E RESULTADOS

5.1 Ensaio para determinação do Coeficiente de Permeabilidade

Para o ensaio, foram utilizadas placas com dimensões de 450 x 450 x 5mm, que confere uma área de 0,21m², conforme figura 29. Isso se deve ao fato da não existência de norma que estipulasse a obrigatoriedade de medidas adotadas durante a fabricação das placas feitas por Vidal.



Figura 29 – placas com dimensões de 450 x 450 x 5mm (2018)

O anel de infiltração, figura 30, utilizado no ensaio, foi feito de chapa de aço galvanizado, com 305 mm de altura e 50mm de altura, conforme indicação da norma. Na face interior do anel, foi desenhado duas linhas de referência com cota de 10 mm e 15 mm em relação à face inferior do anel.



Figura 30 – Montagem e disposição do anel sobre placa para ensaio (2018)

Para aferição do medidor de 10 litros, mediu-se a água uma vez na balança como resolução de 0,1g. Após medição, constatou-se que o medidor de 10 litros estava com uma resolução adequada para o referido ensaio.

Conforme figura 33, utilizou-se no ensaio um recipiente de 22 litros de capacidade. A norma delimita um reservatório com um volume mínimo de 20 litros.

O esquema representativo do ensaio é visto da figura 31.

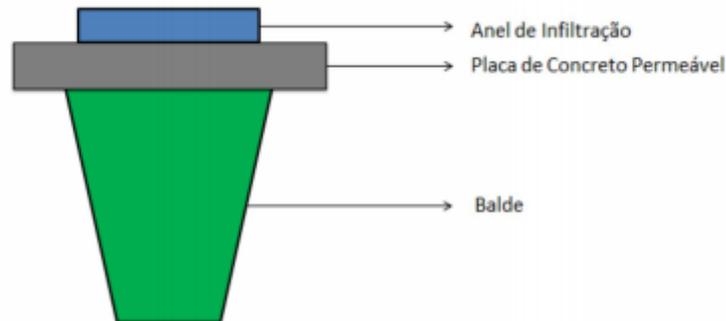


Figura 31 – Esquema representativo ensaio placa permeável
NIGRI (2017)

Inicialmente os pavimentos estavam em mal estado de conservação. Para isso foi necessário realizar uma limpeza com água corrente e escova com cerda rígidas de piaçava. Também foi necessário retirar algumas raízes manualmente, pois prejudicariam o experimento.

Após as etapas citadas acima, iniciou-se a aplicação da massa de calafetar ao longo da borda inferior do anel de infiltração para ficar em contato com a fase superior do revestimento. Houve também o posicionamento do anel de infiltração no centro da placa. Após isso, pressionou-se o anel no pavimento, conforme figura 32, e preencheu-se possíveis vazios com massa de calafetar para não ocorrer perdas do fluido no ensaio.



Figura 32 – Preenchimento de possíveis vazios, 2018.

Desta forma, garantiu-se que não teriam vazamentos. Logo após, foi feita a pré-molhagem, figura 33, na placa de modo a garantir teor de umidade igual para todas as repetições de ensaios.



Figura 33 – Molhagem das placas (2018).

O volume de água despejado foi determinado em função do tempo de pré-molhagem conforme a Tabela 10.

Tabela 10: Quantidade de água para ensaio do coeficiente de permeabilidade

Tempo de pré-molhagem (s)	Massa de água para o ensaio (kg)
≤ 30	18,00 ± 0,05
> 30	3,60 ± 0,05

ABNT (2015)

Para a realização do teste, despejou-se os 18 kg de água de forma que o nível de água estivesse entre 10 mm e 15 mm, conforme figura 34. O tempo da realização do experimento foi cronometrado (cronômetro com resolução adequada para o ensaio) por duas pessoas, que iniciaram a marcação no momento em que a água começou a ser despejada até o instante em que não havia mais água na superfície.



Figura 34 – ensaio coeficiente de permeabilidade (2018)

5.1.1 Resultado do Coeficiente de Permeabilidade

Para o cálculo do coeficiente de permeabilidade (k), foi utilizado equação 1, conforme citado no item 3.4.



Figura 35 – Placa 100% de agregado graúdo de resíduo de construção – AGC (2015)

Para o revestimento 100% de agregado graúdo de resíduo de construção – AGC, obteve-se os seguintes dados descritos na tabela 11.

Tabela 11 – Resultado ensaio revestimento permeável com 100% de agregado graúdo de resíduo de construção – AGC

Revestimento Permeável 100% de agregado graúdo de resíduo de construção – AGC		
Medidas da placa	45 x 45 x 5 cm	
Tentativa 1	37,006 s	36,039 s
Tentativa 2	36,053 s	38,000 s
Tempo Médio	36,774 s	
Coefficiente de Permeabilidade	6,7 x 10 ⁻³ mm/h	



Figura 36 – Placa 50% AGC e 50% de AGC (2015)

Para o revestimento composto de 50% de AGC (agregado graúdo de resíduo de construção) e 50% de AGD (agregado graúdo de resíduos de demolição), obteve-se os seguintes dados descritos na tabela 12.

Tabela 12 – Resultado ensaio revestimento permeável composto de 50% de AGN e 50% de AGD

Revestimento Permeável composto de 50% de AGC e 50% de AGD		
Medidas da placa	45 x 45 x 5 cm	
Tentativa 1	1 min 18,036 s	1 min 18,038 s
Tentativa 2	1 min 19,004 s	1 min 18,072 s
Tempo Médio	1 min 18,287 s	
Coefficiente de Permeabilidade	3,15 x 10 ⁻³ mm/h	

Com posse dos dados, bem como de acordo com a norma vigente, e após análise dos resultados, conclui-se, de acordo com a avaliação previa do coeficiente de permeabilidade, que ambas as placas estudadas, placa 100% AGC e placa 50% AGD e 50% AGC, atende ao requisito da norma.

5.2 Ensaio em bancada Experimental e Análise dos resultados (Taxa de Infiltração)

5.2.1 Procedimentos Taxa de Infiltração

Nos ensaios em bancada, utilizou-se a intensidade de 100mm/h, obtida conforme repetições das Quadro 7.

O ajuste da curva de infiltração foi feito a partir de dois modelos empíricos, Kostiakov (Kostiakov, 1932) e Horton (Horton, 1940)

Ambas as equações sofreram adaptações (LIBERATO, 2015), onde o modelo de Kostiakov foi adaptado para que o ajuste da sua equação potencial fosse realizado a partir das taxas de infiltração (em mm/h) ao invés das lâminas acumuladas medidas.

$$i = C_1 x T^{C_2}$$

em que i é a taxa de infiltração dado em mm/h, T é o tempo em minutos, e

$$C_1 = 60 x k x a$$

$$C_2 = a - 1$$

em que k e a são os coeficientes da equação de Kostiakov ($I = k * T_a$), com I (infiltração acumulada) em mm e T (tempo) em minuto

O Modelo de Kostiakov ajustados (LIBERATO,2015), considerando o pavimentos RCD utilizados no experimento:

$$i = 103,4 x T^{-0,204}$$

Dentre as equações empíricas, uma das mais utilizadas para fins de ajuste da curva de infiltração é a desenvolvida por Kostiakov em 1932 (LIBERATO, 2015).

No modelo de Honton, segundo Liberato (2015), linearizou o modelo aplicando o logaritmo a sua expressão, tornando possível a determinação de sua constante k por meio de uma regressão linear. Nessa otimização, adotou-se a taxa de infiltração constante do modelo como zero, pois neste experimento a saturação completa do subleito tenderá a acontecer com o prolongamento do tempo do ensaio, pois o registro de drenagem de percolação permaneceu fechado durante os ensaios.

Então a equação, atendendo o experimento de bancada, fica:

$$i = i_1 \times e^{-kT}$$

em que i_1 é a taxa de infiltração inicial (em mm/h), considerada igual à intensidade de chuva constante dos ensaios.

Modelos de Horton ajustado segundo Liberato (2015), considerando o pavimento RCD utilizados no experimento:

$$i = 158,76 \times e^{-0,021 \times T}$$

5.2.2 Resultado Taxa de Infiltração

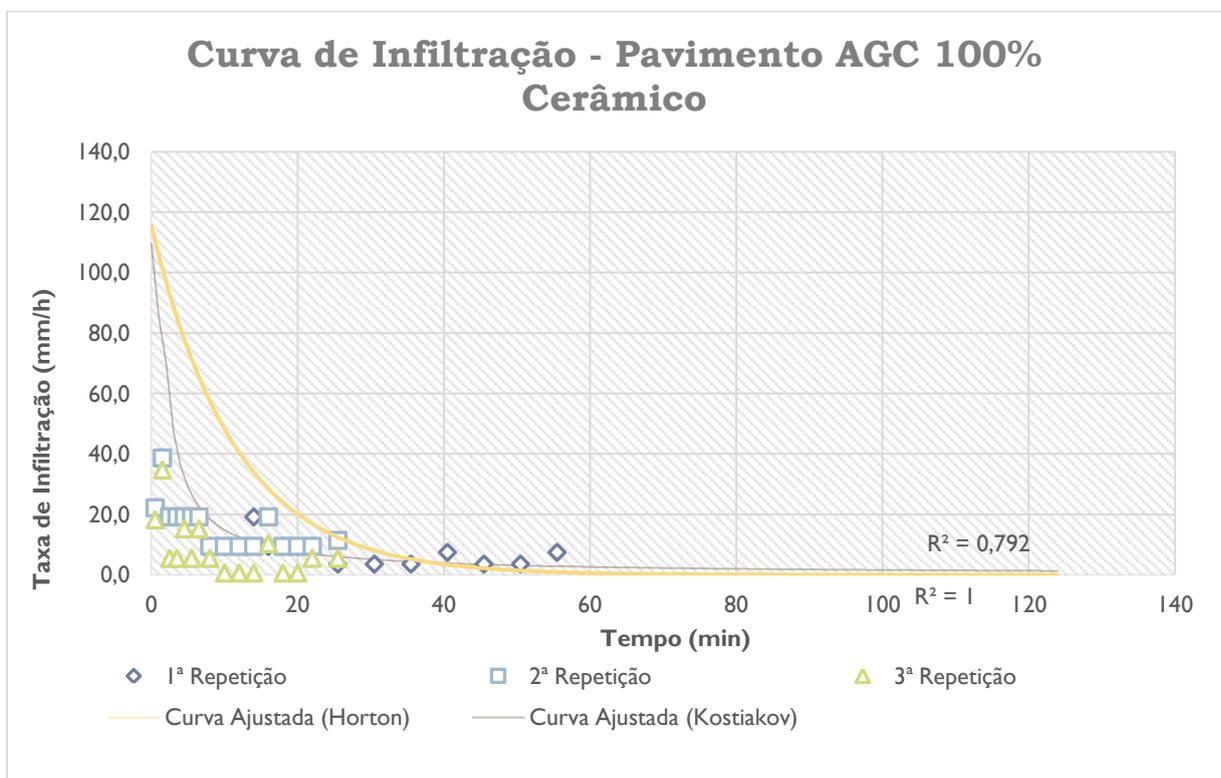


Figura 37 – Resultado dos dados experimentais e as respectivas curvas ajustadas para os modelos de Kostiakov e Huston. Pavimento AGC 100% Cerâmico

No pavimento AGC 100% cerâmico, há um início de infiltração maior. O que dá para explicar pelo fato de, visualmente, o pavimento ser mais poroso. Diferente do que ocorre no pavimento 50% AGC e 50% AGD. De fato, era isso o esperado. Pois, na parte inferior, o pavimento apresenta grande quantidade de nata de cimento espalhada (o que torna o pavimento 50% AGC e 50% AGD impermeável em certas circunstâncias). Observa-se,

estruturalmente, que os vazios do pavimento 50% AGC e 50% AGD estão, em quase sua totalidade, preenchidos de nata de cimento.

Levando-se em conta os ensaios mecânicos em laboratório, descritos na dissertação de Vidal (2015), a resistência mecânica de ambos os pavimentos são semelhantes, o que leva a dizer que a quantidade maior de vazios do pavimento 100% AGC não o torna menos resistente comparado a grande quantidade de nata de cimento do pavimento 50% AGC e 50% AGD, pois a forma que a nata de cimento adere ao tipo de agregado é diferente.

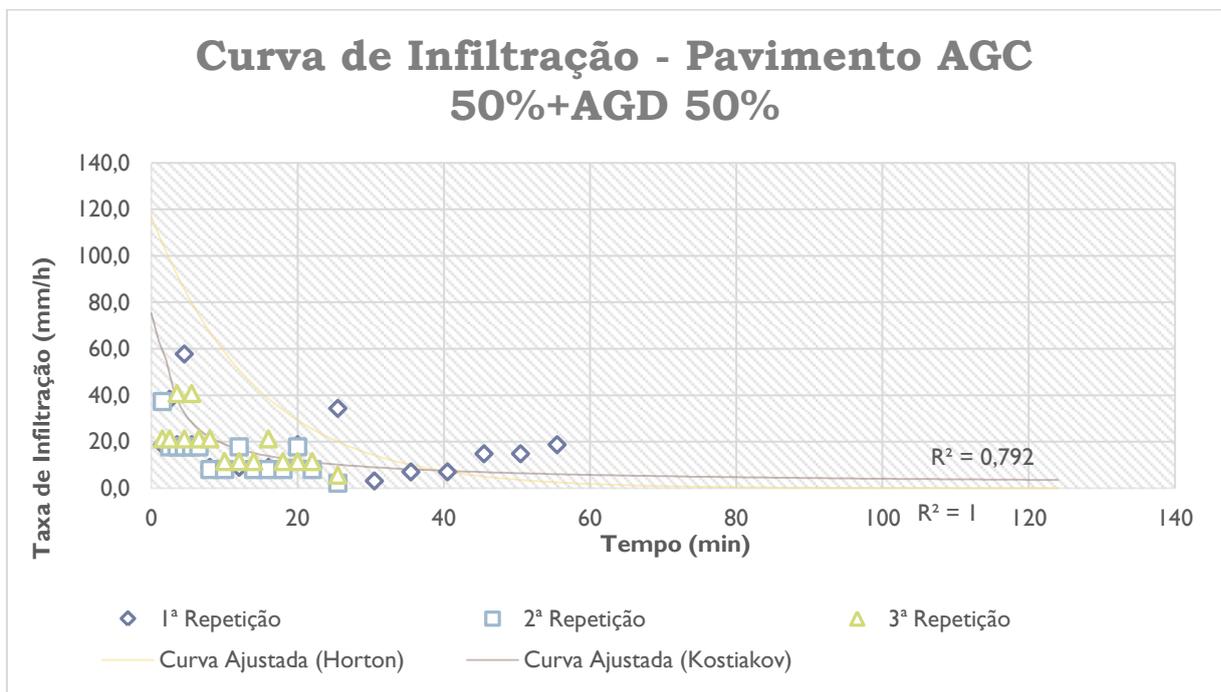


Figura 38 – Resultado dos dados experimentais e as respectivas curvas ajustadas para os modelos de Kostiakov e Huston. Pavimento 50% AGC e 50% AGD

O pavimento 50% AGC e 50%AGD apresenta início da infiltração menor que o pavimento 100% cerâmico e no decorrer do tempo observa-se, em matéria de resultado, que o pavimento 100% cerâmico apresenta maior eficácia na infiltração da água da chuva como técnica compensatória de drenagem urbana.

CONCLUSÃO

Por anos os sistemas de drenagem urbana, são concebidos, dimensionado e projetados. Porém esses projetos antigos não solucionaram por completo os problemas de alagamentos e enchentes. Anos após anos, não só no Brasil, como mundialmente, têm-se notícias corriqueiras de desastres e perdas. Para isso, a ciência e a política têm diversos desafios a serem vencidos. Estudos levando em consideração novas técnicas e abordagens de drenagem urbana, tipo técnicas compensatórias em drenagem urbana, precisa avançar cada dia mais de forma sustentável e consciente.

No texto de Vidal (2015), sobre revestimento de concreto permeável, verificou-se que, quanto à resistência mecânica, o concreto superou os valores mínimos exigidos em norma, considerando que todo pavimento foi executado segundo as normas vigentes. Com isso, há garantia para que tal revestimento continue tendo sua função de resistir aos esforços nele solicitados. Assim, os 2 (dois) revestimentos de concreto permeável testados podem ser usados para uso em locais de tráfego de pedestre, atendendo assim à NBR 16416:2015, que determina resistência mínima à tração na flexão de 1,0 Mpa.

Referente ao coeficiente de permeabilidade, o concreto também superou os valores mínimos exigido em norma, permitindo a infiltração de água. A vazão e o coeficiente de permeabilidade, dos 2 (dois) tipos diferentes de placas de concreto estudados apresentaram valores superiores aos parâmetros mínimos determinados em norma. A permeabilidade foi maior nas placas constituídas com agregados com maior granulometria.

Quanto à análise visual, podemos dizer que ambos os revestimentos não apresentam superfície regular, ou com acabamento plano. O que pode talvez causar nos usuários desconforto ao andar sobre o piso, devido às suas irregularidades. Para um trabalho futuro, poderiam ser estudadas placas de concreto que possam se adequar ao conforto do pedestre.

O conjunto: simulador de chuva, caixa pluviométrica e bancada, mostrou-se adequado na análise da infiltração da água da chuva num pavimento permeável, servindo, portanto, no auxílio comparativo entre diferentes revestimentos de pavimento permeável e tendo como objetivo a eficácia no sistema de drenagem urbana. Essa análise torna-se relevante para as ações de profissionais de engenharia urbana no cenário atual.

O modelo de Kostiakov mostrou-se mais representativo do que o modelo de Horton ao apresentar boa aderência aos dados experimentais da curva de infiltração.

Para determinar qual o pavimento respondeu melhor ao teste de permeabilidade, houve a necessidade de sobrepor as curvas de infiltração (modelo de Kostiakov) de cada pavimento testado em bancada (sobreposição das curvas de pavimento permeável constituído de 100% AGC sobre as curvas de pavimento permeável constituído 50% AGC e 50% AGD, ambas traçadas pelo modelo de Kostiakov).

Sobre a capacidade de infiltração, constatou-se que o pavimento permeável 50% AGC e 50% AGD teve um melhor resultado durante os testes, comparado ao pavimento 100% AGC, pois aquele teve sua curva de infiltração superada em relação ao pavimento 100% AGC.

Os dois tipos de pavimento permeável apresentaram tempo médio de 50 minutos para atingir intensidade de 100mm/h, não havendo diferença substancial entre eles. Logo, respeitando as condições do teste, ambos os pavimentos apresentam boas condições para absorver uma chuva muito intensa com duração aproximada de 30 minutos. Após esse período, a capacidade de infiltração tende a diminuir chegando a valores inferiores à $\frac{1}{5}$ do quantitativo inicial de absorção.

Com relação ao desempenho dos dois tipos de pavimento analisados, o pavimento RCD supera o pavimento construído com resíduo de construção cerâmico.

É importante destacar que a granulometria do subleito de drenagem adotado favoreceu o longo tempo para início do escoamento superficial. A permeabilidade do pavimento é percebida por esse tempo de escoamento, unido à curva de infiltração mensurada. Quanto menor for tal tempo e/ou mais intenso for o decaimento da curva, mais impermeável será o pavimento.

Como proposta para futuros trabalhos, sugere-se:

Realizar novos ensaios em bancada, pois não foi realizado o ensaio com 3 (três) outros tipos de revestimento feito por VIDAL em sua pesquisa;

Realizar também ensaio de determinação do coeficiente de permeabilidade para os revestimentos não ensaiados;

Realizar ensaio de todos os revestimentos para determinação do desempenho de um pavimento permeável após sua instalação;

Realizar ensaios com permeâmetro de carga variável para também determinação do coeficiente de permeabilidade do concreto. (Neithalath, 2003), NBR 9781.

Dado que a engenharia urbana é uma área multidisciplinar, é necessário que se tenha dados de fácil compreensão com o intuito de facilitar a proposta de ações estruturais comumente às adotadas em projetos de obras públicas e privado. Dessa forma a busca de achar novas formas compensatórias de auxiliar a drenagem urbana, estes revestimentos colabora a fortalecer o uso do concreto permeável para esses fins.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACIOLI, L. A. **Estudo Experimental de Pavimentos Permeáveis Para Controle do Escoamento Superficial na Fonte**. Dissertação de Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005

ALVES SOBRINHO, T. **Desenvolvimento de um infiltrômetro de aspersão portátil**. Tese Doutorado. 85p. UFV, Viçosa, 1997.

ALVES, S. T. F.; Paulo A.; PRUSKI, F. F.; **Desenvolvimento de um infiltrômetro de aspersão portátil**. Rev. bras. eng. agríc. ambient.. Campina Grande, v. 6, n. 2, p. 337-344, 2002 . Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662002000200025&lng=en&nrm=iso>. Acessado em 18 Oct. 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662002000200025>.

ADAM, J. P. **Roman building: materials and techniques**. London: B.T. Bastford, 1994.

ARAUJO, P.R; TUCCI, C.E.M; GOLDENFUM, J.A. **Avaliação da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução de escoamento superficial**. In anias do XIII Simpósio Brasileiro De Recursos Hídricos, Belo Horizonte, Novembro, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16.416** - Pavimentos permeáveis de concreto - Requisitos e procedimentos. Rio de Janeiro, 2015.

_____ **NBR 10.004** – Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004

_____ **NBR 7217** – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 1987

_____ **NBR 9781** – Peças de concreto para pavimentação — Especificação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2013.

_____ **NBR 7211** – Agregado para concreto – Especificação. Rio de Janeiro, 2009.

_____ **NBR 13292** – Solo - Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos granulares à carga constante - Metodo de ensaio. Rio de Janeiro, 1995.

AMARAL, A. C. R.. **Pavimento Inter travado de Concreto Convencional e Permeável**. 2017. Projeto de graduação. Engenharia Civil da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2017

AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. 332 p tradução de Maria Juraci Zani dos Santos; revisão de Suely Bastos. 4. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996

BASTOS, G. D. A., Bastos, I. D. A., FIOR, L., HILDEBRAND, L., CERRI, J. A., ARAÚJO, M. S., Anais Conf. Lat.-Am. Constr. Sustent., in: X Enc. Nac. Tecnol. Amb. Constr., S. Paulo, 1 (2004)

BACCHI, J. M.. **Avaliação de técnicas compensatórias em drenagem urbana baseadas no conceito de desenvolvimento de baixo impacto, com o apoio de modelagem matemática**. Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2013

BERNUCCI, Liedi Bariani ... [et al.]. **Pavimentação Asfáltica. Formação básica para engenheiros**. Rio de Janeiro, Petrobras: EBEDA 2006

BIDONE F.R.A. **Resíduos Sólidos Provenientes de Coletas Especiais; eliminação e valorização**, 2001. PROSAB 2 – ABES/RJ. p 240

BIDONE, F. R. A., POVINELLI, J. **Conceitos básicos de resíduos sólidos**. São Carlos: EESC-USP, 1999. 124p

BONTA, J.V.; RAO, A.R. **Estimating peak flows small agricultural watersheds**. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, Reston, v.118, n.1, p.122-37, 1992.

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, jun. 2015. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-69132015000200178&lng=pt&nrm=iso>. Acessos em 09 out. 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/0366-69132015613581860>.

CANHOLI, A. P. **Drenagem Urbana e Controle de Enchentes**. 2ª edição. Editora Oficina de Textos. 2015

Confederação Nacional da Indústria - CNI, **Visão da Indústria Brasileira sobre a Gestão de Resíduos Sólidos**, Brasília (2014) 218p.

CEDBS – Conselho Empresarial brasileiro para o desenvolvimento Sustentável. **Riscos Climáticos: Como o setor empresarial está se adaptando**. Rio de Janeiro, 2015

CEPED – Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. **Relatório de danos materiais e prejuízos decorrentes de desastres naturais no Brasil: 1995 - 2014/** Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres; Banco Mundial [Organização Rafael Schadeck - Florianópolis: CEPED UFSC, 2016.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA), Ministério do Meio Ambiente – RESOLUÇÃO Nº 307 de 05 de julho de 2002 – Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para gestão dos resíduos da construção civil. Diário Oficial da República Federativa do Brasil.

COSTA, N.A.A. **A Reciclagem do RCD: Uma Aplicação da Análise Multivariada**. 2003. 188 f. Tese (Doutorado), Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC, Florianópolis, 2003.

DURAN, X., LENIHAN, H., O'REGAN, B., **A model for assessing the economic viability of construction and demolition waste recycling – the case of Ireland**. Resources, Conservation and Recycling, 46 pp. 203-320, 2006.

EVANGELISTA, P. P. de A.; BASTOS, C. D.; ZANTA, V. M.. **Alternativa sustentável para destinação de resíduos de construção classe A: sistemática para reciclagem em canteiros de obras**. *Ambient. constr.*, Porto Alegre, v. 10, n. 3, p. 23-40, set. 2010. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212010000300002&lng=pt&nrm=iso>. acessos em 28 out. 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/S1678-86212010000300002>.

FIESP. **O uso racional da água no setor industrial**. / Confederação Nacional da Indústria, Federação das Indústrias do Estado de São Paulo. – 2. ed. -- Brasília: CNI, 2017. 236 p

GESTÃO DE RISCOS. Brasil. Ministério da Integração Nacional. Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil. Departamento de Prevenção e Preparação. Módulo de formação: **noções básicas em proteção e defesa civil e em gestão de riscos**: livro base / Ministério da Integração Nacional, Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil, Departamento de Minimização de Desastres. - Brasília: Ministério da Integração Nacional, 2017

FELDE, J. T.. **Impermeabilização do Espaço Urbano de Porto Único**, SANTA CATARINA. *Ciência e Natura*, 2015, Vol.37(1), pp.104-114

GRIBBIN, John E. Livro: **Introdução à Hidráulica, hidrologia e Gestão de Águas Pluviais**. Tradução da 3ª edição norte-americana. Cengage, 2008.

HONG KONG POLYTECHNICS (Department of Building and Real Estate); The Hong Kong Construction Association Ltda. **Reduction of Construction Waste**, Final Report, Hong Kong. March, 1993, 93p.

ICPI, 2008. **Permeable Interlocking Concrete Pavement**. Disponível em <http://www.expconcrete.com/pdf/heavy-vehicle/PICP_Comparison_Brochure.pdf> Acessado em: 12/01/2017

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Banco de dados Agregados, Censo 2008**, disponível em http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb2008/PNSB_2008.pdf, acesso 14/02/2015.

HORTON, R. E. **An approach toward a physical interpretation of infiltration capacity**. *Soil Science Society of America Proceedings*, v.5, 399–417, 1940.

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

LIBERATO, D. B. **Avaliação Da Caixa Pluviômetra: Um Novo Equipamento Desenvolvido Para Medir A Precipitação, Infiltração De Chuva, Escoamento Superficial E Índice De Erosão Em Terrenos Com Diversos Tipos De Cobertura**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, COPPE, UFRJ. Rio de Janeiro, 2015

MARQUES NETO, J. C.; SCHALCH, V. **Diagnóstico Ambiental Para Gestão Sustentável dos Resíduos de Construção e Demolição**. In: SIMPÓSIO LUSO-

BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 12., Figueira da Foz, Portugal, 2006. Anais... Figueira da Foz, Portugal: APRH/ABES, 2006.

NIGRI, I. R. **Pavimentos Permeáveis de Concreto – Requisitos Gerais de Projeto Estabelecidos pela Norma ABNT NBR 16416: 2015**. Projeto de graduação Curso de Engenharia Civil da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2017

NETO, M., J. C.; SCHALCH, V. **Gestão dos Resíduos de Construção e Demolição: Estudo da Situação no Município de São Carlos, SP**. Engenharia Civil, Minho, Portugal, v. 36, p. 41-50, 2010.

NETO, M.. J.C; **Gestão dos Resíduos de Construção e Demolição no Brasil**. São Carlos, RiMa, 2005. 162p

NETO, P. S. G. **Telhados Verdes como técnica compensatória em drenagem urbana na cidade do Rio de Janeiro: Estudo experimental e avaliação da sua adoção na bacia do Rio Joana a partir do uso de modelagem matemática**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. Dezembro, 2016

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: PINI, 2008. p128; 325 – 330 e 361-364

MORAIS, G.M.D. **Diagnóstico da deposição clandestina de resíduos de construção e demolição em bairros periféricos de Uberlândia; subsídio para uma gestão sustentável**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Uberlândia. FECIV. São Paulo. 2006.

VIEIRA, D. C. C. Dal Molin. **Viabilidade técnica da utilização de concretos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição Ambiente Construído**, (2004) – disponível em: <https://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/viewFile/3575/1979> G. L., acessado em 28.10.2018

NETO, P. S. G.. **Telhados verdes como técnica compensatória em drenagem urbana na cidade do rio de janeiro: estudo experimental e avaliação de sua adoção na bacia do rio joana a partir do uso de modelagem matemática**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2016

OLIVEIRA, M. J. E. **Materiais descartados pelas obras de construção civil: estudo dos resíduos de concreto para reciclagem**. 2002. 191 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2002.

OLIVEIRA, L. C. B. **Análise da permeabilidade e da Colmatação em Concretos Permeáveis com Agregado Reciclado de Concreto**. 2017 106f. Dissertação de Mestrado em sistemas de Infraestrutura Urbana – Pontifícia Universidade Católica de Campinas. Campinas, 2017

OLIVEIRA, L. C. B. **Análise da Permeabilidade e da Colmatação em concretos Permeáveis com agregado Reciclado de concreto**. Dissertação de Mestrado. Pontifícia Universidade Católica de Campinas Campinas, 2017

PAZ, A. R. **Hidrologia Aplicada**. Disciplina Ministrada na Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, para o curso de graduação em Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia na unidade de Caxias do Sul. Setembro, 2004

PINTO, T. P. **Metodologia para gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. São Paulo-SP, 1999. 203 p. Tese Doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

PINTO, N.S.; holtz, A.C.T.; MARTINS, J.A.; GOMIDE, F.L.S. **Hidrologia Basica**. 1ª edição. São Paulo. Editora Edgard Blucher Ltda. 1976.

RIO+20. **Fatos sobre Desastres**. Produzido pelo Departamento de Informação Pública das Nações Unidas, junho de 2012 Disponível em: <http://www.onu.org.br/rio20/desastres.pdf> Acesso em: 8 de outubro de 2018.

Relatório Síntese. Pesquisa: **Políticas Públicas e Iniciativas da Sociedade Civil de Prevenção e Resposta a Situações de Desastres Climáticos**, Janeiro de 2013 Disponível em <http://www.ceped.ufsc.br/category/publicacoes-ceped-ufsc/> acesso em: 8 de outubro de 2018.

Relatório de Danos materiais e prejuízos decorrentes de desastres Naturais no Brasil, 1995-2014. Banco Mundial – Brasília – DF, 2016. Disponível em: <http://www.ceped.ufsc.br/relatorio-de-danos-materiais-e-prejuizos-decorrentes-de-desastres-naturais-no-brasil-1995-2014/> acesso em: 8 de outubro de 2018.

REZENDE, O. M. **Avaliação de medidas de controle de inundações em um plano de manejo sustentável de águas pluviais aplicado à baixada fluminense**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2010.

SANTOS, E.C.G.; **Aplicação de resíduos de construção e demolição reciclados (RCD-R) em estruturas de solo reforçado**. 2007. Dissertação Mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos.

SCHENINI, P.C.; BAGNATI, A. M. Z.; CARDOSO, A.C.F. **Gestão de Resíduos da Construção**. COBRAC, Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário, UFSC, Florianópolis, 2004.

SILVA FILHO, A.F. **Gestão dos Resíduos Sólidos das Construções Prediais na Cidade do Natal-RN**. 2005. 118 f. Dissertação Mestrado, Programa de Engenharia de Produção, UFRN, Natal, 2005.

SILVA L. S., TRAVASSOS L. **Problemas ambientais urbanos: desafios para a elaboração de políticas públicas integradas**. Cadernos MetrÓpole 19. 2008. disponível em file:///C:/Users/Vitor/Downloads/8708-21155-1-SM.pdf acessado em 29.10.2017

SOBRINHO A. T; FERREIRA, P. A.; PRUSKI, F F. **Desenvolvimento de um infiltrômetro de aspersão portátil**. Rev. bras. eng. agríc. ambiente., Campina Grande , v. 6, n. 2, p. 337-344, 2002 . Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662002000200025&lng=en&nrm=iso>. access on 28 Oct. 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662002000200025>.

SAPORITO, Juliana. **Aquecimento global: uma bomba relógio.** www.editoraonline.com.br On Line Editora, 11 de set de 2017 - 112 páginas. Disponível em https://books.google.com.br/books?id=qvE0DwAAQBAJ&pg=PA20&dq=desastres+ambientais+chuvas&hl=pt-BR&sa=X&ved=0ahUKEwjWwcTkt_nbAhUDW5AKHUnLD1MQ6AEINTAD#v=onepage&q=desastres%20ambientais%20chuvas&f=false acesso em: 8 de outubro de 2018.

SILVA, V. A., FERNANDES A. L. T., **Cenário do Gerenciamento dos Resíduos da Construção e Demolição (RCD) em Uberaba-MG.** Sociedade e Natureza 24, 2 (2012) 333. Disponível em <http://www.scielo.br/pdf/sn/v24n2/12.pdf> acessado em acesso em: 8 de outubro de 2018.

SILVA, N. C., MALHEIROS, R., Campos, A. C. **A reciclagem e o destino final dos resíduos sólidos de construção e demolição produzidos no município de Goiânia**, in: IV Cong. Bras. Gestão Amb. Salvador, BA (2013).

TAVARES, R.C. **Composição gravimétrica: uma ferramenta de planejamento e gerenciamento do resíduo urbano de Curitiba e região metropolitana.** 114f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Engenharia do Paraná, Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, Curitiba, 2007.

TAVARES, L. P. M. **Levantamento e análise da deposição e destinação dos resíduos da construção civil em Ituiutaba, MG.** 2007. 160 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2007.

TUCCI, C. E. M.. **Hidrologia: ciência e aplicação.** Porto Alegre. Editora da Universidade, 4 ed. 2009

TUCCI, Carlos E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação.** 1ª edição. São Paulo. Edusp 1993

TUCCI, C.E.M. **Águas urbanas. Estudos Avançados**, v. 22, n. 63, p. 97-112. 2008

VAZ, V. B.. **Avaliação dos custos do risco de inundações urbanas: Estudo de caso dos danos de Inundação.** Dissertação de Mestrado. Porto Alegre, RS, 2015

VASCONCELOS, A. F. MINGUEZ G. M.; VAZQUEZ E. G. **Critérios de projeto e benefícios esperados da implantação de técnicas compensatórias em drenagem urbana para controle de escoamentos na fonte, com base em modelagem computacional aplicada a um estudo de caso na zona oeste do Rio de Janeiro** Eng. Sanit. Ambient. vol.21 no.4 Rio de Janeiro Oct./Dec. 2016 Epub Oct 13, 2016

VAREJÃO-SILVA, M. A.; **Meteorologia e Climatologia**, Versão Digital 2, Recife, 2006. Pesquisado em http://www.icat.ufal.br/laboratorio/clima/data/uploads/pdf/METEOROLOGIA_E_CLIMATOLOGIA_VD2_Mar_2006.pdf em 10.10.2018

VIDAL, Almir Dos Santos; **Caracterização de Concreto Permeável produzido com agregados reciclados de construção e demolição para utilização em pavimentação permeável em ambiente urbano.** 2014. 132f. Dissertação de Mestrado – Escola Politécnica da UFRJ. Programa de Engenharia Urbana. Escola. Rio de Janeiro. 2014.

VILLELLA, S. M., MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo. Editora McGraw Hill do Brasil, 1975

WIEBBELLING, P. **Pavimentos com blocos intertravados de concreto: estudo de caso na Univates**. Monografia de Graduação em Engenharia Civil – Centro Universitário Univates. Lajeado – RS. 2015.

Wolff, D.B.; Gonçalves, I.H.; Gastaldini, M.C.C.; de Souza, M.M. **Resíduos sólidos em um sistema de drenagem urbana no município de Santa Maria (RS)**. Engenharia Sanitária e Ambiental, Vol.21, pp.151-158 January-March 2016

ZORDAN, S. E. **Entulho da Indústria da Construção Civil**. 2001. Disponível em <http://www.reciclagem.pcc.usp.br/entulho_ind_ccivil.htm>. Acessado em 24.10.18.

SITES VISITADOS

<http://rhama.com.br/blog/index.php/aguas-urbanas/conceitos-da-drenagem-urbana/>

http://www.ct.ufpb.br/~adrianorpaz/artigos/apostila_HIDROLOGIA_APLICADA_UERGS.pdf acesso em:24/06/2018

<http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/jorge/downloads/APOSTILA/LICA%20Parte%201.pdf> acesso em:24/06/2018

<http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/jorge/downloads/APOSTILA/LICA%20Parte%201.pdf> acesso em: 23/06 2018

https://capacitacao.ead.unesp.br/dspace/bitstream/ana/66/2/Unidade_1.pdf acesso em: 27/06/2018

<https://pt.scribd.com/document/327007982/LIVRO-Hidrologia-cie-ncia-e-aplicac-a-o-Carlos-Tucci> acesso em:25/06/2018

Fatos sobre desastres: Rio + 20 – Encosta em: <http://www.onu.org.br/rio20/desastres.pdf>
<https://nacoesunidas.org/desastres-naturais-custam-r-800-milhoes-ao-brasil-por-mes/>;
publicado em 18/01/2018

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Banco de dados Agregados, Censo 2008, disponível em http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb2008/PNSB_2008.pdf, acesso 14/02/2015

<https://www.egipto.com.br/periodo-cheias-nilo/> - Acessado em 04/07/2018

Senado Governo Brasil - <https://www12.senado.leg.br/emdiscussao/edicoes/residuos-solidos/mundo-rumo-a-4-bilhoes-de-toneladas-por-ano> acesso 14/02/2015

Gestão de Riscos Livro Base - <http://www.integracao.gov.br/documents/3958478/0/I++Gestao+de+Risco++Livro+Base.pdf/7f00f4ac-14ba-4813-b3d3-561a703d62a7>

TCE Rio de Janeiro site Terra - <https://www.terra.com.br/noticias/brasil/cidades/tce-prejuizo-por-chuva-na-serra-do-rj-foi-de-ao-menos-r-614-mi,413b44fa607da310VgnCLD200000bbcceb0aRCRD.html> acesso 14/02/2015

Nações Unidas site - <https://nacoesunidas.org/desastres-naturais-custam-r-800-milhoes-ao-brasil-por-mes/> acesso 14/02/2015

DMSG – Disaster Management Support Group de 2001 acesso 14/02/2015

FIESP São Paulo site - <http://www.ceped.ufsc.br/category/publicacoes-ceped-ufsc/file:///C:/Users/Vitor/Downloads/Custos%20das%20Enchentes%20Urbanas%20Texto%202011.pdf>

Clima Saúde – http://www.climasaude.icict.fiocruz.br/temas/22424_Relatorio_Sintese_Pesquisa.pdf acesso 14/02/2015

Vendrame, Iria Fernandes. Análise do crescimento urbano e seus efeitos na mudança da dinâmica de escoamento superficial da bacia do Pararangaba. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005 acesso 14/02/2015

Senado Governo Brasil – site
<https://www12.senado.leg.br/emdiscussao/edicoes/residuos-solidos/mundo-rumo-a-4-bilhoes-de-toneladas-por-ano> acesso 14/02/2015

Plano diretor de drenagem urbana de Porto Alegre. 2013. Disponível em http://www.solucoesparacidades.com.br/wp-content/uploads/2013/07/AF_Inic%20Insp03_pl%20drenagem_web.pdf acessado em 29.10.2017

POMPÊO, C. A. Drenagem Urbana Sustentável. Disponível em http://www.reasul.org.br/files/Drenagem_Urbana_Sustent%C3%A1vel_.pdf acessado em 4.10.2017