

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL DO CONCRETO POROSO
NA ATENUAÇÃO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL EM
PARCELAS URBANIZADAS**

PAULO CEZAR DIAS DE ALENCAR

ORIENTADOR: OSCAR DE MORAES CORDEIRO NETTO

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM TECNOLOGIA AMBIENTAL E
RECURSOS HÍDRICOS**

**PUBLICAÇÃO: PTARH.DM - 152/2013
BRASÍLIA/DF – SETEMBRO/2013**

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL DO CONCRETO POROSO NA
ATENUAÇÃO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL EM PARCELAS
URBANIZADAS

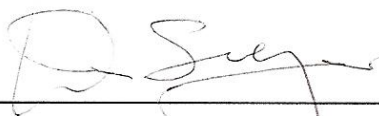
PAULO CEZAR DIAS DE ALENCAR

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA FACULDADE DE
TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE
DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU
DE MESTRE EM TECNOLOGIA AMBIENTAL E RECURSOS
HÍDRICOS.

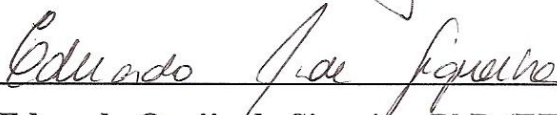
APROVADA POR:



Prof. Oscar de Moraes Cordeiro Netto, DOUTOR (ENC-UnB)
(ORIENTADOR)



Prof. Dirceu Silveira Reis Júnior, PhD (ENC-UnB)
(EXAMINADOR INTERNO)



Prof. Eduardo Queija de Siqueira, PhD (EEC-UFG)
(EXAMINADOR EXTERNO)

BRASÍLIA/DF, 27 DE SETEMBRO DE 2013.

FICHA CATALOGRÁFICA

ALENCAR, P. C. D

AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL DO CONCRETO POROSO NA ATENUAÇÃO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL EM PARCELAS URBANIZADAS

xix, 174p., 210 x 297 mm (ENC/FT/UnB, Mestre, Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, 2013). Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. DRENAGEM URBANA

2. PAVIMENTO PERMEÁVEL

3. CONCRETO POROSO

4. SIMULADOR DE CHUVAS

I. ENC/FT;UnB

II. Título (Série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ALENCAR, P. C. D.(2013). *Avaliação experimental do concreto poroso na atenuação do escoamento superficial em parcelas urbanizadas*. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTARH.DM-152/2013, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 174p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Paulo Cezar Dias de Alencar

TÍTULO: Avaliação Experimental do Concreto Poroso na Atenuação do Escoamento Superficial em Parcelas Urbanizadas.

GRAU: Mestre

ANO: 2013

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.



Paulo Cezar Dias de Alencar
SQN 103, Bloco J, apto 303, Asa Norte
70732-100 Brasília – DF
pcda87@yahoo.com.br

*Dedico esse trabalho aos meus pais,
Adelmir Monteiro de Alencar e Tereza Dias de Alencar,
a minha esposa e filhas Zilmara, Mariana e Juliana David de Alencar,
a toda minha família e amigos,
que tanto esperaram pela conclusão desse trabalho.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a DEUS que me concedeu o dom da vida, a esperança e confiança para concluir esse trabalho.

A meus pais que, pelo amor incondicional, exemplos e ensinamentos transmitidos, me permitiram chegar até aqui.

À Mara, Nana e Juba, verdadeiros esteios, que sempre me compreenderam e me apoiaram, mesmos nos domingos de sol “sem clube”.

Ao professor Néstor Aldo Campana, que contribuiu com sua inquietação criativa no apoio e concepção do trabalho e aportou importantes contribuições para a montagem da pesquisa, pelas orientações principalmente no início dos trabalhos.

Ao Professor Oscar de Moraes Cordeiro Netto, meu orientador, pelo empenho, sabedoria, orientação e rigor que serviram para agregar nova visão do problema. Também pela transmissão de importantes ensinamentos ao longo de todo o período de desenvolvimento desta pesquisa. Tudo isso sem perda da gentileza, paciência, cordialidade que lhe caracteriza.

Aos demais professores do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos pelos preciosos ensinamentos transmitidos nas diversas cadeiras, que muito contribuíram e contribuirão para minha formação acadêmica e profissional.

Aos amigos professores D.Sc. Marco Aurélio Chaves Ferro e Carlos Alexandre Bastos de Vasconcellos, pela infindável paciência e pelas suas caras e desinteressadas contribuições.

Ao Exército Brasileiro, pelo apoio irrestrito no desenvolvimento do trabalho, desde a disponibilização de tempo, local para a construção do experimento e recursos financeiros, sem os quais, não seria possível a realização deste trabalho.

Aos Diretores de Obras Militares à época do desenvolvimento dos trabalhos, os Generais de Divisão Engenheiros Militares José Rosalvo Leitão de Almeida e José Ricardo Kümme, pois sem a infinita compreensão, apoio e motivação desses estimados chefes, este trabalho não teria se tornado possível.

À toda equipe da Comissão Regional de Obras da 11ª Região Militar, particularmente o seu chefe à época, Gen Bráulio de Paula Machado, que viabilizou a construção e operação do aparato de ensaio, e Sr. José Wilson Santana, pessoa iluminada, sempre disponível e disposto a sugerir e contribuir com a obra.

Às empresas CONCRETIZA e VALENGE, pela cessão de mão de obra e invulgar disponibilidade no atendimento das diversas solicitações de apoio.

À Aliny Vanzetto, Glenda Feitosa, Liane Moura, Lucas Liporoni, Nara Julliana, Rafael Mello, Roberto Portela e todos os demais companheiros de “batalha” no PTARH, que tive o privilégio de conviver e muito aprender.

À todas as pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para a conclusão desta dissertação, muito obrigado!

RESUMO

AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL DO CONCRETO POROSO NA ATENUAÇÃO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL EM PARCELAS URBANIZADAS

Autor: Paulo Cezar Dias de Alencar

Orientador: Oscar de Moraes Cordeiro Netto

Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos

Brasília, 27 de setembro de 2013

O desenvolvimento urbano tem provocado mudanças qualitativas e quantitativas sobre o escoamento superficial, sendo necessário, em geral, implementar medidas com o objetivo de compensar a ação humana nas áreas de intervenção e de influência de empreendimentos e assim, restabelecer as condições originais do local ou, pelo menos, mitigar os impactos causados. A presente pesquisa tem por objetivo monitorar a perda da capacidade de infiltração e sua posterior recuperação por meio de lavagem com bomba de alta pressão, bem como analisar aspectos executivos, em uma parcela experimental de concreto. A obra consistiu da construção de um estacionamento revestido com 15cm de concreto poroso, seguido por colchão drenante de 30cm. O experimento foi projetado para permitir o monitoramento da parcela escoada superficialmente e da parcela que infiltra no colchão drenante em três momentos distintos: pavimento novo, pavimento colmatado e depois de recuperado. Quando novo, o concreto poroso se mostrou técnica eficiente de controle do escoamento superficial das águas pluviais, conseguindo drenar 100% de chuvas de 2,35mm/min para o colchão drenante de brita 3 instalado abaixo da placa de concreto. Contudo após sua total colmatação, a limpeza do pavimento não garantiu a total recuperação da permeabilidade inicial do pavimento, tendo sido essa limitada a uma taxa máxima de 21,90L/min na vaga de estacionamento, o que corresponde drenar uma chuva de intensidade de 1,75mm/min.

Palavras-chave: drenagem urbana, pavimento permeável, concreto poroso, simulador de chuvas.

ABSTRACT

EXPERIMENTAL EVALUATION OF POROUS CONCRETE IN MITIGATION OF RUNOFF IN URBANIZED PORTIONS

Author: Paulo Cezar Dias de Alencar

Supervisor: Oscar de Moraes Cordeiro Netto

Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos

Brasília, September 27th, 2013

Urban development has caused qualitative and quantitative changes in the runoff, being necessary, in general, to implement measures in order to compensate the human action in the areas of interventions and influence of businesses and thus restore the original conditions of the site or, at least, mitigate the impacts. This research aims to monitor the loss of infiltration capacity and its subsequent recovery by using high-pressure pump, as well as analyze aspects executives, on a plot of porous concrete. The work consisted of the construction of a parking covered with 15cm of porous concrete, followed by 30cm draining bed. The experiment was designed to allow monitoring of rainfall and infiltrated portion in draining bed in three separate times: new, clogged and recovered pavements. The porous concrete technique has been shown effective to control the runoff of rainwater, achieving 100% drainage of the 2.35 mm/min for the drainage gravel n°3 bed installed below the concrete pavement. However its total fouling, cleaning of the pavement did not guarantee full recovery of the initial permeability of the pavement, these being limited to a maximum rate of 21.90L/min in the parking spot, which corresponds to drain a rain intensity of 1.75 mm/min.

Keywords: urban drainage, permeable pavement, porous concrete, rainfall simulator.

SUMÁRIO

1 – INTRODUÇÃO	1
2 – OBJETIVOS	4
3 – REVISÃO DA LITERATURA	5
3.1 – URBANIZAÇÃO E OS IMPACTOS SOBRE O ESCOAMENTO SUPERFICIAL	5
3.1.1 – Os efeitos da urbanização no balanço das águas	10
3.1.1.1 – Efeitos da urbanização sobre o volume de escoamento superficial	10
3.1.1.2 – Efeitos da urbanização sobre a qualidade do escoamento superficial ...	14
3.2 – TÉCNICAS E MÉTODOS DE DRENAGEM URBANA	17
3.2.1 - Soluções clássicas	18
3.2.2 – Sistemas alternativos de drenagem	19
3.2.3 - Técnicas compensatórias	22
3.2.4 – Retrofit dos sistemas de drenagem	26
3.2.5 – Pavimentação permeável	27
3.3 – CONCRETO POROSO	33
3.3.1 – Desempenho ambiental	38
3.3.2 – Desempenho mecânico	39
3.3.3 – Desempenho hidráulico	39
3.3.4 – Desempenho econômico	41
3.3.5 – Materiais constitutivos	41
4 – METODOLOGIA	44
4.1 – ESTRATÉGIA METODOLÓGICA	45
4.2 – CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL	47
4.2.1 – Localização	47
4.2.2 – Caracterização do solo	49
4.2.2.1 – Ensaios de infiltração	50
4.2.2.2 – Ensaio de granulometria	51
4.2.2.3 – Ensaio de capacidade de suporte	53
4.3 – CARACTERIZAÇÃO DO APARATO DE SIMULAÇÃO	54
4.3.1 – Descrição do perfil de pavimento	56
4.3.2 – Descrição do aparato de monitoramento	57

4.3.3 – Materiais empregados.....	59
4.3.4 – Implantação do dispositivo experimental.....	64
4.3.4.1 – Parcela experimental	64
4.3.4.2 – Construção do estacionamento	65
4.3.4.3 – Dispositivos de medição da vazão	69
4.3.5 – Simulador de chuva	72
4.3.6 – Escolha da chuva.....	76
4.3.7 – Etapas dos ensaios hidráulicos	78
4.3.7.1 – Pavimento novo	78
4.3.7.2 – Pavimento colmatado	79
4.3.7.3 – Recuperação da permeabilidade	81
4.3.7.4 – Pavimento recuperado	82
4.4 – ENSAIOS DO CONCRETO	82
4.4.1 – Transpasse de materiais finos.....	83
4.4.2 – Uniformidade da espessura do revestimento	84
4.4.3 – Índice de vazios	86
4.4.4 – Resistência mecânica à compressão.....	87
4.5 – ANÁLISE HIDRÁULICA.....	89
4.5.1 – Chuvas no pavimento novo.....	89
4.5.1.1 – Chuvas curtas no pavimento novo	90
4.5.1.2 – Chuvas longas no pavimento novo	92
4.5.2 – Chuvas no pavimento colmatado.....	95
4.5.2.1 – Chuvas curtas no pavimento colmatado.....	96
4.5.2.2 – Chuvas longas no pavimento colmatado	98
4.5.3 – Chuvas no pavimento recuperado	101
4.5.3.1 – Chuvas curtas no pavimento recuperado.....	102
4.5.3.2 – Chuvas longas no pavimento recuperado.....	104
4.5.4 – A influência do índice de vazios do concreto poroso na permeabilidade	107
4.5.5 – A contribuição do pavimento para o retardo do tempo de pico do escoamento de chuvas.....	109
4.5.6 – Contribuição do fundo do pavimento na recarga do aquífero	113
4.6 – ANÁLISE DE CUSTOS	114
5 – AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS E DISCUSSÃO	118

5.1 – DESEMPENHO CONSTRUTIVO	118
5.2 – DESEMPENHO HIDRÁULICO	120
5.3 – ANÁLISE DE CUSTOS	121
6 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	123
6.1 – CONCLUSÕES	123
6.2 – RECOMENDAÇÕES.....	126
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	129
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS CITADAS POR OUTROS AUTORES	135
ANEXO A – CARACTERIZAÇÃO DO SOLO	137
ANEXO B – GRANULOMETRIA DAS BRITAS.....	142
ANEXO C – CONSTRUÇÃO E CALIBRAÇÃO DO SIMULADOR DE CHUVAS.....	144
ANEXO D – ÍNDICE DE VAZIOS	154
ANEXO E – RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO	159
ANEXO F – VAZÕES ESCOADAS NO PAVIMENTO	162

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Surgimento de megacidades, UNFPA (1999).....	6
Tabela 3.2 – Fontes poluidoras e lançamentos de poluentes (adaptado de Tassin e Gebbo, 2000).	16
Tabela 3.3 – Fases do desenvolvimento das águas urbanas	18
Tabela 3.4 – Vocação e possibilidades das técnicas (Baptista et al., 2005).....	23
Tabela 3.5 – Formas de atuação das principais técnicas compensatórias (adaptado de Baptista <i>et al.</i> , 2005, Nakazone, 2007, Azzout et al., 1994, Castro, 2007, Brito 2006 e Moura 2004).....	25
Tabela 3.6 – Valores acumulados de escoamento e infiltração de água nas diferentes parcelas (Maus et al., 2007).....	29
Tabela 3.7 – Custo de implantação de pavimentos (Araújo <i>et al.</i> , 2000)	32
Tabela 3.8 – Proporções de componentes do concreto poroso NRMCA (2008)	42
Tabela 4.1 – Permeabilidade de 0,0m a 2,0m de profundidade	51
Tabela 4.2 – Distribuição granulométrica do solo natural	52
Tabela 4.3 – Resultados dos ensaios de solo	54
Tabela 4.4 – Distribuição granulométrica acumulada do colchão drenante	60
Tabela 4.5 – Distribuição granulométrica acumulada da brita do concreto	62
Tabela 4.6 – Características da AAR	64
Tabela 4.7 – Distribuição de chuva curta a 7,6mca	73
Tabela 4.8 – Distribuição de chuva longa a 7,6mca	75
Tabela 4.9 – Chuvas simuladas	78
Tabela 4.10 – Espessura dos corpos de prova	85
Tabela 4.11 – Índice de vazios dos corpos de prova.....	86
Tabela 4.12 – Resistência característica dos corpos de prova.....	88
Tabela 4.13 – Resultados médios dos ensaios do concreto	89
Tabela 4.14 – Vazões coletadas das chuvas curtas em pavimento novo	90
Tabela 4.15 – Vazões coletadas das chuvas longas em pavimento novo	93
Tabela 4.16 – Fases da chuva coletada no pavimento novo.....	95
Tabela 4.17 – Vazões coletadas das chuvas curtas em pavimento colmatado	97
Tabela 4.18 – Vazões coletadas das chuvas longas em pavimento colmatado	99
Tabela 4.19 – Fases da chuva coletada no pavimento colmatado	101

Tabela 4.20 – Vazões coletadas das chuvas curtas em pavimento recuperado	102
Tabela 4.21 – Vazões coletadas das chuvas longas em pavimento recuperado	105
Tabela 4.22 – Fases da chuva coletada no pavimento recuperado	107
Tabela 4.23 – Vazões coletadas das chuvas curtas de 15 anos em pavimento recuperado	108
Tabela 4.24 – Percentual de água coletada (superficial e subsuperficial) no decorrer do tempo durante os experimentos	110
Tabela 4.25 – Volume de perda d'água nas simulações de chuva.....	111
Tabela 4.26 – Planilha orçamentária dos serviços de implantação	117
Tabela C.1 – Chuvas simuladas.....	149
Tabela C.2 – Distribuição de chuva curta a 7,6mca	151
Tabela C.3 – Distribuição de chuva longa a 7,6mca.....	151
Tabela C.4 – Tabulação do percentual de água coletada no decorrer do tempo	153
Tabela F.1 – Chuvas de 15 minutos de duração no pavimento novo	162
Tabela F.2 – Chuvas de 120 minutos de duração no pavimento novo	163
Tabela F.3 – Chuvas de 15 minutos de duração no pavimento colmatado	165
Tabela F.4 – Chuvas de 120 minutos de duração no pavimento colmatado	166
Tabela F.5 – Chuvas de 15 minutos de duração no pavimento recuperado	168
Tabela F.6 – Chuvas de 120 minutos de duração no pavimento recuperado	170
Tabela F.7 – Chuvas de 15 minutos de duração no pavimento recuperado das vagas 1, 2 e 3	172

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – População urbana mundial, UNFPA (1999).....	6
Figura 3.2 – Relação entre os sistemas de águas urbanas e os usos do solo (Tucci, 2006). ..	9
Figura 3.3 – Balanço hídrico pré e pós-ocupação (OECD, 1986, citado por Tucci, 2005). 11	
Figura 3.4 – Efeitos da urbanização sobre o hidrograma de uma chuva, Tucci (2005).....	12
Figura 3.5 – Amplificação da vazão escoada (Leopold, 1968, citado por Tucci, 2005).	12
Figura 3.6 – Evolução dos benefícios anuais e acumulados e dos gastos na gestão de inundação nos Estados Unidos (Priscoilli, 2001).	13
Figura 3.7 – Tipologia de técnicas compensatórias para o manejo de águas pluviais (Nascimento e Baptista, 2009).....	22
Figura 3.8 – Parque Linear Senador Jefferson Peres em Manaus, AM	27
Figura 3.9 – Parcelas e caixas coletoras para simulação do escoamento superficial da água em diferentes pavimentações (Maus <i>et al.</i> , 2007)	28
Figura 3.10 – Percentagem do volume de água infiltrada e escoada superficialmente com uma precipitação de 236,62 mm acumulada no período (adaptado de Maus <i>et al.</i> , 2007)	29
Figura 3.11 – Aplicação de blocos vazados de concreto	30
Figura 3.12 – Perfil típico do pavimento permeável com concreto poroso	35
Figura 3.13 – Calçada em concreto permeável em Pirenópolis, GO	36
Figura 3.14 – Pavimentação em blocos pré moldados de concreto poroso.....	37
Figura 3.15 – Perfil do pavimento com blocos pré moldados de concreto poroso.....	38
Figura 3.16 – Bomba de jateamento de alta pressão.....	40
Figura 3.17 – Varredura com bomba de vácuo	40
Figura 3.18 – Espriamento das pressões no solo	43
Figura 4.1 – Fluxograma das atividades	46
Figura 4.2 – Fotografia da área do experimento.....	48
Figura 4.3 – Levantamento topográfico da área de implantação.....	49
Figura 4.4 – Gráfico da distribuição granulométrica do solo natural	53
Figura 4.5 – Planta baixa do estacionamento	55
Figura 4.6 – Corte AA - Perfil transversal do pavimento	56
Figura 4.7 – Corte BB – Perfil longitudinal do aparato de ensaio.....	57
Figura 4.8 – Corte CC - disposição dos sistemas de controle do aparato de ensaio.....	58

Figura 4.9 – Corte DD - disposição do controle do aparato de ensaio	59
Figura 4.10 – Curva granulométrica do colchão drenante	61
Figura 4.11 – Curva granulométrica brita do concreto	63
Figura 4.12 – Parcela experimental de teste com 1m ²	65
Figura 4.13 – Mistura brita+AAR	65
Figura 4.14 – Acabamento da superfície.....	65
Figura 4.15 – Concreto desformado.....	65
Figura 4.16 – Compactação.....	67
Figura 4.17 – Impermeabilização	67
Figura 4.18 – Proteção mecânica.....	67
Figura 4.19 – Manta geotêxtil	67
Figura 4.20 – Lançamento da brita	68
Figura 4.21 – Acomodação da brita.....	68
Figura 4.22 – Lançamento e espalhamento do concreto.....	69
Figura 4.23 – Rolagem do concreto.....	69
Figura 4.24 – Coletor do escoamento superficial	70
Figura 4.25 – Tubulação de monitoramento	70
Figura 4.26 – Vertedor triangular	71
Figura 4.27 – Linígrafo	71
Figura 4.28 – Geometria do vertedor triangular	71
Figura 4.29 – distribuição de uma chuva curta na vaga experimental.....	74
Figura 4.30 – distribuição de uma chuva longa na vaga experimental.....	75
Figura 4.31 – Estacionamento em uso de novembro de 2010 a junho de 2011	79
Figura 4.32 – Distribuição das chuvas de Brasília-DF	80
Figura 4.33 – Pavimento sujo	80
Figura 4.34 – Limpeza do pavimento	81
Figura 4.35 – Segunda passada da bomba.....	81
Figura 4.36 – Extração de corpo de prova na vaga V1	82
Figura 4.37 – Localização dos corpos de prova na vaga tipo.....	83
Figura 4.38 – Transpasse de material fino	84
Figura 4.39 – Corpos de prova	84
Figura 4.40 – Comportamento da vazão infiltrada de chuvas curtas (15 minutos) simuladas no pavimento novo para 5 anos de recorrência	91

Figura 4.41 – Comportamento da vazão infiltrada de chuvas curtas (15 minutos) simuladas no pavimento novo para 15 anos de recorrência	92
Figura 4.42 – Comportamento da vazão infiltrada de chuvas longas (120 minutos) simuladas no pavimento novo para 5 anos de recorrência	94
Figura 4.43 – Comportamento da vazão infiltrada de chuvas longas (120 minutos) simuladas no pavimento novo para 15 anos de recorrência	94
Figura 4.44 – Comportamento do escoamento superficial de chuvas curtas (15 minutos) simuladas no pavimento colmatado para 5 anos de recorrência.....	97
Figura 4.45 – Comportamento do escoamento superficial de chuvas curtas (15 minutos) simuladas no pavimento colmatado para 15 anos de recorrência.....	98
Figura 4.46 – Comportamento do escoamento superficial de chuvas longas (120 minutos) simuladas no pavimento colmatado para 5 anos de recorrência.....	99
Figura 4.47 – Comportamento do escoamento superficial de chuvas longas (120 minutos) simuladas no pavimento colmatado para 15 anos de recorrência.....	100
Figura 4.48 – Comportamento do escoamento de chuvas curtas (15 minutos) simuladas no pavimento recuperado para 5 anos de recorrência.....	103
Figura 4.49 – Comportamento do escoamento de chuvas curtas (15 minutos) simuladas no pavimento recuperado para 15 anos de recorrência.....	104
Figura 4.50 – Comportamento do escoamento de chuvas longas (15 minutos) simuladas no pavimento recuperado para 5 anos de recorrência.....	106
Figura 4.51 – Comportamento do escoamento de chuvas longas (120 minutos) simuladas no pavimento recuperado para 15 anos de recorrência	106
Figura 4.52 – Comportamento da vazão infiltrada nas três vagas decorrentes de chuvas curtas no pavimento recuperado	109
Figura 4.53 – Combinação de materiais de pavimento em estacionamento	112
Figura A1 – Relatório de ensaio de granulometria do solo natural	137
Figura A2 – Relatório de ensaio de índice de plasticidade	138
Figura A3 – Gráficos do ensaio de penetração.....	139
Figura A4 – Relatório de ensaio de índice de suporte califórnia do solo	140
Figura A5 – Relatório de ensaio de umidade ótima do solo	141
Figura B1 – Relatório de ensaio de granulometria da brita do colchão drenante.....	142
Figura B2 – Relatório de ensaio de granulometria da brita do concreto.....	143
Figura C1 – Simulador de chuva (1ª versão).....	144
Figura C2 – Simulador de chuva (2ª versão).....	144

Figura C3 – Simulador de chuva (3ª versão).....	145
Figura C4 – Simulador de chuva (4ª versão).....	145
Figura C5 – Estrutura do simulador de chuvas	145
Figura C6 – Microaspersor MA30 (laranja) e nebulizador NA1 (amarelo).....	146
Figura C7 – Distribuição dos 72 recipientes coletores de chuva.....	147
Figura C8 – Medição do volume coletado por cada recipiente.	147
Figura C9 – Barreira físicas, lateral e final da vaga.....	148
Figura C10 – Dispositivo para evitar a admissão de chuva extravaga	148
Figura C11 – Curva de desempenho do microaspersor MA-30 (dados do fabricante)	148
Figura C12 – Curva de desempenho do nebulizador NA-1 (dados do fabricante).....	149
Figura C13 – Sistema de controle da intensidade de chuva (bomba, manômetro e registros)	150
Figura C14 – Gráfico e equação de correlação para chuvas curtas	152
Figura C15 – Gráfico e equação de correlação para chuvas longas	152
Figura D1 – Relatório de ensaio de Volume de Vazios (1)	154
Figura D2 – Relatório de Ensaio de Volume de Vazios (2).....	155
Figura D3 – Relatório de Ensaio de Volume de Vazios (3).....	156
Figura D4 – Relatório de Ensaio de Volume de Vazios (4).....	157
Figura D5 – Relatório de Ensaio de Volume de Vazios (5).....	158
Figura E1 – Relatório de Ensaio de Resistência à Compressão (1).....	159
Figura E2 – Relatório de Ensaio de Resistência à Compressão (2).....	160
Figura E3 – Relatório de Ensaio de Resistência à Compressão (3).....	161

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 4.1	61
Equação 4.2	72
Equação 4.3	76
Equação C.1.....	149
Equação C.2.....	153
Equação C.3.....	153

LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURAS E ABREVIATURAS

AAR	Argamassa de Alta Resistência
BLS	Unites States Bureau of Labor Statistics
CAESB	Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal
CBUQ	Concreto betuminoso usinado a quente
CPI-U	Consumer Price Index for All Urban Consumers
CRMCA	Colorado Ready Mixed Concrete Association
CV	Cavalo vapor
DN	Diâmetro nominal
EPA	United States Environmental Protection Agency
FCTH	Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDF	Intensidade-Duração-Frequência
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
ISC	Índice de Suporte Califórnia
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design
NRMCA	National Ready Mix Concrete Association
OECD	Organization for Economic Cooperation and Development
QGE _x	Quartel General do Exército
pH	Potencial hidrogeniônico
PMSP	Prefeitura Municipal de São Paulo
PVC	Cloreto de Polivinila
Q _p	Vazão de pico
SINAPI	Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil
t _p	Tempo de pico
UnB	Universidade de Brasília
UNFPA	Fundo das Nações Unidas para a População
USGBC	US Green Building Council
V _{e super}	Volume de água escoada superficialmente
V _{e sub^{sup}}	Volume de água escoada subsuperficialmente
V _p	Volume precipitado

1 – INTRODUÇÃO

O processo demográfico e tecnológico ocorrido em todo o planeta, particularmente na segunda metade do último século, provocaram o deslocamento de imensas massas populacionais para as cidades em movimento de urbanização nunca observado na história.

A despeito de investimentos realizados, os governos dos países em desenvolvimento não conseguiram acompanhar o crescimento das cidades, que resultaram em emaranhados de ruas sem planejamento e carentes de infraestrutura básica de saneamento, o que é evidenciado pela ocupação de encostas e leitos inundáveis de rios por populações carentes, muito comuns nos grandes centros urbanos.

O processo de urbanização desencadeou a necessária pavimentação de ruas, estacionamentos, edifícios ou outras benfeitorias, o que trouxe como consequência a inevitável impermeabilização dos solos urbanos. Esse processo tem impactado diretamente o escoamento das águas pluviais de três maneiras:

O primeiro impacto da redução das áreas de infiltração é a redução da vida útil dos sistemas de drenagem, pois o aumento do escoamento superficial requer maiores diâmetros de tubulações de drenagem de águas pluviais, que por sua vez implica maiores velocidades de escoamento e maiores volumes de sólidos transportados em suspensão que, no longo prazo, sedimentam no interior das tubulações promovendo a redução da seção de escoamento, implicando novas intervenções cada vez mais onerosas.

O segundo impacto da redução das áreas de infiltração é o prejuízo à recarga dos aquíferos, pois as menores superfícies de contato da água com o solo e a rápida drenagem reduzem substancialmente a possibilidade de infiltração de importantes volumes d'água. Como consequência, há um substancial aumento no escoamento superficial.

Dessa forma, pela conjunção dos dois fatores anteriores, tem-se o agravamento dos efeitos das chuvas. Pois ao fluir pelas tubulações com velocidades maiores, a enxurrada atinge as áreas de várzea mais rapidamente em um menor tempo de concentração, encurtando o

tempo de pico da cheia. Simultaneamente, a cheia é intensificada pelo volume adicional de água não infiltrada.

Por fim, a associação da falta de planejamento urbano e da impermeabilização do solo tem ocasionado enchentes cada vez mais frequentes e intensas, o que resulta prejuízos milionários às populações e aos governos. É importante ressaltar que os prejuízos também atingem a saúde pública, uma vez que a população entra em contato com a água de enxurrada, transporte de toda a carga de poluentes, resíduos e contaminantes acumulados nas ruas.

A intensificação das enchentes urbanas tem provocado discussões acerca da eficácia dos sistemas tradicionais de drenagem de águas pluviais, pois a concepção tradicional, focada na canalização e rápida expulsão a água, transferindo o problema para jusante, não tem conseguido apresentar o desempenho requerido pelas populações.

Modernamente, estudiosos e projetistas têm tentado romper a lógica vigente, passando a dar um novo tratamento ao problema da enxurrada, valendo-se, cada vez mais, da concepção de maior sustentabilidade ambiental, em que a acumulação *in situ* e o retardo da descarga tem se mostrado boas alternativas para reduzir a pegada ambiental das cidades. Com a nova filosofia, os danos decorrentes de chuvas intensas são atenuados e, por vezes, eliminados.

As medidas compensatórias, assim chamadas por objetivar compensar a ação do homem sobre o meio ambiente, foram desenvolvidas a partir da problemática relatada e incluem dois grandes grupos de intervenção. O primeiro engloba as chamadas medidas estruturais, que implicam obras de engenharia e visam minimizar as enchentes, podendo ser intensivas (aceleram, retardam ou desviam o escoamento) ou extensivas (reduzem e retardam os picos de enchente e controlam erosão). Já as chamadas medidas compensatórias não estruturais, constituem o grupo de ações preventivas, utilizando-se de educação e sensibilização das populações, sistemas de alarme, seguros e mapeamento de áreas de risco e outras que não envolvam intervenções de engenharia.

Pela classificação sugerida por Nascimento e Baptista (2009), a pavimentação permeável é um exemplo de medida estrutural de controle na fonte e aplicação linear pelo fato de

promoverem a infiltração por entre as juntas das peças antes da entrada das águas no sistema de drenagem ao longo de vias ou áreas de estacionamento. Os materiais mais usados são os blocos de concreto ou rocha, que podem ser vazados ou inteiriços.

O presente trabalho se fixará no estudo de técnica de pavimentação pouco conhecida no Brasil, que permite escoamento da água através da própria estrutura do pavimento, o que pode ser conseguido com a eliminação da parcela fina de agregados no concreto tornando-o uma estrutura composta de grandes vazios interconectados.

Nesse contexto, o presente trabalho estuda uma alternativa tecnológica para a resolução ou atenuação dos impactos das chuvas nas bacias hidrográficas urbanas, dessa forma será apresentado um estudo acerca da viabilidade da utilização do concreto poroso como alternativa urbana para economia de vidas, recursos financeiros públicos.

Para o estudo proposto, foi desenvolvida a metodologia do experimento, projetado e construído um estacionamento composto de três vagas e um poço de monitoramento, que permitiu acesso ao fluxo de escoamento subsuperficial. A uniformidade e o controle da chuva aplicada foi garantida por meio do desenvolvimento e da construção de simulador de chuvas de diferentes intensidades. Dispondo do aparato de ensaio, foram então aplicadas chuvas de 15 e de 5 anos de recorrência, nas durações de 15 e 120 minutos, considerando as condições de pavimento novo, colmatado e lavado. Dessa forma, com os vários dados de escoamento, foi possível delinear o comportamento do pavimento nas várias condições de uso.

O presente estudo encontra-se estruturado em seis capítulos, sendo esta introdução o primeiro deles. O segundo capítulo apresenta os objetivos do estudo. No terceiro capítulo, é apresentada a revisão bibliográfica que traz a base teórica para a parte experimental. Já no capítulo seguinte, a metodologia descreve a montagem do aparato de ensaio, as condicionantes de projeto, os ensaios realizados e os resultados coletados. No quinto capítulo os diversos resultados são analisados, avaliados e discutidos. No sexto e último, encontram-se as conclusões a que se chegou e as recomendações derivadas. Em anexo, são apresentados laudos de ensaio, detalhes do simulador de chuvas e os registros de vazões coletadas nos experimentos.

2 – OBJETIVOS

O presente trabalho tem por objetivo geral estudar o comportamento do concreto poroso em uma parcela experimental, avaliando seu desempenho na atenuação do escoamento superficial em áreas urbanizadas.

Os objetivos específicos abrangem os seguintes:

- Avaliar e descrever a metodologia de um experimento em pavimento construído, que adota o uso do concreto permeável, bem como avaliar a interação de cada um dos materiais constituintes do pavimento em seu desempenho hidráulico e mecânico.
- Analisar o desempenho do concreto, sobretudo sob os aspectos mecânico e hidráulico por meio do monitoramento dos escoamentos superficial e subsuperficial do pavimento experimental construído,
- Avaliar o uso da estrutura drenante como elemento de contribuição à solução para as enchentes urbanas, por meio de comparação e análise dos dados de entrada e saída do escoamento em um pavimento experimental.
- Avaliar o efeito da colmatção e a recuperação da permeabilidade, após a limpeza da placa de concreto poroso, no desempenho hidráulico do pavimento experimental.

3 – REVISÃO DA LITERATURA

Na revisão bibliográfica que se seguirá, foram estudados os processos de urbanização e as consequências para o fluxo do escoamento superficial das águas pluviais.

Como forma de combater os efeitos levantados, foi realizada a revisão das formas de tratar a questão da drenagem urbana (sistemas clássicos e sistemas compensatórios), bem como a adequação das técnicas existentes para cada uma das situações apresentadas, particularmente com enfoque nas características de comportamento dos pavimentos permeáveis.

Por fim, a revisão bibliográfica se concentrou nos pormenores do concreto poroso, estudando suas características e desempenho nas mais diversas vertentes do comportamento.

3.1 – URBANIZAÇÃO E OS IMPACTOS SOBRE O ESCOAMENTO SUPERFICIAL

A figura 3.1 ilustra o fenômeno relatado pelo Fundo das Nações Unidas para a População (UNFPA, 1999) que consiste do deslocamento de populações do campo para as cidades vivenciado nas diversas regiões do mundo ao longo dos últimos 60 anos. Um aspecto a ser ressaltado é que o processo de urbanização foi muito mais intenso nos países mais pobres. Segundo o mesmo relatório, esse movimento, após atingir um pico nos anos 1970 a 1980, atualmente encontra-se declinante no Brasil e, segundo o último Censo populacional brasileiro, coordenado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a população urbana já representa 84,4% do total de residentes (IBGE, 2010).

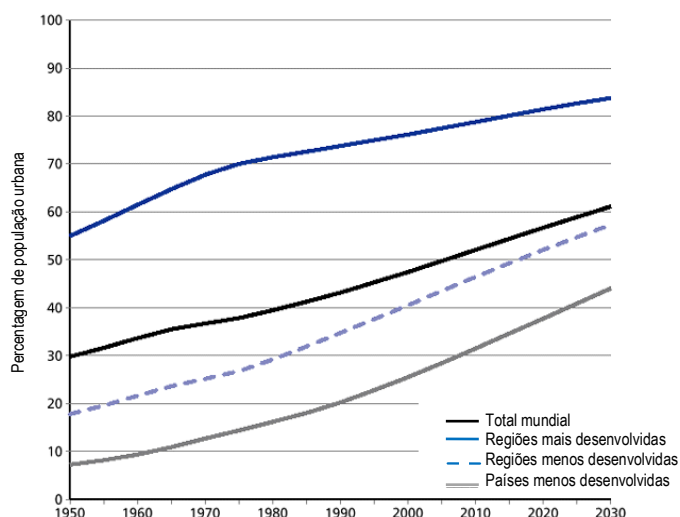


Figura 3.1 – População urbana mundial, UNFPA (1999).

O UNFPA (1999) aponta como consequência direta da explosão populacional nas cidades nos países menos desenvolvidos o surgimento de megacidades com mais de 10 milhões de habitantes. A tabela 3.1 apresenta a proliferação dessa classe de adensamento populacional, o que está trazendo consequências desastrosas para a administração das cidades e para a qualidade de vida dos cidadãos.

Tabela 3.1 – Surgimento de megacidades, UNFPA (1999).

ANO	MEGACIDADES (mais de 10 milhões de habitantes)	
	Regiões mais desenvolvidas	Regiões menos desenvolvidas
1960	2	0
1999	4	13
2015	4	22

A rápida urbanização, quando em descompasso com a presença do Estado, provocou o surgimento de municípios e bairros sem o devido planejamento urbanístico. Também no Brasil, a ocupação do solo urbano ocorreu de forma desordenada, habitações nas regiões de várzea e deficiências no saneamento são as consequências diretas.

Na tentativa de minimizar os impactos da rápida urbanização, os governos investiram pesadamente em infraestrutura urbana durante o século XX, o que trouxe inegáveis benefícios a bilhões de pessoas. Entretanto, obras executadas sem uma visão integrada do

saneamento ocasionaram inesperados custos sociais, econômicos e ambientais (Schenk *et al.*, 2009).

Para Mota (1995), o planejamento territorial consiste em uma importante ferramenta para conservar os recursos hídricos e minimizar os impactos da urbanização sobre os mananciais. Ainda para o autor, é de relevante importância que os planos diretores de ordenamento de uso e ocupação do solo considerem os aspectos ambientais e que esses documentos devem então estar condicionados aos aspectos naturais do meio físico sob as seguintes óticas: características climáticas, cobertura vegetal, topografia, tipo do solo, características geológicas dos sistemas de drenagem natural das águas e os recursos hídricos.

A comprovação da gravidade do problema veio por meio da última Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, organizada pelo IBGE (2010), quando foi constatado que 2.696 (51,3%) municípios brasileiros sofreram com alagamentos ou inundações no período de 2003 a 2008.

Para Mendes (2006), o impacto decorrente da alteração do uso do solo reflete-se em todos os componentes do ciclo hidrológico, como no escoamento superficial, na recarga dos aquíferos, na qualidade da água e no transporte de sedimentos. Neste contexto, o planejamento dos recursos hídricos deve fazer parte de um amplo processo de planejamento ambiental, no qual somente com a organização espacial das forças que interagem na bacia hidrográfica haverá expectativas de garantia da unidade da região.

Na tentativa de combater o uso desordenado do solo, os legisladores têm buscado definir parâmetros para o parcelamento do solo urbano e para saneamento básico. Isso por meio de vários diplomas, como a Lei Federal n.º 6.766/79 (com suas modificações) e a Lei Federal n.º 11.445/07, cabendo aos municípios promover, no que couber, adequado ordenamento territorial, mediante planejamento e controle do uso, do parcelamento e da ocupação do solo urbano (Constituição Federal, 1988). Sobre o tema, Tucci (2005) complementa que os Estados e a União podem estabelecer normas para o disciplinamento do uso do solo visando à proteção ambiental, ao controle da poluição, à saúde pública e à segurança. Dessa forma, observa-se que, no caso da drenagem urbana, que envolve o meio ambiente e

o controle da poluição a matéria é de competência concorrente entre Município, Estado e União.

Zmitrowicz e Neto (1997) defendem que o uso ordenado do solo requer a integração dos equipamentos e serviços necessários ao desenvolvimento das funções urbanas, podendo essas funções ser vistas sob os aspectos social, econômico e institucional. Esses autores entendem os serviços de infraestrutura urbana compostos de subsistemas, e cada um deles tem como objetivo final uma função específica, a saber:

- a) Subsistema Viário: consiste nas vias urbanas;
- b) Subsistema de Drenagem Pluvial;
- c) Subsistema de Abastecimento de Água;
- d) Subsistema de Esgotos Sanitários;
- e) Subsistema Energético; e
- f) Subsistema de Comunicações.

Seguidor da mesma linha de pensamento, Tucci (2006) entende que, para desenvolver a gestão integrada, é necessário conhecer as interfaces entre os sistemas. Na figura 3.2, são caracterizadas as principais relações entre os sistemas de infraestrutura no ambiente urbano, e nela é possível visualizar os aspectos importantes a serem observados no uso do solo, dos sistemas hídricos e dos resíduos sólidos, bem como as relações entre eles, o que consiste de conceito fundamental para o adequado planejamento urbano.

Os planejadores e administradores das cidades quase sempre tratam separadamente os problemas de enchentes, drenagem, poluição, uso da água e o seu abastecimento. Com essa visão compartimentada, frequentemente os sistemas de escoamento das águas pluviais precisam ser readequados para acompanhar o crescimento das cidades. Por essa razão, fica patente que a bacia hidrográfica é uma importante unidade de referência para priorização de intervenções.

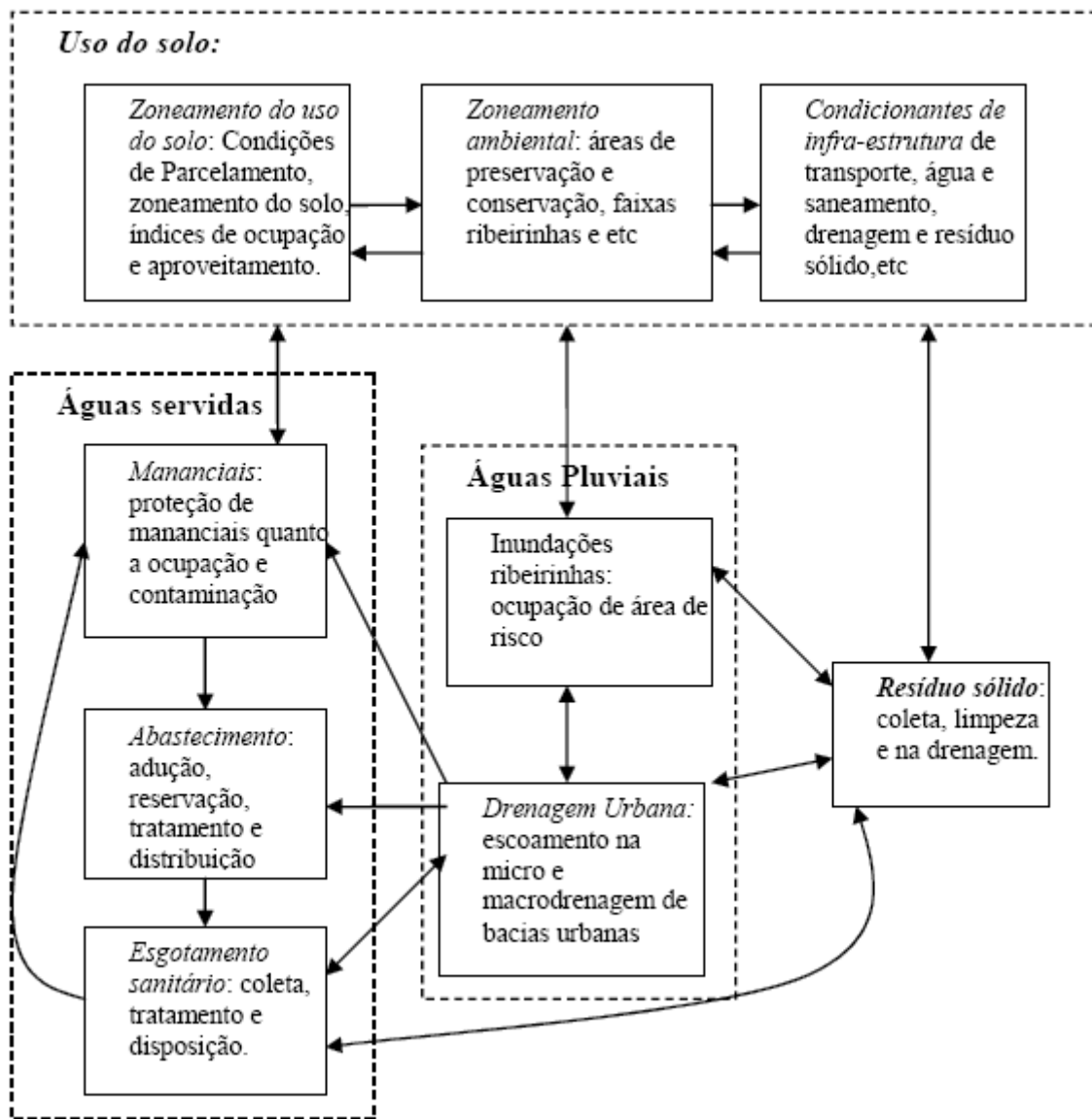


Figura 3.2 – Relação entre os sistemas de águas urbanas e os usos do solo (Tucci, 2006).

De forma complementar, Silva e Porto (2003), entendem que em face da íntima interligação dos diversos subsistemas de uma cidade, há a necessidade de implantar a gestão integrada de recursos hídricos, que tem como principais fundamentos o uso sustentável dos recursos, a abordagem multissetorial e o emprego de medidas não estruturais. Nesse sentido, a Lei nº 11.445/07 estabelece a adoção da bacia hidrográfica como unidade de referência para o planejamento das ações de saneamento básico.

Alinhada com Zmitrowicz e Neto (1997) e Tucci (2006), a citada Lei nº 11.445/07, que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, ajusta-se à mudança do paradigma de visão compartimentada do saneamento adotando a abordagem holística. Essa abordagem define o conjunto de serviços, infraestruturas e instalações envolvidas no

saneamento básico, como sendo as relacionadas ao subsistema de drenagem pluvial, subsistema de abastecimento de água, subsistema de esgotos sanitários, além do manejo dos resíduos sólidos.

Mendes (2006) relata que um dos grandes desafios ambientais da atualidade reside na capacidade de compreender as inter-relações entre o recurso natural e a pressão evolutiva empreendida pelo ser humano. Por isso, Soares *et al.* (2002) afirmam a necessidade de privilegiar os impactos positivos sobre a saúde pública (objeto primordial das ações) e sobre o meio ambiente. Dessa forma, a compreensão dessas diversas relações revela-se um pressuposto fundamental para o planejamento dos sistemas de saneamento em centros urbanos.

3.1.1 – Os efeitos da urbanização no balanço das águas

Sob o aspecto físico, Mota (1995) relaciona as seguintes alterações: o desmatamento, impermeabilização de parcela do solo e os movimentos de terra que alteram a conformação topográfica, incluindo-se os aterros de áreas alagadiças ou o corte de elevações. As principais consequências dessas alterações podem ser citadas como o aumento tanto da frequência e de magnitudes das enchentes nos meios urbanos, como do transporte de sedimentos e poluentes.

Makropoulos *et al.* (2008) afirmam que controlar o escoamento superficial é o elemento-chave para alcançar a sustentabilidade urbana e que a aplicação de práticas sustentáveis dentro do ambiente urbano é dependente de informações quantitativas e qualitativas.

3.1.1.1 – Efeitos da urbanização sobre o volume de escoamento superficial

Todas as modificações impactam diretamente o meio ambiente, particularmente na quantidade da água escoada pela superfície e, segundo Tucci (2006), causam as seguintes alterações no ciclo hidrológico:

- redução da infiltração das águas pluviais no solo;
- o volume que deixa de infiltrar fica na superfície e aumenta o escoamento superficial;

- as águas escoadas nos condutos pluviais ganham velocidade, reduzindo o tempo de deslocamento;
- as vazões máximas aumentam, antecipando seus picos no tempo;
- com a redução da infiltração, o aquífero tende a diminuir o nível do lençol freático por falta de alimentação (principalmente quando a área urbana é muito extensa), reduzindo o escoamento subterrâneo; e
- a substituição da cobertura natural por áreas impermeáveis reduz a evapotranspiração, justamente porque a superfície urbana não retém água como a cobertura vegetal.

A figura 3.3, extraída de Organization for Economic Cooperation and Development (OECD, 1986, citado por Tucci, 2005) ilustra diminuição da capacidade de permeabilidade do solo quando comparados os períodos de pré-ocupação e pós-ocupação. Nela se constata um salto da parcela escoada superficialmente de 10% para 45%. Também, do ponto de vista ecológico, a parcela infiltrada, responsável pela recarga dos aquíferos, sofre redução da ordem de 50% para 30% do total precipitado.

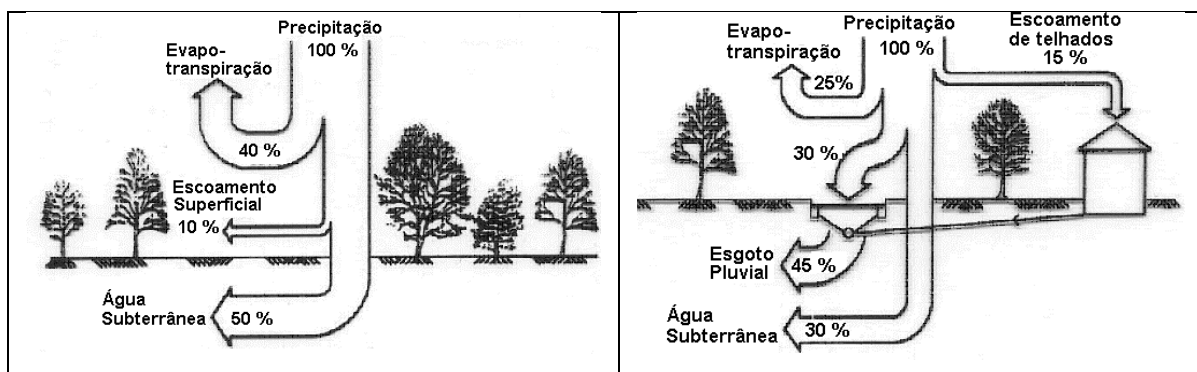


Figura 3.3 – Balanço hídrico pré e pós-ocupação (OECD, 1986, citado por Tucci, 2005).

Na mesma publicação, Tucci (2005) mostra, por meio da figura 3.4, as significativas consequências da impermeabilização das superfícies urbanas sobre o comportamento do hidrograma. Nela, é apresentado um hidrograma representativo de duas chuvas em um terreno antes e após a sua urbanização. Pode-se notar que acréscimo no pico da vazão gera um volume em excesso em um curto intervalo de tempo, o que caracteriza o processo de formação de enxurradas.

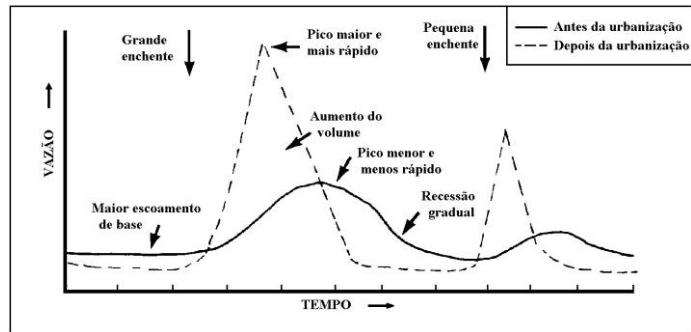


Figura 3.4 – Efeitos da urbanização sobre o hidrograma de uma chuva, Tucci (2005).

Já a figura 3.5 (Leopold, 1968; citado por Tucci, 2005) apresenta as curvas de aumento da vazão média de inundação em função da área impermeável e da canalização do sistema de drenagem. Nela é possível constatar que um pequeno aumento da área impermeabilizada é capaz de dobrar o volume de água escoada superficialmente. Também se observa que a depender da combinação urbanização X canalização, o volume de água pode ser até algumas vezes maior que as vazões naturais.

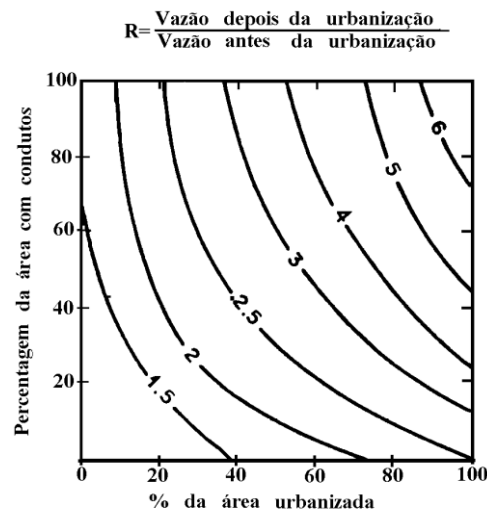


Figura 3.5 – Amplificação da vazão escoada (Leopold, 1968, citado por Tucci, 2005).

Por essa razão, Reis *et al.* (2008) ressaltam que o escoamento superficial, sob condições de permeabilidade do solo próximas à natural, também é importante para o restabelecimento do ciclo hidrológico.

Segundo Tucci (2005), as consequências relacionadas às enchentes urbanas são as seguintes:

- Prejuízos materiais e perdas humanas;

- Interrupção da atividade econômica das áreas inundadas;
- Contaminação por doenças de veiculação hídrica como leptospirose, cólera, entre outras; e
- Contaminação da água pela inundação de depósitos de material tóxico, estações de tratamento.

Estudando a realidade dos Estados Unidos, Priscolli (2001) avaliou que os benefícios decorrentes de investimentos na prevenção de inundações estão inter-relacionados aos impactos e aos prejuízos que as inundações vinham causando. E que esses prejuízos vinham crescendo em um ritmo de três bilhões de dólares ao ano.

Na, figura 3.6, o autor apresenta, no mesmo trabalho, a evolução dos benefícios obtidos até 1999, frente os investimentos realizados no combate às inundações (com valores ajustados ao dólar daquele ano), o que demonstra, para o contexto americano, a viabilidade econômica de se promoverem investimentos no combate às inundações e aos seus efeitos.

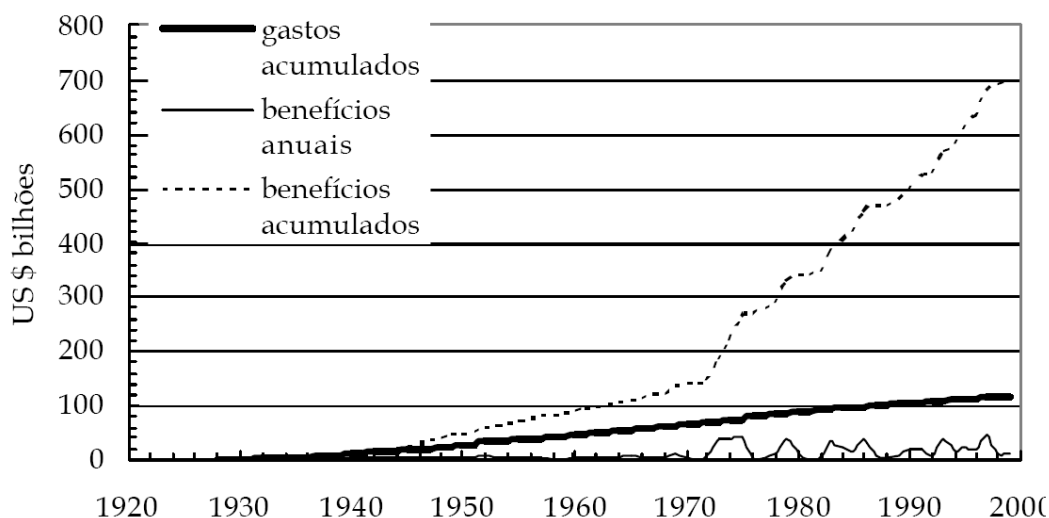


Figura 3.6 – Evolução dos benefícios anuais e acumulados e dos gastos na gestão de inundações nos Estados Unidos (Priscolli, 2001).

No mesmo documento, Priscolli chama atenção para a necessidade de ação integrada nos diversos níveis de governo e apresenta as quatro principais dificuldades da implementação de um sistema eficaz de combate às inundações e aos seus efeitos:

- resistência à interferência do governo federal em assuntos de natureza local;
- conceito rígido e arraigado de propriedade privada, caracterizado pelo individualismo, que limita as soluções de caráter coletivo;

- resistência ao planejamento integrado do uso do solo; e
- tradição no atendimento às vítimas, que reforça o assistencialismo e a descontinuidade da prevenção.

3.1.1.2 – Efeitos da urbanização sobre a qualidade do escoamento superficial

Como discutido em IBGE (2002), no Brasil se acreditava que a poluição dos corpos d'água era somente decorrente de lançamentos de esgotos domésticos e industrializados não tratados, visto que apenas 20,2% dos municípios brasileiros coletam e tratam seus esgotos. Hoje, sabe-se que parte dessa poluição tem origem no escoamento superficial gerado nos eventos de chuvas, sendo agravado pelos processos de urbanização (Nakazone, 2005).

Para Tassin e Chebbo (2000), além das modificações quantitativas, a urbanização apresenta relação direta com a qualidade das águas que escoam superficialmente. Em seu trabalho, concluem pela incorporação de outras duas etapas no tráfego da poluição das águas em áreas urbanas, anteriores aos lançamentos de esgotos.

Acerca da 1ª etapa, Tassin e Chebbo (2000) afirmam que a poluição do ar afeta a formação da chuva, pois as gotas de água, ao atravessarem a camada de poeira e gases dissolvidos na atmosférica, chocam-se com essas partículas e obtêm massa suficiente para precipitar e atingir o chão.

As causas naturais como ventos, incêndios e erupções vulcânicas, eram os grandes geradores de partículas na atmosfera da Terra até recentemente. Contudo, o incremento de emissões ocorrido durante o último século e meio, o perfil das chuvas também se alterou.

Em resumo, Tassin e Chebbo (2000) estimaram que, de maneira global, cerca de 15% a 25% da poluição contida no escoamento superficial é diretamente atribuível à poluição da água da chuva. Essa proporção pode ser ainda maior para alguns produtos, tais como sais de amônia e metais pesados.

Como exemplo de desequilíbrio dessas proporções, Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica da Prefeitura Municipal de São Paulo (PMSP/FCTH, 1999) cita o ocorrido nos primeiros anos da década de 80 na cidade de Cubatão, quando ficou famoso o “Vale da

Morte”. Naquela ocasião foram observadas *chuvas ácidas* com valores de potencial hidrogeniônico (pH) variando entre 3,7 e 4,7, quando o valor mínimo esperado para a água pura com gás carbônico dissolvido ao nível de saturação é de 5,6 . Esse quadro reafirma as posições de Tassin e Chebbo (2000) e figurava como um dos problemas de maior relevância associado à poluição atmosférica, pois a redução do pH da água de chuva traz, como consequência, danos a ecossistemas aquáticos. (PMSP/FCTH, 1999).

A segunda etapa do tráfego de poluição, segundo Tassin e Chebbo (2000), consiste da deposição dos poluentes nas superfícies urbanas durante os períodos de seca e podem ter várias origens. Esses poluentes são chamados endógenos quando produzidos na própria cidade, ou exógenos, quando os poluentes produzidos na cidade podem escapar por meio do transporte aéreo e se depositarem a distâncias consideráveis. Um exemplo é o chumbo, resultantes da combustão da gasolina nos motores dos veículos, que se encontra disperso por todo o planeta e em concentrações significativas no gelo do Ártico e da Antártida.

A tabela 3.2, adaptada a partir do trabalho de Tassin e Chebbo (2000), relaciona as principais fontes geradoras com suas respectivas emissões:

Em relação aos resíduos sólidos, Tassin e Chebbo (2000) abordaram a realidade da capital francesa e consideraram apenas os aspectos relativos às práticas de limpeza de rua mais ou menos eficazes e aos lançamentos acidentais (óleo usado de motores e limpeza de praças). Contudo Gromaire-Mertz (1998) afirma que o volume e a natureza dessas águas residuárias são, obviamente, extremamente variáveis, dependendo do tipo de ocupação da bacia. No mesmo trabalho, a autora fez a caracterização das águas pluviais parisienses em bacias com usos diversos (residencial, comercial, oficinas e industrial) e, como esperado, encontrou os mais diversos contaminantes, desde variados metais pesados até matéria orgânica.

Tabela 3.2 – Fontes poluidoras e lançamentos de poluentes (adaptado de Tassin e Gebbo, 2000).

FONTE GERADORA	POLUENTE LANÇADO
<p>Circulação de automóveis - é uma das principais fontes direta.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Hidrocarbonetos (petróleo e gás) • Chumbo (gasolina) • Borracha (desgaste do pneu) • Vários metais como zinco, cádmio e cobre (desgaste dos pneus) • Titânio, cromo, alumínio (desgaste de peças metálicas).
<p>A erosão do solo, ação mecânica das rodas de veículos, presença de construções e a ação do vento durante o tempo seco.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Geralmente minerais inertes • Pode contém substâncias ativas como o alcatrão em alguns casos.
<p>Indústria (depende do tipo de atividade e localização em relação à cidade)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Metais (chumbo, cádmio, zinco), resíduos de óleo e muitos micropoluentes orgânicos (principalmente solventes), que podem ser transportados a longas distâncias.
<p>Animais urbanos (domésticos ou não).</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Contribuições indiretas de nitrogênio e fosfato (fertilizantes).
<p>A vegetação urbana (materiais carbonosos, especialmente em folhas de outono, flores, sementes, pólen e galhos).</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Contribuições indiretas de nitrogênio e fosfato (fertilizantes), bem como podem conter resquícios de produtos organoclorados (pesticidas e herbicidas).

Para a realidade brasileira, deficiente de sistemas eficazes de coleta de lixo e possuidora de cultura bastante diversa da estudada, é de se esperar forte presença de restos e dejetos de animais, matéria orgânica, nitrogênios nas diversas etapas do ciclo biogeoquímico, além de fósforo e resíduos maiores de demorada degradação biológica.

A terceira e última etapa se reporta ao transporte dos sedimentos e poluentes para as redes de drenagem e sua condução até os corpos d'água, contribuindo para a degradação da qualidade da água dos mesmos. A essa etapa estão associadas outras consequências como as doenças de veiculação hídrica e gastos com o tratamento da água (Brito, 2006).

A PMSP/FCTH (1999) alerta para o efeito sinérgico de substâncias tóxicas lançadas, diretamente ou produzidas pelas reações de vários elementos lançados, com resultados por vezes imprevisíveis.

De posse dos aspectos relacionados, é possível considerar que a poluição gerada pelo escoamento superficial pode ser assumida como poluição difusa, pois atende aos seguintes requisitos estabelecidos por Novotny (1991):

- é proveniente de atividades que depositam poluentes de forma esparsa sobre a área de contribuição da bacia hidrográfica;
- o lançamento da carga poluidora é intermitente e está relacionado à precipitação;
- os poluentes são transportados a partir de extensas áreas; e
- as cargas poluidoras não podem ser monitoradas a partir de seu ponto de origem, mesmo porque sua origem exata é impossível de ser identificada.

3.2 – TÉCNICAS E MÉTODOS DE DRENAGEM URBANA

Drenagem é o termo empregado na designação das instalações destinadas a escoar o excesso de água, seja em rodovias, na zona rural ou na malha urbana, sendo que a drenagem dessa última é o objetivo do estudo. Para Neto (2005), a drenagem urbana não se restringe aos aspectos puramente técnicos impostos pelos limites restritos à engenharia, pois compreende o conjunto de todas as medidas a serem tomadas que visem à atenuação dos riscos e dos prejuízos decorrentes de inundações aos quais a sociedade está sujeita.

As medidas de controle do escoamento são classificadas conforme sua ação na bacia hidrográfica, podendo ser distribuída ou na fonte, na microdrenagem e na macrodrenagem (Tucci, 2006). O alcance da ação de controle de um empreendimento para tentar restabelecer o hidrograma conforme o da bacia natural depende de suas características, dos tipos de instalações e localizações na bacia.

Pode-se definir a microdrenagem como sendo a coleta e o afastamento das águas superficiais ou subterrâneas, por meio de pequenas e médias galerias, fazendo ainda parte desse sistema todos os componentes do projeto que permitem que tal processo ocorra. Por extensão, o chamado sistema de macrodrenagem corresponde ao escoamento no fundo do vale, este comporta as galerias de grande porte ($D > 1,5\text{m}$) e os corpos receptores tais como canais e rios canalizados.

A tabela 3.3, organizada por Tucci (2008), apresenta uma tipologia da evolução das águas urbanas, dividindo a história dos sistemas de drenagem e esgotamento sanitário em cinco etapas distribuídas ao longo da evolução das cidades.

Tabela 3.3 –Fases do desenvolvimento das águas urbanas

FASE	CARACTERÍSTICAS	CONSEQUÊNCIA
Pré-higienista (até o início do século XX)	Esgoto em fossas ou na drenagem; sem coleta ou tratamento; e água da fonte mais próxima, poço ou rio.	Doenças e epidemias; grande mortalidade e inundações.
Higienista (antes de 1970)	Transporte de esgoto para longe das pessoas e canalização do escoamento	Redução das doenças, mas rios contaminados; impactos nas fontes de água; e inundações
Corretiva (entre 1970 e 1990)	Tratamento de esgoto doméstico e industrial; amortecimento do escoamento.	Recuperação dos rios, restando a poluição difusa; obras hidráulicas e impacto ambiental.
Desenvolvimento sustentável (depois de 90)	Tratamento terciário e do escoamento pluvial; novos desenvolvimentos que preservam o sistema natural.	Conservação ambiental; redução das inundações e melhoria da qualidade de vida.

Particularmente para a drenagem urbana, a fase higienista, com as soluções clássicas, e o advento do desenvolvimento sustentável, que incorpora as técnicas compensatórias, são as que trouxeram maiores influências na forma se fazer drenagem urbana no país. Por essa razão, privilegia-se a discussão dessas duas fases nos próximos itens.

3.2.1 - Soluções clássicas

Com a intensificação do processo de urbanização, observada ao longo da segunda metade do século XX, os sistemas de drenagem então conhecidos como clássicos, começaram a apresentar limitações em relação a sua eficácia. O princípio de funcionamento pela transferência das águas para jusante o mais rapidamente possível tornou-se uma das causas

de inundações a jusante; o que implica a construção de novas obras de drenagem, em geral de elevado custo (Baptista *et al.*, 2005). Nesse contexto, abrigam-se o projeto de grandes sistemas de galerias pluviais e as ações destinadas à “melhoria do fluxo” em rios e canais, que são concretizadas por meio de cortes de meandros, retificações e mudanças de declividade de fundo (Pompêo, 2000).

Baptista *et al.* (2005), lembram que a abordagem clássica não resolve a questão da qualidade das águas pluviais. Essas são admitidas no sistema contaminadas por grandes quantidades de sólidos que promovem o assoreamento dos dutos e reduzem suas capacidades de escoamento. Para Nascimento *et al.* (1997), essa é umas das causas de obsolescência das redes de drenagem e desencadeiam o aumento na frequência de inundações e da poluição dos corpos d’água, com repercussões econômicas, sociais, ambientais e políticas.

Além disso, obras de canalização dos cursos d’água dão uma falsa ideia de segurança contra inundações, fazendo com que as pessoas de baixa renda ocupem as áreas ribeirinhas, resultando em perdas de vidas e prejuízos econômicos (Baptista *et al.*, 2005).

3.2.2 – Sistemas alternativos de drenagem

A partir da década de 1970, foram desenvolvidas, sobretudo nos Estados Unidos, Europa, Japão e Austrália, outras formas de abordar a drenagem urbana, denominadas “tecnologias alternativas” ou “compensatórias”, que buscam neutralizar os efeitos da urbanização nos processos hidrológicos (Baptista *et al.*, 2005). Entretanto, a visão tradicional, que focaliza o controle do escoamento na própria calha do curso de água, dando pequena importância à geração do escoamento nas superfícies urbanizadas, ainda predomina em alguns meios técnicos (Pompêo, 2000).

Tucci (2005) ressalta que as políticas de implementação de obras estruturais para controle de inundações encontram-se em estádios mais adiantados em países como o Japão, onde apenas 30% da área do país é habitável e 1/3 desse total representa áreas sujeitas a inundações.

Tucci (2005) classifica as medidas de controle do escoamento conforme sua ação na bacia hidrográfica, em:

- **Distribuída ou na fonte:** é o tipo de controle que atua sobre o lote, praças e passeios.
- **Na microdrenagem:** é o controle que age sobre o hidrograma resultante de um ou mais loteamentos.
- **Na macrodrenagem:** é o controle sobre os principais riachos urbanos.

Tucci (2005) também afirma que as medidas de controle podem ser organizadas, de acordo com a sua ação sobre o hidrograma em cada uma das partes das bacias mencionadas, em:

- **Infiltração e percolação:** esse tipo de solução encaminha o escoamento para áreas de infiltração e percolação no solo, utilizando o armazenamento e o fluxo subterrâneo para retardar o escoamento superficial. Esse tipo de solução busca recuperar as funções hidrológicas naturais da área. A infiltração não deve ser utilizada em áreas onde a contaminação da água pluvial é alta ou o lençol freático é muito alto;
- **Armazenamento:** ocorre pela utilização de reservatórios, que podem ocupar espaços abertos ou fechados. O efeito do reservatório é o de reter parte do volume do escoamento superficial, reduzindo o seu pico e distribuindo a vazão no tempo.
- **Aumento da eficiência do escoamento:** pela implantação de condutos e canais, drenando áreas inundadas. Esse tipo de solução tende a transferir enchentes de uma área para outra, mas pode ser benéfico para ambas as áreas (montante e jusante) quando utilizado em conjunto com reservatórios de detenção.
- **Diques e estações de bombeamento:** solução tradicional de controle localizado de enchentes em áreas urbanas, que não possuam espaço para amortecimento da inundação.

Na mesma publicação, Tucci (2005) classifica as medidas para o controle da inundação, segundo o modo intervenção, podendo ser:

- **Medidas não-estruturais:** são aquelas de natureza institucional, administrativa ou financeira, normalmente aplicadas de forma difusa sobre a bacia, em que os prejuízos são reduzidos pela melhor convivência da população com as enchentes e apoiam-se em aspectos sociopolíticos (Nakazone, 2005).

Porto (2001) ressalta a eficácia das medidas não-estruturais em uma análise custo/benefício. A autora também relaciona as principais medidas não-estruturais como sendo: medidas de planejamento urbano, incluindo-se a organização da ocupação do solo, espaços livres, etc.; programas de prevenção e controle da erosão em locais de construção; medidas gerais de limpeza das cidades; controle de conexões ilegais; criação de áreas verdes; controle de coleta e destinação final dos resíduos sólidos; e ações de educação ambiental. Além dessas medidas, Nakazone (2005) sugere a adoção de seguros imobiliários, implantação de sistemas de alerta, de incentivos fiscais e a participação pública.

▪ **Medidas estruturais:** são todas e quaisquer obras de engenharia relacionadas com o gerenciamento das águas pluviais, com o objetivo de afastar, armazenar, prevenir ou controlar seus efeitos. Podem ser extensivas quando interferem em toda bacia, modificando as relações entre precipitação e vazão (melhoria da cobertura vegetal, por exemplo) ou intensivas, quando agem diretamente no curso d'água, acelerando o escoamento (galerias e canais), aumentando a capacidade de descarga (diques e pôlderes), retardando o escoamento (reservatórios de amortecimento e infiltração) ou desviando o escoamento (canais de derivação) (Nakazone, 2005).

Para Porto (2001), a escolha das medidas mais adequadas deve levar em conta o estágio de urbanização da bacia, uma vez que, em zonas já urbanizadas, é praticamente impossível programar medidas que requeiram alterar destinação de áreas já ocupadas, medidas como o rezoneamento urbano ou construção de bacias (de detenção, retenção ou de infiltração). Por outro lado, em áreas menos urbanizadas, podem ser previstas, no momento do planejamento, algumas medidas que requeiram a utilização de grandes áreas, como as bacias citadas.

Contudo, Tucci (2003) alerta ser ingenuidade de o homem imaginar que poderá controlar totalmente as inundações. A estratégia que propiciará melhores resultados será uma combinação de medidas estruturais e não estruturais. A minimização de perdas pela população ribeirinha e a manutenção de uma convivência harmônica com o rio somente podem ser obtidas pelo planejamento de ações de proteção contra a inundação e de redução seus efeitos. Diante da assertiva, a chave da questão consiste da pesquisa na otimização dessas ações.

3.2.3 - Técnicas compensatórias

Com o objetivo de clarificar o entendimento acerca da forma de atuação das várias técnicas compensatórias, Nascimento e Baptista (2009) as classificaram e as organizaram de forma didática como pode ser visto na figura 3.7.

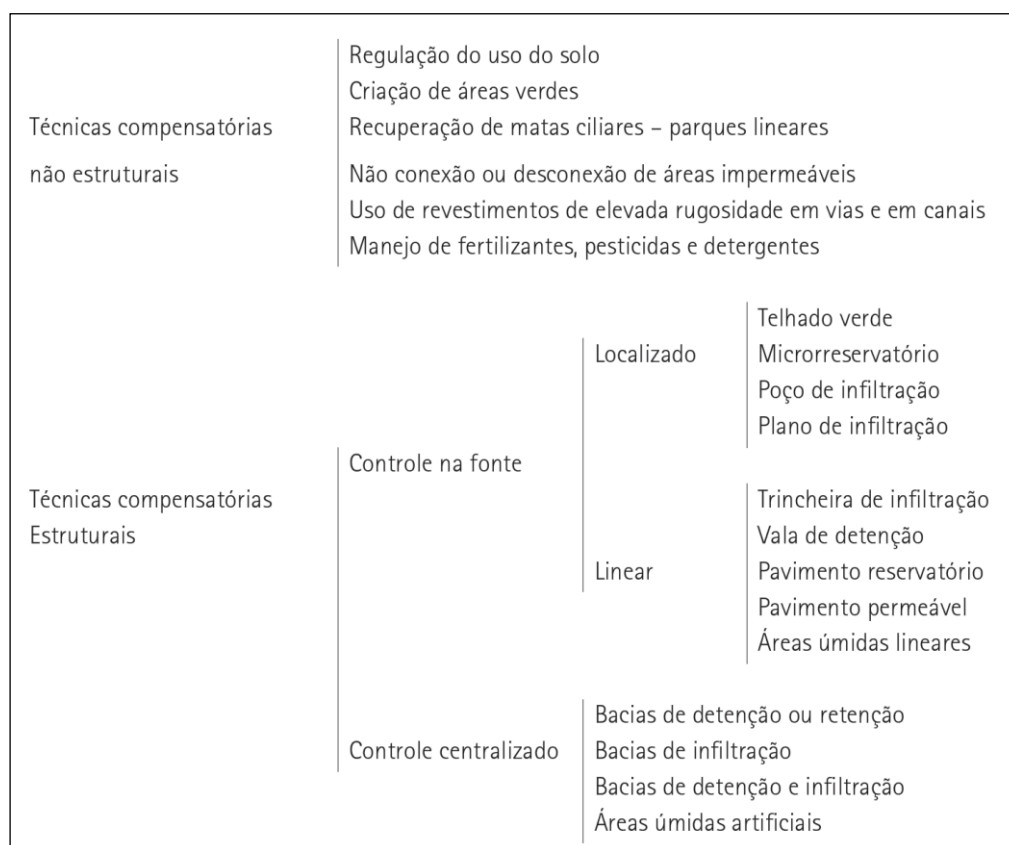


Figura 3.7 – Tipologia de técnicas compensatórias para o manejo de águas pluviais (Nascimento e Baptista, 2009)

Considerando que o desempenho da drenagem terá influência da técnica compensatória escolhida e do local a ser drenado, Baptista *et al.* (2005) organizaram a tabela 3.4 que permite constatar se existe uma técnica compensatória aplicável para cada situação, tendo em vista o controle de vazão de pico e de volume. Avalia-se, também, se a técnica contribui para a recarga do lençol e para o controle de erosão a jusante se permite o reuso direto da água.

Tabela 3.4 –Vocação e possibilidades das técnicas (Baptista et al., 2005)

VOCAÇÃO E POSSIBILIDADES DAS TÉCNICAS								
Técnica	Área de drenagem controlada	Controle de vazão e pico			Controle de volumes	Recarga do lençol	Reuso direto	Controle de erosão a jusante
		TR pequenos	TR médios (até 30 anos)	TR grandes (até 100 anos)				
Bacias de detenção/ retenção	Grande (>16ha)	P	P	V	N	N	V	V
Bacias de infiltração	Média	P	P	V	P	P	V	P
Valas e valetas de detenção	Pequena-média	V	V	N	N	N	N	V
Valas e valetas de infiltração	Pequena-média	V	V	N	P	P	N	V
Pavimentos porosos	Pequena-média	P	V	N	V	V	N	V
Revestimentos permeáveis	Pequena-média	V	N	N	V	V	N	V
Trincheira de detenção	Pequena (<4ha)	P	V	N	N	N	N	V
Trincheira de infiltração	Pequena	P	V	N	P	P	N	V
Poços de infiltração	Pequena	P	V	N	P	P	N	V
Telhados armazenadores	Pequena	P	V	N	N	N	V	V
Reservatórios individuais	Pequena	P	V	N	N	N	V	V

Legenda: P – Adaptada V – Passível de ser adaptada N – Pouco adaptada ou mesmo de impossível adaptação

Pela tabela 3.4, conclui-se que as técnicas compensatórias atenuam efeitos de eventos chuvosos de até 30 anos de recorrência, não apresentando respostas satisfatórias para os eventos de natureza catastrófica.

Na mesma tabela, os autores associaram parâmetros relacionados com o volume de água a ser absorvido pelo sistema (superfície da bacia de contribuição e o tempo de recorrência da chuva). Nela, é possível constatar que apenas as técnicas do tipo “bacias” têm capacidade de comportar os grandes volumes de água, o que sugere a necessidade do uso das demais técnicas que possuem atuação local, assim como a setorização e o fracionamento das bacias de contribuição.

Ainda pela tabela 3.4, pode-se observar que todas as técnicas contribuem para o controle da erosão que permite a redução do aporte de sedimentos nos sistemas públicos de drenagem e, por consequência, o prolongamento da vida útil desses sistemas.

Antes de iniciar a descrição das várias possibilidades, cumpre esclarecer a sutil diferença entre retenção e detenção. Essas palavras têm os mais variados significados e interpretações, tanto na literatura técnica como também nos termos de uso corrente. No âmbito do presente trabalho, serão adotadas para obras dessa natureza as definições apresentadas por Nakazone (2005).

Para autora, a retenção ocorre quando o escoamento é armazenado por longos períodos e não descarregado a jusante durante o evento que o gerou, permanecendo com uma lâmina de água que pode ser utilizada para fins diversos de abastecimento não potável, infiltração local ou melhoramento paisagístico; enquanto que, na detenção, ocorre o armazenamento de curto prazo, suficiente apenas para controlar o efeito das cheias a jusante, com vazão de saída inferior ao de entrada e volume efluente igual ao afluente, podendo, fora dos eventos de cheias, ser utilizado para fins recreacionais.

A vastidão na forma de aplicar as técnicas compensatórias e a falta de padronização da nomenclatura permite que os autores criem variações nos nomes e nas aplicações, como a PMSP/FCTH (1999) que divide as formas de intervenção na bacia em três grupos, conforme a forma de atuação de cada uma, a saber: obras de detenção, obras de retenção, e bacias de sedimentação.

As duas primeiras seguem definição de Nakazone (2005) citada, entretanto as bacias de sedimentação não têm o foco no controle do escoamento do volume precipitado. Elas são dispositivos armazenadores de águas de escoamento superficial com o objetivo de reter material sólido em suspensão, bem como detritos flutuantes carregados pelo sistema de drenagem e podem ser parte integrante de um sistema mais amplo, tendo em vista múltiplos propósitos. Por tais motivos este estudo não tratou de forma detalhada esse tipo de sistema.

Na tabela 3.5 foi feita a compilação das diversas técnicas compensatórias citadas na bibliografia pesquisada. Como já observado nos parágrafos anteriores, ela facilita a constatação da dificuldade de se apontar uma classificação rígida quanto a forma de atuação das variadas técnicas compensatórias, pois normalmente o ganho ambiental se dá pela combinação de duas ou mais dessas formas de atuação.

Tabela 3.5 –Formas de atuação das principais técnicas compensatórias (adaptado de Baptista *et al.*, 2005, Nakazone, 2007, Azzout et al., 1994, Castro, 2007, Brito 2006 e Moura 2004)

TÉCNICA COMPENSATÓRIA	FORMAS DE ATUAÇÃO		
	Detenção (retardo)	Retenção	
		Infiltração	Evaporação
Telhado Vegetalizado			X
Telhado Armazenador	X		
Microrreservatório	X	X	
Poço de Infiltração		X	
Plano ou Trincheira de Infiltração		X	X
Plano, Vala ou Trincheira de Retenção	X	X	X
Pavimento Reservatório	X	X	
Pavimento Permeável	X	X	
Área Úmida Artificial linear ou não (wetland)	X	X	X
Bacia de Detenção	X	X	X
Bacia de Retenção		X	X

Em virtude de a tabela 3.5 ter incorporado informações de outros autores, com visões diferenciadas da gestão da drenagem das águas pluviais, não foi possível propor a perfeita compatibilização das nomenclaturas das técnicas compensatórias.

Pelo que se apresentou na tabela 3.5, observa-se que, normalmente, as técnicas exploram duas formas de atuação e, por vezes, até três, o que reforça a ideia da inexistência de uma solução padronizada para cada situação. Por essa razão, a presente tabela não pretende esgotar as possibilidades, pois novas combinações ou variantes podem ser idealizadas pelos projetistas. Um exemplo que pode ser citado é a chamada “bacia de detenção e infiltração”, que agrega a infiltração apenas como ganho indireto em uma segunda forma de atuação.

A montagem da tabela 3.5 levou em consideração apenas as estruturas que contribuem diretamente na redução do volume de água a ser drenada pelo exutório da bacia. Por essa

razão, não foram estudadas as estruturas de sedimentação propostas por PMSP/FCTH (1999).

Como já discutido, entende-se detenção como o acúmulo temporário das águas com o objetivo de minimizar ou até anular os efeitos do pico da chuva. Essas estruturas armazenam as águas lançando-as lentamente no sistema por meio de um exutório dimensionado para drená-la completamente em um tempo médio de até 48 horas. A infiltração não é o foco da detenção. Por essa razão, a detenção é a estrutura mais adequada para os locais onde possa haver contaminação do solo, situações essas que podem apresentar seus fundos impermeabilizados.

Por outro lado, as estruturas de retenção têm o objetivo de barrar o fluxo da água e, valendo-se da infiltração e da evaporação, absorver todo o volume de água captada desde que o fundo da estrutura esteja em cota superior ao nível do lençol freático.

3.2.4 – *Retrofit* dos sistemas de drenagem

Retrofit é uma palavra da língua inglesa que remete à ideia de melhoria ou aperfeiçoamento. Em sentido mais amplo, o termo pode ser aplicado para a atividade de modernizar equipamentos ou edifícios, incorporando técnicas e equipamentos modernos e sustentáveis.

A partir desse conceito, Christofidis (2011) entende que os sistemas de drenagem urbanos também devem passar por um processo de *retrofit*, contudo o autor entende ser inviável investir exclusivamente nos sistemas de drenagem sustentáveis (uso de técnicas compensatórias) em detrimento dos sistemas tradicionais já implantados nas cidades. Dessa forma, os novos aparelhos devem ser implantados complementarmente aos já existentes e com objetivo de combater o efeito da urbanização sobre o hidrograma da bacia.

Exemplos da convivência dos dois sistemas começam a ser empregados nas diversas cidades brasileiras, os parques lineares, intervenção de maior impacto visual e melhor aceitação pública, já podem ser encontrados em cidades de todo o país, como São Paulo, Curitiba, Manaus (figura 3.8), Rio Branco, Uberlândia e outras.



Figura 3.8 – Parque Linear Senador Jefferson Peres em Manaus, AM

3.2.5 – Pavimentação permeável

Define-se pavimento permeável como a estrutura que permite a passagem de água através de sua estrutura, promovendo ganho ambiental. Constitui uma boa alternativa não convencional para redução do efeito da impermeabilização sobre a drenagem, pois a superfície de um pavimento permeável deve permitir a infiltração de parte do deflúvio na camada inferior do pavimento.

As técnicas de pavimentos permeáveis podem se apresentar por uma gama variada de formas e materiais. Sob essa ótica, pode-se classificá-los em dois grandes grupos:

- Os que permitem a passagem da água por frestas e juntas das peças. Nesse grupo, encontram-se: calçamento em blocos poliédricos de gnaisse ou outras rochas (paralelepípedos); blocos intertravados de concreto pré-moldados de diferentes formatos; blocos de concreto pré-moldados vazados, em que nas aberturas são plantadas gramíneas; e os pavimentos de alvenaria poliédrica. Em todas essas possibilidades, os revestimentos são instalados sobre uma camada de areia e os espaços vazios preenchidos com material granular ou grama. Para Nascimento e Baptista (2009), na grande maioria das vezes, são projetados para suportar cargas dinâmicas de veículos leves em áreas de estacionamentos.

- Os que permitem passagem da água pelo próprio corpo do revestimento. Nesse grupo, encontram-se: os gramados; os revestimentos em pedriscos soltos; os concretos porosos betuminosos; e os concretos porosos de cimento Portland.

Estudo comparativo entre materiais de pavimentação foi desenvolvido por Maus *et al.* (2007). Nele, foram construídas quatro parcelas experimentais pavimentadas com materiais diferentes (asfalto, paralelepípedo, grama e blocos vazados) de 3m² cada uma e declividades uniformes de 7% (figura 3.9). No exutório das parcelas, foram instalados sistemas coletores e armazenadores dos volumes escoados.



Figura 3.9 – Parcelas e caixas coletoras para simulação do escoamento superficial da água em diferentes pavimentações (Maus *et al.*, 2007)

As parcelas foram expostas a chuvas reais monitoradas por pluviógrafo. Assim, ao final do período de coleta, cuja duração não foi especificada pelos autores, o pluviógrafo tinha acumulado um montante de 236,62mm de chuva precipitada.

A tabela 3.6 e figura 3.10, organizadas por Maus *et al.* (2007), permitem visualizar o escoamento superficial acumulado em cada uma das quatro parcelas de pavimentação permeável estudadas. Nelas é possível verificar a expressiva vantagem da utilização do concreto poroso sobre o asfalto e o paralelepípedo, ao se considerar o objetivo de favorecer a infiltração.

Os resultados apontaram para um pequeno percentual de infiltração no pavimento asfáltico, o que demonstrou a baixa contribuição dessa tecnologia na redução do escoamento superficial. Em situação melhor, veio o paralelepípedo. Por outro lado, as superfícies ambientalmente sustentáveis (gramado e pavimento permeável) foram capazes de infiltrar percentuais superiores a 95% dos volumes precipitados. No textos, os autores não discutiram as razões para o índice, julgado elevado, de permeabilidade do asfalto.

Tabela 3.6 – Valores acumulados de escoamento e infiltração de água nas diferentes parcelas (Maus et al., 2007).

TRATAMENTO	PRECIPITAÇÃO ACUMULADA (MM)	ESCOAMENTO SUPERFICIAL (MM)	INFILTRAÇÃO (MM)
Asfalto	236,62	168,00	68,62
Paralelepípedo	236,62	51,34	185,28
Gramado	236,62	5,00	231,62
Pavimento permeável	236,62	0,00	236,62

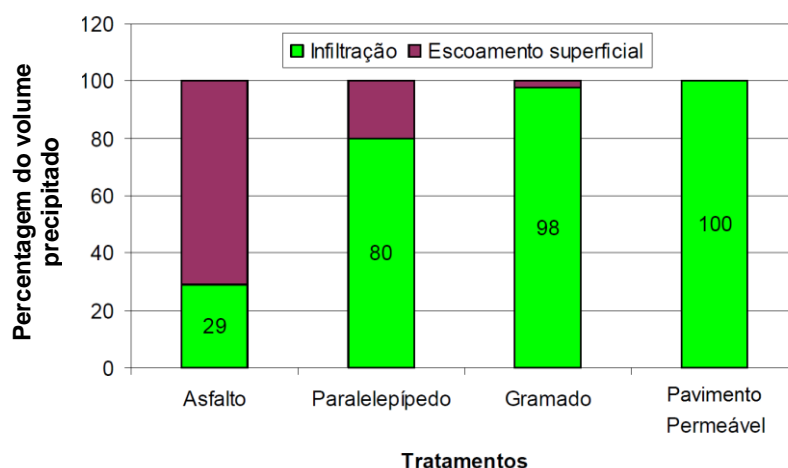


Figura 3.10 – Percentagem do volume de água infiltrada e escoada superficialmente com uma precipitação de 236,62 mm acumulada no período (adaptado de Maus *et al.*, 2007)

Como citado no item 3.2.3 do presente trabalho, a pavimentação permeável também permite associação com técnicas de atuação na infiltração, na detenção ou na retenção, tais como as trincheiras de infiltração, “wetlands” ou pavimentos reservatório, o que lhe confere qualidades adicionais e permite atender melhor as situações que se apresentam aos projetistas.

Uma combinação provém da utilização de encontrar parcelas de grama nos espaços vazados do bloco pré-moldado de concreto, conhecido comercialmente como CONCREGRAMA, pois esses combinam o ganho estrutural do concreto com a manutenção da capacidade de infiltração no solo, como se observa na figura 3.11.



Figura 3.11 – Aplicação de blocos vazados de concreto

Outra forma de interação de técnicas pode ser percebida nas camadas inferiores dos pavimentos, que podem incorporar camadas de colchão drenante com finalidades diversas de infiltração ou simples retardo do pico de chuva (detenção), incorporando, assim, os benefícios de técnicas já discutidas, tais como de plano de infiltração, microrreservatório, trincheira de infiltração, pavimento reservatório e o pavimento permeável propriamente dito.

No entanto, o pavimento permeável exige manutenção periódica para a retirada do sedimento fino retido na superfície, bem como a poda da grama e eliminação de ervas daninhas que brotem nos espaços entre os blocos, que dificultam ou prejudicam a infiltração.

Dentre os ganhos ambientais decorrentes da utilização da pavimentação permeável, podem ser citados:

- redução dos danos ambientais e urbanos decorrentes da impermeabilização dos solos ao permitir a infiltração direta de água para os aquíferos, conforme estudado por OECD (1986), citada por Tucci (2005);
- redução e, em alguns casos, eliminação do escoamento superficial, estudado por Maus *et al.* (2007);
- redução do pico das cheias, apontada por Tucci (2005), que pode possibilitar economia no sistema de drenagem urbano e colaborar na diminuição de ocorrência de enchentes; e

- redução da poluição difusa, por meio da retenção de poluentes automobilísticos e outras substâncias encontradas na superfície do pavimento urbano que, segundo Castro (2007), pode atingir índices de 80 a 90%.

Adicionalmente, a National Ready Mix Concrete Association (NRMCA, 2008) relaciona outras vantagens, sobre o aspecto ambiental, do uso da pavimentação permeável:

- está relacionada à redução do aquecimento das áreas urbanas, as chamadas “ilhas de calor” por absorver menos radiação solar em virtude de sua cor clara e sua estrutura menos densa;
- facilita a sobrevivência da arborização localizada em áreas pavimentadas, por permitir a chegada de ar e água até as raízes das plantas; e
- reduz o risco de aquaplanagem dos veículos nos eventos de chuvas fortes.

Por outro lado, Urbonas e Stahre (1993), citados por Moura (2005), apontam as desvantagens dos dispositivos que permitem maior infiltração e percolação, dentre elas pode-se considerar as abaixo relacionadas sendo mais relevantes:

- o risco de colmatção da superfície do solo pelos sedimentos finos transportados na enxurrada ou pela manutenção inadequada pode ocasionar a impermeabilização do solo com a perda da capacidade de infiltração e a falha do sistema;
- o risco de gerar inundações e prejuízos às populações quando o sistema falhar devido à impermeabilização do solo pela colmatção;
- a necessidade de cooperação popular; e
- a possibilidade de contaminação das águas subterrâneas.

O risco de colmatção do pavimento pode ser incluído no rol de preocupações a serem consideradas. Pois, para o caso do Brasil e de outros países que não possuam um eficiente sistema de limpeza das vias, o transporte de sedimentos e detritos urbanos poderá levar à perda de eficácia do sistema.

O risco de desagregação do pavimento também pode ocorrer em função das fracas ligações entre os grãos da brita e pela falta de manutenção e tratamento das fissuras da placa.

No plano estrutural do pavimento, a capacidade de suporte e as resistências características dos materiais empregados na pavimentação permeável dependem da técnica adotada por

cada pavimento. Assim, é possível encontrar pavimentação em blocos poliédricos de rocha (paralelepípedos) em rodovias e ruas com vários anos de uso e praticamente sem manutenção e suportando grandes cargas. Enquanto que, por outro lado, técnicas que envolvem uso de grama e concretos porosos têm as capacidades de suporte bastante reduzidas e a utilização limitada a calçadas, estacionamentos e vias de pequeno tráfego de veículos.

Sob a ótica do desempenho hidráulico, a vasta gama de opções tecnológicas confere os mais diversos desempenhos a essa classe de soluções, contudo há de se ressaltar que a colmatação e a manutenção são aspectos que impactam fortemente na vida útil da permeabilidade do pavimento.

Como bem lembrado por United States Environmental Protection Agency (EPA, 1999), os dados de custo não devem ser considerados como verdade absoluta uma vez que sofrem fortes variações, conforme as condições do mercado local.

Apesar de os custos estarem defasados, a tabela 3.7, preparada por Araújo *et al.* (2000), é aqui apresentada como base de referência comparativa entre algumas tecnologias de pavimentação. Para a montagem da tabela, foram considerados os custos apontados pela REGISUL de Porto Alegre (RS) no ano de 1999.

Tabela 3.7 – Custo de implantação de pavimentos (Araújo *et al.*, 2000)

TIPO DE PAVIMENTO	CUSTO UNITÁRIO (R\$/m²)
Blocos de concreto	10,10
Paralelepípedo	16,74
Concreto impermeável	13,14
Blocos vazados	18,22
Concreto poroso	19,06

Como informado pelo autor, todos os componentes de material e mão de obra foram retirados de REGISUL (1999). Nos custos de mão de obra, já se incorporam os relativos aos encargos sociais.

Além dos custos de implantação, Araújo *et al.* (2000) recomendam considerar o custo de 1% a 2% anual para manutenção periódica do pavimento.

As boas características drenantes do concreto poroso permitiram aos autores desse trabalho concluir que, mesmo apresentando custo de implementação mais elevado, a técnica teria viabilidade econômico-financeira sobre as demais em função da redução do escoamento superficial, que permitiria a redução ou até a eliminação dos sistemas de drenagem convencional.

Contudo, a mera comparação do custo de implantação do “m²” não deve ser critério único para escolha do material de pavimentação, pois como já abordado por Moura (2005), os riscos de falhas do sistema pela colmatação e impermeabilização dos sistemas permeáveis sugerem que não sejam aplicados coeficientes redutores nos cálculos dos sistemas de drenagem.

Os materiais utilizados nos pavimentos permeáveis podem variar desde um gramado, passando por blocos de rocha, pré-moldados de concreto, britas ou seixos, além de outros vários, a depender da técnica de pavimento utilizada. Se for utilizada a combinação de técnicas compensatórias, as possibilidades são imensas.

3.3 – CONCRETO POROSO

Também chamado de concreto permeável, essa técnica vem sendo estudada na atualidade como uma das soluções promissoras para limitar os efeitos das inundações nas grandes cidades. A técnica busca ser uma solução viável, economicamente, ambientalmente. A técnica tem-se mostrado sustentável no longo prazo e, segundo ACI (2010) já foi incorporada ao rol de boas práticas ambientais sujeitas à verificação LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) nas auditorias de certificação.

A certificação LEED concebida e concedida pela Organização não governamental americana U.S. Green Building Council (USGBC), para avaliar as construções sustentáveis de acordo com os critérios de racionalização de recursos (energia, água, etc.) atendidos por um projeto.

Atualmente, os concretos porosos vêm sendo aplicados junto aos sistemas de infraestrutura viária. Esses são constituídos de aglomerante (concreto de cimento Portland ou concreto betuminoso) e agregado graúdo, sem a presença do agregado miúdo, o que confere alto índice de vazios interconectados à mistura (Moura, 2004).

Entretanto, os grandes vazios interconectados, que identificam o concreto poroso, impedem melhores ligações entre os grãos de agregado e restringem o uso desse concreto em vias de tráfego intenso. De forma adicional, o uso da placa de concreto requer fortes qualidades das camadas inferiores do pavimento e de altos índices de compactação, o que pode provocar a impermeabilização do solo.

Por essas razões, o concreto poroso tem sido aplicado como uma parcela pertencente ao sistema permeável, em que a placa de concreto possui as funções bem definidas:

- conferir qualidade mecânica ao pavimento de forma a permitir seu uso com o mínimo de manutenções;
- distribuir e atenuar a carga do tráfego para o subleito;
- oferecer conforto e segurança ao rolamento de veículos; e
- permitir a infiltração das águas, retirando rapidamente da via e contribuindo para a segurança do motorista; e
- promover filtragem inicial do material transportado pelas chuvas, reduzindo a admissão de folhas ou outros materiais grosseiros que implicam menor necessidade de manutenção dos sistemas públicos de drenagem de águas pluviais.

O colchão drenante, outro componente do sistema, possui funções bem características e complementares ao sistema, a saber:

- promover a dissipação da pressão dos pneus sobre o solo, o que permite requerer menor índice de suporte e menor índice de compactação do subleito, reduzindo a impermeabilização do solo;
- atuar como pavimento reservatório, contribuindo, por meio da retenção das chuvas, com a redução da intensidade do pico no volume de chuva e procedendo à devolução ao sistema público de uma vazão amenizada e defasada no tempo; e
- também promover, como pavimento reservatório, a detenção de parcela da chuva, permitindo a infiltração de parte ou a integralidade desse volume.

Durante o dimensionamento do pavimento, o projetista pode ser obrigado a drenar o volume de água excedente à capacidade de armazenamento do colchão drenante. Nesse caso, ele o faz para o sistema público ou por outro destino, por meio da instalação de tubos dreno, conforme apresentado na figura 3.12.

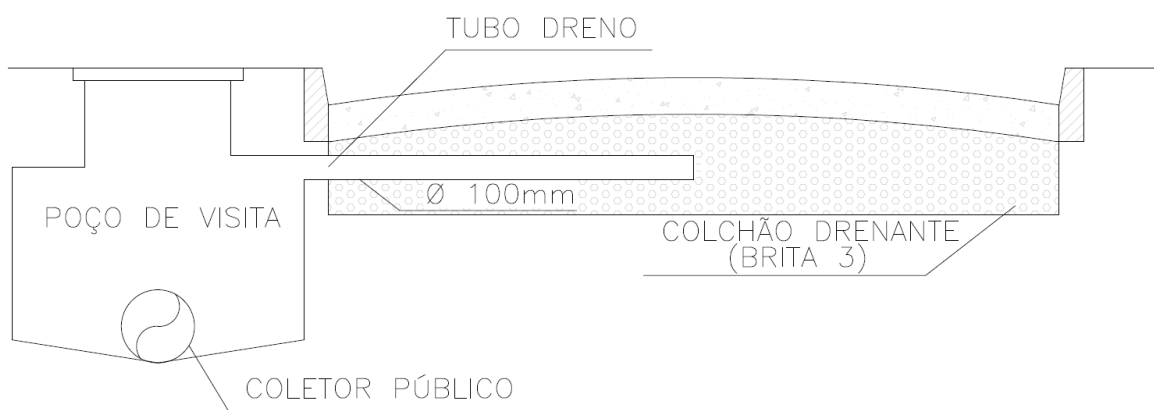


Figura 3.12 – Perfil típico do pavimento permeável com concreto poroso

Em virtude da vastidão do tema, o presente trabalho teve sua abrangência limitada à pavimentação permeável por meio do uso do concreto poroso de cimento Portland. Notadamente, diversos conceitos e resultados poderão ser extrapolados para a pavimentação com concreto betuminoso permeável. Isso porque os concretos porosos provenientes das duas tecnologias têm os mesmos pressupostos referenciais, ou seja, a eliminação da parcela fina de agregados (areia) com prejuízo controlado à perda de qualidades mecânicas. Assim, no traço de ambos os concretos são utilizados apenas os ligantes e os agregados graúdos.

Para Araújo *et al.* (2000), a camada superior dos pavimentos porosos é construída de forma similar aos pavimentos convencionais, mas com a retirada da fração fina da areia na mistura dos agregados do pavimento.

Em outras palavras, a placa de concreto se forma a partir da ligação dos grãos do agregado graúdo apenas nos poucos pontos de contato entre eles e são unidos pelo aglomerante. Compacidade da massa e o fechamento da faixa granulométrica da mistura ficam então comprometidos pela ausência da parcela fina na mistura, o que ocasiona a formação de grandes vazios interconectados que permitem a passagem da água.

Para Scholz e Grabowiecki (2006), o uso do pavimento permeável está limitado a:

- acesso de veículos: calçadas residenciais, rampas de acesso e serviços, acostamentos e acessos de rodovias e faixa de serviços e de utilidade;
- estabilização de taludes e controle de erosão;
- campos de golfe (caminhos de carro e estacionamento);
- acessos de pedestres, bicicletas e trilhas equestres; e
- irrigação de terras.

A EPA (1999) também informa que o desconhecimento da técnica por engenheiros têm causado índice de falhas da pavimentação permeável na ordem de 75%. Essas são atribuídas a deficiências do projeto, baixa permeabilidade do solo, tráfego de veículos muito pesados e recapeamento com material impermeável.

No Brasil, já existem iniciativas para a utilização do concreto poroso, como visto na figura 3.13, que apresenta trecho de calçada em Pirenópolis, GO. Contudo a técnica ainda não está totalmente dominada pelos projetistas.



Figura 3.13 – Calçada em concreto permeável em Pirenópolis, GO

Segundo a Colorado Ready Mixed Concrete Association (CRMCA, 2009), para a caracterização de um bom concreto poroso, deverão ser realizados ensaios de densidade, volume de vazios e rompimento à compressão. Por outro lado, a baixa plasticidade da mistura não permite obter resultados representativos no ensaio de abatimento em tronco de cone.

As pavimentações com blocos de concreto poroso oferecem a vantagem de possibilitar infiltração pelas juntas e através das peças.

O presente estudo trata do uso do concreto poroso por meio de construção de placa monolítica. Contudo, FEBESTRAL (2013) apresenta a possibilidade do uso de blocos pré-moldados em concreto poroso (figura 3.14).



Figura 3.14 – Pavimentação em blocos pré moldados de concreto poroso

O uso dos blocos pré-moldados requer adaptação à técnica, mesclando a estudada no presente estudo com a dos pavimentos em blocos de concreto. Assim, FEBESTRAL (2013) ressalta a necessidade da inserção de camada de areia grossa a média abaixo dos blocos de concreto, como ilustrado na figura 3.15.

Nessa estrutura, o conjunto de camadas superiores deve dispor de capacidade de drenagem compatível com as inferiores, assim como devem ser tomadas providências para impedir a contaminação de camadas com materiais finos das adjacentes, o que pode ser alcançado com o uso de mantas geotêxteis (FEBESTRAL, 2013).

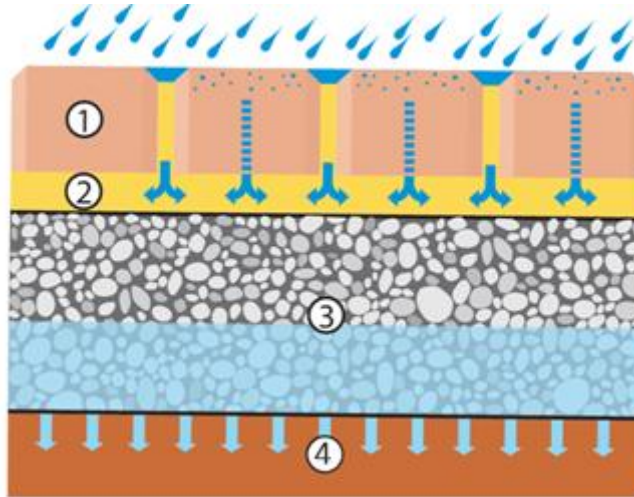


Figura 3.15 – Perfil do pavimento com blocos pré moldados de concreto poroso

- Onde:
- 1 = Bloco de concreto poroso
 - 2 = Base de areia ou pó de brita.
 - 3 = Colchão drenante em brita.
 - 4 = Infiltração no solo

3.3.1 – Desempenho ambiental

Sob o ponto de vista ambiental, os pavimentos de concreto poroso apresentam todas as vantagens e restrições das demais técnicas de pavimentação permeável, relacionadas no parágrafo 3.3.1. do presente estudo.

Em reconhecimento às contribuições do concreto poroso para a sustentabilidade ambiental, o U.S. Green Building Council incorporou, a partir da versão 2.2 do sistema LEED de pontuação, valoração aos empreendimentos que incorporarem essa técnica. As auditorias de certificação observam o potencial ganho ambiental promovido pelo pavimento sob os seguintes aspectos:

- contribuição do concreto poroso para a redução do escoamento superficial, infiltração no local e eliminação de contaminantes;
- contribuição para a redução das ilhas de calor pela menor absorção de calor que os pavimentos escuros;
- contribuição para a oferta de ar e água para as raízes das árvores localizadas nas adjacências do concreto poroso;
- contribuição para a economia de água tratada pelo aproveitamento da água de chuva acumulada;

- reciclagem de água pelo pré-tratamento das águas contaminada, viabilizando o seu reuso; e
- contribuição para o uso de materiais locais, reduzindo a necessidade de transportes que resulta a produção de CO₂.

3.3.2 – Desempenho mecânico

No concreto poroso, quantidades controladas de água e cimento formam um espesso revestimento em torno das partículas agregadas. Assim, criam-se muitos vazios interligados, que deixam a peça altamente permeável. ACI 211.3R, citado por CRMCA (2009), sugere um índice de 15 a 25% de vazios, permanecendo a média em torno de 20%.

O grande volume de vazios é o responsável por densidades na ordem de 1.600 kg/m³ a 2.000 kg/m³, que também depende das propriedades e das proporções dos materiais usados e dos procedimentos de compactação usados em sua aplicação.

(ABNT, 2011), por meio da NBR 8953:2009, enquadra os concretos normais de uso corrente no Brasil no Grupo I da faixa de resistência característica à compressão (F_{ck}), que abrange o intervalo de 20MPa a 50MPa. Por outro lado, os grandes espaços vazios típicos dos concretos permeáveis não permitem que o material alcance resistências mecânicas comparáveis a eles, conforme mostrado por EPA (2009), por essa razão os concretos permeáveis conseguem alcançar valores de F_{ck} variando de 3,5 MPa a 28 MPa.

Em face de o concreto poroso ainda enfrentar dificuldades para alcançar maiores resultados de F_{ck} , ACI (2010) tem recomendado seu uso para o tráfego leve ou pouco intenso.

3.3.3 – Desempenho hidráulico

Ensaio realizados pelo NRMCA (2008) apontam permeabilidades para os concretos porosos de 200L/(m².min) e admite valores maiores em outros experimentos, contudo Moura (2005) extraiu do trabalho de Dierkes *et al.* (2002) a forte relação de dependência entre limpeza do pavimento e sua eficiência permeável, pois, após o uso de máquina de sucção à vácuo, uma área de 1.500m² teve sua permeabilidade reestabelecida para valores

superiores a $9L/(m^2.min)$ depois de ser considerada completamente colmatada com permeabilidade inferior a $0,006L/(m^2.min)$.

Souza (2008), citando Castro (2005), considera um mínimo de 20% de vazios para prevenir a colmatção dos pavimentos permeáveis de base asfáltica, contudo há de se considerarem as diferenças de materiais, visto que, ao longo do tempo o material betuminoso adsorve os grãos de sedimento, reduzindo os vazios interconectados e a permeabilidade do pavimento.

Nascimento e Baptista (2009) alertam que o pavimento permeável exige manutenção periódica para a retirada do sedimento fino retido na superfície, que dificulta a infiltração. Para a recomposição da capacidade drenante, ACI (2010), CRMCA (2009) e outros autores recomendam a utilização combinada de jateamento de alta pressão (figura 3.16) combinado com a varredura a vácuo (figura 3.17). A NRMCA (2008) abre a possibilidade de realização da manutenção apenas com a utilização da bomba de alta pressão quando não houver a disponibilidade de bomba de vácuo.



Figura 3.16 – Bomba de jateamento de alta pressão



Figura 3.17 – Varredura com bomba de vácuo

Todavia a frequência de limpeza não apresenta consenso: enquanto a EPA (1999) sugere quatro lavagens anuais, a CRMCA (2009) informa ser necessária apenas uma operação anual de limpeza.

Fruto da diversidade de possibilidades envolvendo aspectos relativos à confecção do concreto poroso, as configurações dos leitos drenantes, os volumes de sedimentos

transportados pelas chuvas e o uso dos pavimentos, NRMCA (2008) informa ser possível atingir entre 80% e 90% de recuperação da permeabilidade inicial, com a execução de lavagens periódicas.

Para prevenir a perda de permeabilidade pela contaminação nas interfaces de camadas de materiais com granulometrias diferentes, Virgiliis (2009) recomenda a colocação de manta geotêxtil, separando-as. Assim, evita-se a colmatação do colchão drenante por materiais mais finos provenientes do colchão de areia, laterais ou subleito.

3.3.4 – Desempenho econômico

Segundo NRMCA (2008), os custos iniciais de construção do pavimento poroso mais elevados apresentados por Araújo *et al.* (2000) (tabela 3.7 deste trabalho) são compensados pela economia no longo prazo, devido às suas durabilidade e resistência, necessitando menos reparos e com maior vida útil global, que pode atingir de 20 a 40 anos.

3.3.5 – Materiais constitutivos

A eliminação do agregado miúdo aumenta sobremaneira a superfície específica da mistura, provocando o aumento do consumo de água de amassamento e a substancial redução do tempo de pega do concreto. Em vista disso, a NRMCA (2008) informa ser comum o uso de aditivos retardadores e estabilizadores de absorção de água para equilibrar o processo, pois o aumento da quantidade de água no concreto poroso tem ocasionado perda significativa de durabilidade e resistência.

Em vista disso, a NRMCA (2008) sugere fator Água / Cimento situado na faixa entre 0,27 e 0,34 com o uso de aditivos. A quantidade correta de água pode ser percebida quando a massa ganha certo brilho de umidade, sem ficar liquefeita.

Apesar de pouco usual, a NRMCA (2008) admite a possibilidade do uso do agregado miúdo. Por outro lado, impõe-se o respeito à homogeneidade da faixa granulométrica do agregado graúdo, como apresentado na tabela 3.8. O controle da rugosidade do piso é obtido pela variação no diâmetro do agregado, que pode variar de 5mm a 20mm.

Tabela 3.8 – Proporções de componentes do concreto poroso NRMCA (2008)

COMPONENTE	PROPORÇÃO
Cimento	270 a 415 kg/m ³
Agregado	1.190 a 1.480 kg/m ³
Água / cimento	0,27 a 0,34
Agregado / cimento	4 a 4,5:1
Agregado miúdo / graúdo	0 a 1:1

O desempenho mecânico também sofre interferência da compactação, que, segundo a CRMCA (2009), não pode ser excessiva para não fechar os vazios, nem tão parca que não garanta aderência dos agregados e impeça um tráfego suave. Para isso, deve-se lançar mão do uso de rolos compactadores com uma pressão de serviço de 69KPa. Por outro lado, o substrato do colchão deve sofrer o mínimo necessário de compactação para não prejudicar a permeabilidade.

O dimensionamento da espessura e das demais características do subleito, do base de brita graduada (colchão drenante) e do revestimento (concreto poroso), assim como das demais camadas do pavimento, seguem os mesmos critérios adotados para os pavimentos rígidos, constituídos de concreto de cimento Portland.

Senço (1997) relembra que os pavimentos rígidos têm esse nome por serem pouco deformáveis e rompem por tração na flexão. Por essa razão a determinação da espessura das camadas é conseguida a partir da avaliação da resistência à tração do concreto, sendo feitas considerações em relação à fadiga, ao coeficiente de reação do subleito e às cargas aplicadas.

O autor realça que a placa de concreto tem funções mais amplas que a delgada camada de revestimento dos pavimentos flexíveis, pois, pelo “efeito viga” resultante de sua rigidez, distribui as cargas do tráfego por áreas muito maiores, o que lhe permite exercer, simultaneamente, as funções de revestimento e de base.

Por essa razão, enquanto o dimensionamento do pavimento flexível é comandado pela resistência do subleito, no pavimento rígido o fator determinante é a resistência do próprio pavimento (Senço, 1997).

Assim, o pavimento rígido é modelado como uma placa infinita de concreto sujeita a cargas vertical e horizontal do tráfego, que são distribuídas pela placa de concreto e transmitidas à camada de brita de forma homogênea.

No pavimento permeável, a camada de brita exerce a função estrutural de dissipar as tensões recebidas pela placa de concreto e de amenizar o impacto sobre o subleito por meio do espreadimento das pressões (figura 3.18) verificado experimentalmente (Caputo, 1987).

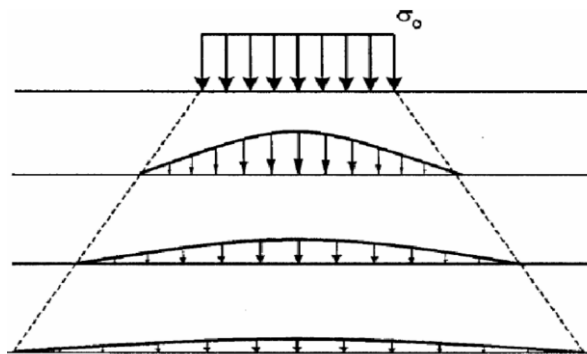


Figura 3.18 – Espreadimento das pressões no solo

Com esse procedimento, a carga que efetivamente atinge o subleito é bastante diminuta, o que autoriza autores, como EPA (1999), a sugerir dispensar a compactação dessa camada.

4 – METODOLOGIA

O presente trabalho foi desenvolvido com o intuito de se estudar, experimentalmente, o desempenho do concreto poroso como compensação viável à impermeabilização do solo decorrente do processo de urbanização.

Foram, então, adotados os seguintes critérios para avaliação: i) construtivo (envolvendo o projeto e o desempenho mecânico do experimento), ii) hidráulico e iii) financeiro do concreto permeável.

O pavimento experimental consistiu de um estacionamento composto de três vagas padrão para veículos leves de 2,5m de largura com 5,0m de comprimento, totalizando 37,5m² de concreto poroso moldado *in loco* com 15cm de espessura. A placa foi moldada sobre colchão drenante de brita graduada simples, nas mesmas dimensões da placa de concreto com espessura de 30 cm. Tubos drenos foram instalados no fundo dessa camada, com tubulação de controle e registros de manobra.

O concreto poroso foi usinado em caminhões betoneira e foram usados os mesmos materiais e traços para as três vagas.

Tendo em vista o objetivo de se avaliar o desempenho do concreto poroso por meio de um critério construtivo, foram inseridas alterações na forma de execução de cada uma das três vagas de estacionamento, como apresentado a seguir.

- Vaga 1 – moldada com o fundo do colchão drenante impermeabilizado com manta asfáltica e simplesmente rolada. Essa configuração teve por objetivo eliminar a possibilidade de contribuição da infiltração das chuvas reais no terreno, tornando possível captar o comportamento da simulação de forma mais fidedigna possível.

- Vaga 2 – moldada sobre solo compactado, compactada com uso de vibrador de placa e rolada. Nessa configuração, foi buscado simular a perda de permeabilidade decorrente da compactação, por vezes impostas ao concreto pela necessidade de ganho de resistência mecânica para atender maior carga de trânsito.

- Vaga 3 – moldada sobre solo compactado e simplesmente rolada. Essa foi simplesmente executada segundo as orientações capturadas de ACI (2010).

O plano inicial previa a construção de uma quarta vaga pavimentada com blocos pré-moldados de concreto poroso. Contudo, a falta desse produto no mercado local implicou sua eliminação do escopo.

4.1 – ESTRATÉGIA METODOLÓGICA

Conforme apresentado na figura 4.1, o desenvolvimento do trabalho se iniciou com o estudo da literatura disponível, quando foram estudados os aspectos diversos da drenagem urbana, das formas de compensar a presença e a ação do homem e das características e desempenho do concreto poroso.

Uma vez definido o tema e conhecendo-se o material, partiu-se para a viabilização do experimento, tanto em sua vertente técnica (projeto do pavimento), como a liberação de área para sua construção e o financiamento da empreitada.

Na etapa seguinte, foram realizados os ensaios de caracterização do solo, a verificação e ajustes ao perfil projetado para o pavimento.

Na etapa seguinte, a execução da obra buscou atender os requisitos de pavimentação estabelecidos. Contudo, a execução em larga escala em caminhão betoneira impôs uma natural perda de precisão, o que será discutido no capítulo 5.

Em paralelo, o trabalho prosseguiria com o desenvolvimento, a construção e a calibração do dispositivo de simulação de chuvas com abrangência de uma vaga de estacionamento, capaz de distribuir, de forma a mais homogênea possível, a precipitação imposta ao pavimento experimental.

Em uma terceira frente de trabalho, foram realizados os levantamentos e as análises de custos de diversos pavimentos. Para tal, foi realizada uma análise comparativa dos custos envolvidos na implantação do pavimento de concreto poroso e de outros três diferentes tipos de materiais de pavimentação, conforme os dados indicados no Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), apurado pela Caixa Econômica Federal para o mês de julho de 2013.

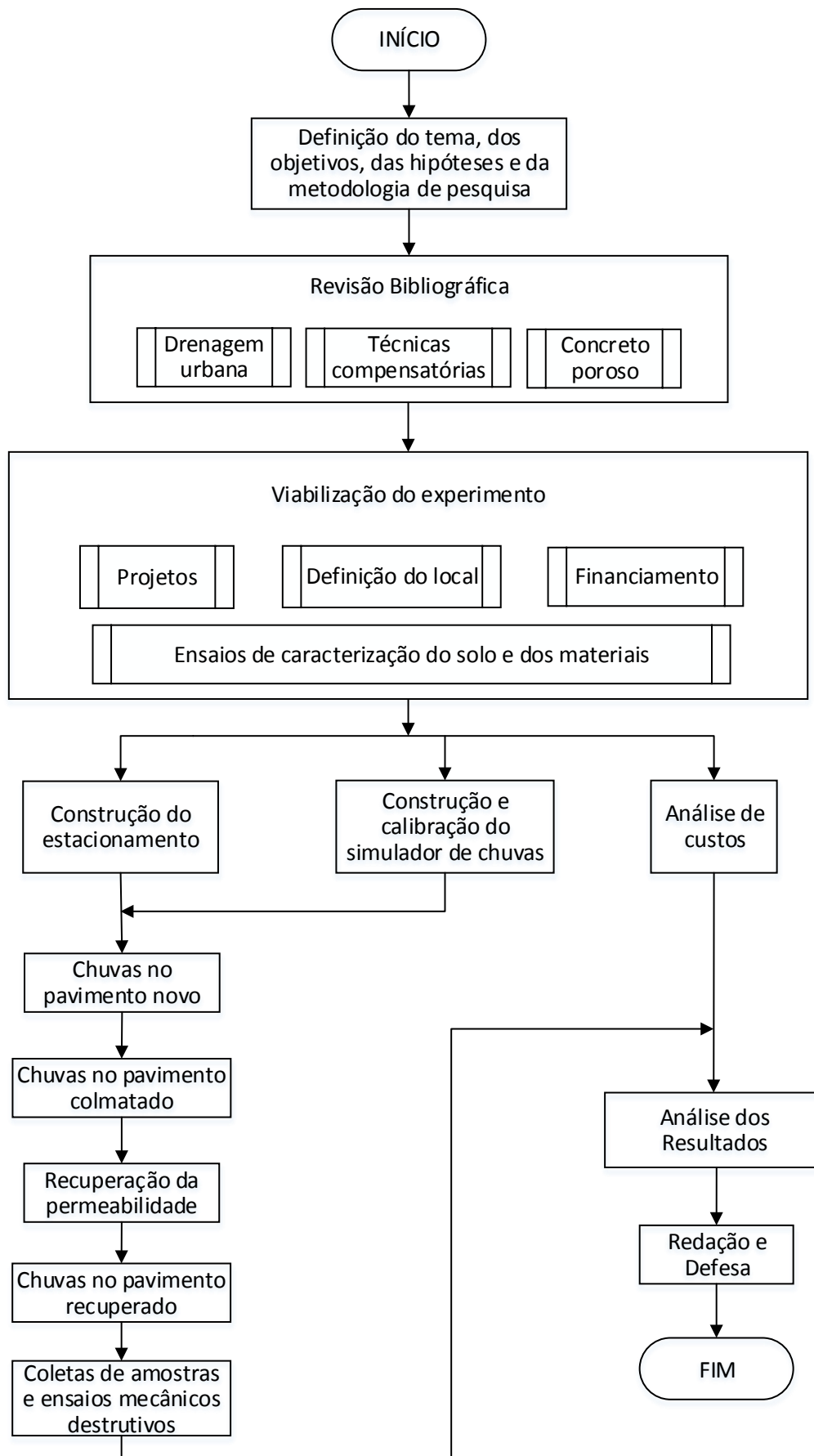


Figura 4.1 – Fluxograma das atividades

As simulações de chuva e o monitoramento hidráulico do pavimento novo se iniciaram em setembro e se estenderam até novembro de 2010, quando se iniciou o período chuvoso de Brasília.

Nesse momento, as simulações foram suspensas e o estacionamento foi liberado para o uso normal de veículos. Durante os sete meses que se seguiram, o estacionamento experimentou captar águas de chuvas reais, sedimentos e poluentes transportados pela bacia de contribuição.

Chegado o período seco, em junho de 2011, as simulações de chuvas e o monitoramento foram reiniciados, tendo os trabalhos prosseguidos até agosto do mesmo ano. Nessa fase, as chuvas foram aplicadas, inicialmente, com o pavimento colmatado e, posteriormente, a superfície foi limpa com bomba de alta pressão e realizada nova rodada de simulações, agora com a permeabilidade recuperada.

Uma vez concluídos os ensaios hidráulicos, iniciaram-se os ensaios destrutivos. Coletaram-se corpos de prova para análises de laboratório, que auxiliaram definir indicadores de desempenho acerca da utilização possibilidade de utilização da Argamassa de Alta resistência (AAR) como aglomerante de pavimentos porosos, quando comparados aos parâmetros apontados pela bibliografia pesquisada.

4.2 – CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL

4.2.1 – Localização

O experimento foi desenvolvido na área de garagens do Quartel General do Exército (QGEEx), localizado em Brasília – DF, como indicado na figura 4.2.

O local do experimento foi escolhido em função de possuir representatividade no tipo de poluição difusa a ser coletada pela estrutura e da possibilidade de transporte de sedimentos que propiciam a aceleração do processo de obsolescência da estrutura pela colmatção dos vazios. Dessa forma, apesar de o fluxo de veículos ser considerado pequeno, nesse local era possível encontrar os seguintes aspectos para o experimento:

- grande volume de águas, proveniente da bacia de contribuição que medem cerca de 1.200m², confirmados por meio de levantamento topográfico, conforme apresentado na figura 4.3;
- proximidade de área de oficinas e garagens, o que leva à possibilidade de derrames de óleos e lubrificantes;
- contribuição de águas provenientes de obras, o que possibilitava transporte de grande volume de sedimentos;
- proximidade de árvores, que favorece a deposição de folhas nas vagas; e
- deficiência nos serviços de limpeza pública, por meio de falta de varrição de sarjetas, que corresponde a fonte extra de poluições diversas (pontas de cigarro, papéis e outros).



Figura 4.2 – Fotografia da área do experimento

Após o reconhecimento da área para a implantação do experimento foi realizado levantamento com fins de apurar eventuais empecilhos ao seu bom funcionamento. Nesse momento, foi verificada a existência de rede de águas pluviais com profundidade superior a um metro, o que não se mostrou empecilho para a implantação do experimento.

Assim, visando atender o objetivo de acelerar a colmatação pela intensificação do acúmulo de impurezas no pavimento, houve a preocupação de se construir o estacionamento em local favorável à coleta de águas da bacia com declividade de 1% para o interior das vagas.

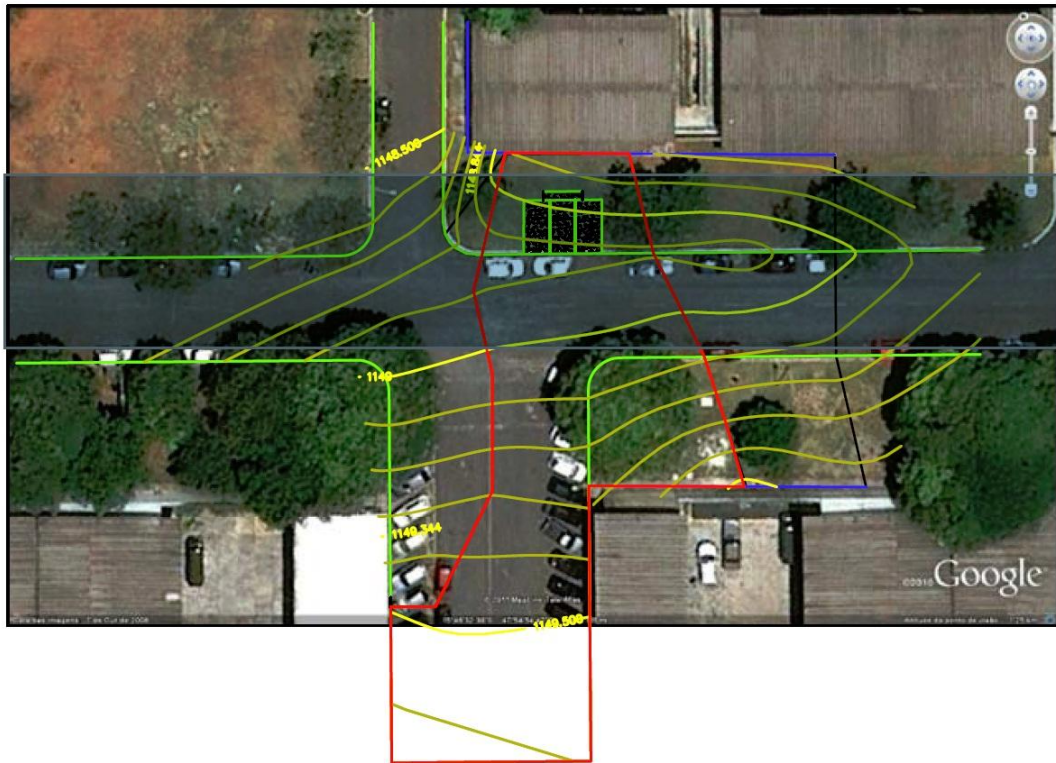


Figura 4.3 – Levantamento topográfico da área de implantação

Apesar de não haver conhecimento sobre o nível de poluentes associados ao processo e em cada uma das parcelas, o levantamento topográfico (figura 4.3) deu indicação dos tipos de poluentes transportados e dos impactos equivalentes nas três vagas.

4.2.2 – Caracterização do solo

Foi realizada uma análise prévia do solo existente no local do estudo com o objetivo de permitir o dimensionamento da estrutura do pavimento e do reservatório. A seguir, foram descritos os levantamentos e os ensaios de laboratório realizados, além dos resultados obtidos.

A campanha de ensaios de solo teve por objetivo bem identificar o ambiente onde iria ocorrer a construção do aparato de ensaio do presente estudo, auxiliando assim, na avaliação dos resultados dos monitoramentos realizados no uso das vagas de estacionamento.

Essa etapa foi realizada pelas empresas REFORSOLO e ENGECAMP, cabendo à primeira empresa a determinação da permeabilidade e da curva granulométrica do solo, enquanto que à segunda coube o restante dos ensaios de solo voltados para a definição do pavimento.

Para isso, foram utilizadas diversas normas de ensaio, cujas principais são a seguir relacionadas:

- **NBR 93603** – Sondagem a trado;
- **NBR 13441** – Rocha e solos;
- **NBR 13969** – Procedimento para estimar a capacidade de percolação do solo;
- **NBR 7181** – Solo – análise granulométrica;
- **NBR 6457** – Amostras de solo – preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização
- **NBR 7182** – Solo – Ensaio de compactação

4.2.2.1 – Ensaios de infiltração

O ensaio de infiltração foi realizado pela empresa REFORSOLO e teve o objetivo de estimar a velocidade e o volume a ser infiltrado no terreno natural decorrente das chuvas aplicadas. A capacidade de infiltração do solo também se faz importante no cálculo do volume do colchão drenante.

Para os ensaios de infiltração *in situ* foi definido um ponto no centro da área do estacionamento.

A capacidade de percolação do solo (K) foi estimada segundo metodologia preconizada no Anexo A da NBR 13.969 (ABNT, 1997), que consiste em realizar um furo de 2m de profundidade no terreno, enchê-lo de água e medir o rebaixamento de nível d'água, medindo a taxa de rebaixamento do espelho d'água em min/m.

No ponto escolhido, foram executados dois ensaios de infiltração, com a execução na faixa de profundidade de 0,0m a 2,0 m. Com esse procedimento, foi buscado verificar uma média ao longo do perfil de solo em estudo, como apresentado na tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Permeabilidade de 0,0m a 2,0m de profundidade

PARÂMETRO	UNIDADE	ENSAIO 1	ENSAIO 2	MÉDIA
Diâmetro do furo (d)	cm	15,00	15,00	15,00
Altura da coluna d'água no furo (h)	cm	200,00	200,00	200,00
Variação de altura (Δh)	cm	78,00	71,00	74,50
Tempo total (s)	s	300,00	300,00	300,00
Permeabilidade (k)	cm/s	$1,34 \times 10^{-3}$	$1,22 \times 10^{-3}$	$1,28 \times 10^{-3}$
Taxa de percolação	min/m	6,40	7,00	6,70
Taxa de aplicação	($m^3/m^2 \cdot dia$)	0,50	0,48	0,49

Para ACI (2010), os solos capazes de serem utilizados para receber os pavimentos permeáveis devem ter a capacidade de percolação mínima de 1,3mm/h ($3,6 \times 10^{-5}$ cm/s). Pelo apresentado na tabela 4.1, os ensaios de permeabilidade realizados em campo evidenciam boas características de infiltração, uma vez que os valores obtidos são da ordem de grandeza de 10^{-3} cm/s ao longo de um perfil de zero a dois metros de profundidade.

Durante a perfuração do poço, não foi detectada a presença de água, o que reduz a possibilidade de contaminação do lençol freático por contaminantes carreados ao solo durante a utilização do pavimento permeável.

4.2.2.2 – Ensaio de granulometria

O ensaio de granulometria teve o objetivo de conhecer a faixa de variação dos diâmetros dos grãos de solo com suas respectivas frequências de incidência.

Para os ensaio de granulometria, procedeu-se segundo o preconizado em norma, iniciando-se por passagem pela série completa de peneiras, desde $\frac{3}{4}$ ” até a de Nr 200. Em etapa seguinte, procedeu-se à sedimentação por 24 horas, utilizando-se o hexametáfosfato de sódio como defloculante. Para as devidas análises granulométricas, foi realizado um ensaio cuja amostra foi coletada na profundidade média de 1m em relação ao nível natural do terreno.

A seguir, a tabela 4.2 e figura 4.4 apresentam de forma tabulada e gráfica, respectivamente os dados constantes do ANEXO A, em que se verifica, pelo traçado da curva granulométrica, predominância de solo argiloso silto-arenoso ou areno-siltoso. Nota-se tratar-se de ser solo fino e bem graduado, não possuindo descontinuidade nas diversas faixas granulométricas.

Tabela 4.2 – Distribuição granulométrica do solo natural

d (mm)	% MATERIAL QUE PASSA	% MATERIAL RETIDO	MATERIAL	% DO MATERIAL
50,80	100,0	0,0	Pedregulho grosso	0,0
38,10	100,0	0,0		
25,40	100,0	0,0		
19,10	100,0	0,0	Pedregulho médio	0,0
9,52	100,0	0,0		
4,76	100,0	0,0	Pedregulho fino	0,0
2,00	100,0	0,0		
1,190	98,6	1,4	Areia grossa	1,4
0,590	96,9	3,4	Areia média	11,4
0,420	92,3	7,7		
0,250	87,2	12,8		
0,149	80,5	19,5	Areia fina	22,0
0,074	65,2	34,8		
0,0539	60,3	39,7	Silte	33,6
0,0397	53,3	46,7		
0,0288	48,6	51,4		
0,0195	46,1	53,9		
0,0140	43,6	56,4		
0,0106	38,8	61,2		
0,0076	36,3	63,7		
0,0054	34,0	66,0		
0,0039	31,6	68,4		
0,0027	31,6	68,8	Argila	31,6
0,0019	31,6	68,4		
0,0011	31,6	68,4		

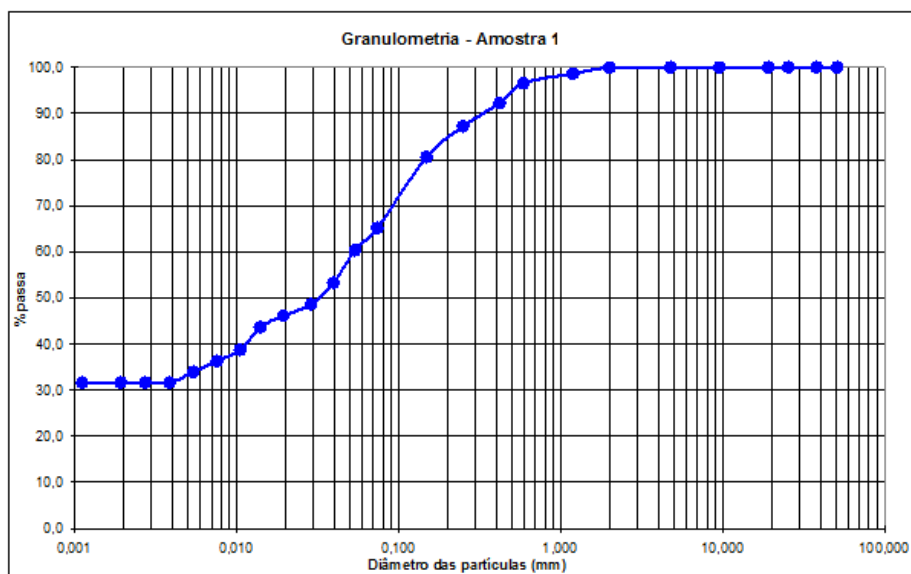


Figura 4.4 – Gráfico da distribuição granulométrica do solo natural

4.2.2.3 – Ensaio de capacidade de suporte

No ensaio de Índice de Suporte Califórnia (ISC), é medida a resistência à penetração de um pistão em uma amostra saturada e compactada de solo. O resultado é apresentado sob a forma de porcentagem, sendo tomada por padrão uma amostra de brita graduada de boa qualidade (Senço, 1997).

O ensaio foi realizado uma única vez e a amostra foi coletada no centro do estacionamento. Como preconiza a NBR9895/1987, os procedimentos foram realizados em cinco diferentes teores de umidade com o objetivo de conhecer o comportamento do solo nas diferentes condições e estimar seu máximo desempenho.

Para a obtenção do resultado do ISC, os laboratoristas da empresa SOLOARTE necessitaram realizar uma sequência de ensaios de caracterização da amostra de solo que dão suporte à metodologia.

- **Massa específica aparente seca máxima** – trata da razão entre a massa de uma amostra compactada e o seu volume após secagem em estufa;
- **Curva de compactação** – é caracterizada por um gráfico traçado a partir de massas específicas das cinco amostras compactadas a diferentes índices de umidade e possui forma de uma parábola.

▪ **Umidade ótima** – ponto de máximo da curva de compactação. Essa indica o ponto ideal de molhagem do solo que irá garantir maior massa específica e, por consequência, maior compactação à camada de solo;

▪ **Índice de plasticidade** – composto pela diferença aritmética entre resultado do limite de liquidez (máxima umidade do solo) e o limite de plasticidade (mínimo de umidade). Esse ensaio indica a capacidade de o solo ser submetido a deformações, sem que haja rompimento ou fissuras.

▪ **Expansão** – indica a capacidade do solo de aumentar de volume, quando em contato com água, e causar deformações no pavimento.

A tabela 4.3 reúne os resultados dos diversos ensaios de solo apresentados no Anexo A do presente estudo.

Tabela 4.3 – Resultados dos ensaios de solo

PARÂMETRO	RESULTADO
Índice de plasticidade	11,4%
Massa específica	1.522kg/m ³
Umidade ótima	23,47%
Expansão	0,01%
ISC do solo	12,7%

Tomando por base os critérios de dimensionamento apresentados por Senço (1997), é possível afirmar que o solo é adequado para suporte de estacionamento, sem a necessidade de substituição de solos ou qualquer outra ação de reforço de subleito.

4.3 – CARACTERIZAÇÃO DO APARATO DE SIMULAÇÃO

Conhecidas a capacidade de suporte e as demais características do solo receptor do pavimento, foram desenvolvidos os demais projetos do estacionamento, conforme apresentado na figura 4.5, que apresenta a planta baixa do estacionamento, com a indicação dos quatro cortes necessários para sua melhor compreensão.

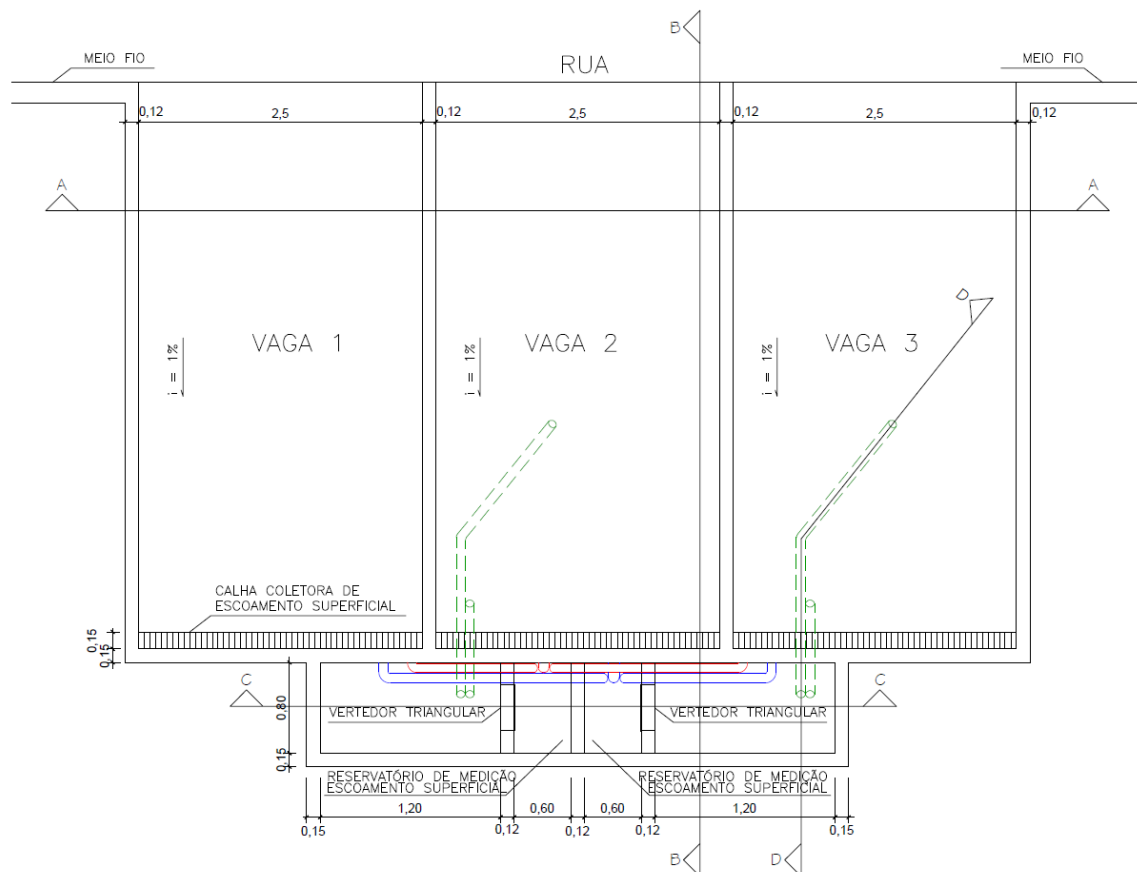


Figura 4.5 – Planta baixa do estacionamento

Para facilitar a compreensão dos sistemas de tubulação presentes no experimento, foi estabelecida uma convenção de cores que será mais bem definida nos próximos itens do presente estudo e seguida nas demais figuras que fizeram menção ao projeto. O código de cores considera:

Vermelho – Sistema de coleta, condução e manobra do volume captado nas valetas protegidas por grelhas metálicas, decorrentes do escoamento superficial.

Azul – Sistema de coleta, condução e manobra do escoamento subsuperficial, que corresponde ao volume retido no colchão de brita e coletado pelo tubo dreno.

Verde – Sistema de tubos piezométricos que tinham o objetivo de acompanhar a altura da coluna d'água dentro do colchão drenante durante os eventos chuvosos.

4.3.1 – Descrição do perfil de pavimento

O perfil do pavimento seguiu orientações contidas em ACI (2010) e, conforme corte AA (figura 4.6), indicado na figura 4.5, consistiu em uma camada de 15cm de concreto poroso, seguida por colchão drenante de 30 cm de brita 3.

No fundo da camada de brita, a vaga 1 foi impermeabilizada com o uso de manta betuminosa com a finalidade de obtenção de um sistema fechado. Enquanto que, nas vagas 2 e 3, foi instalada uma camada de manta geotêxtil com a finalidade de preservar os vazios ao longo do tempo.

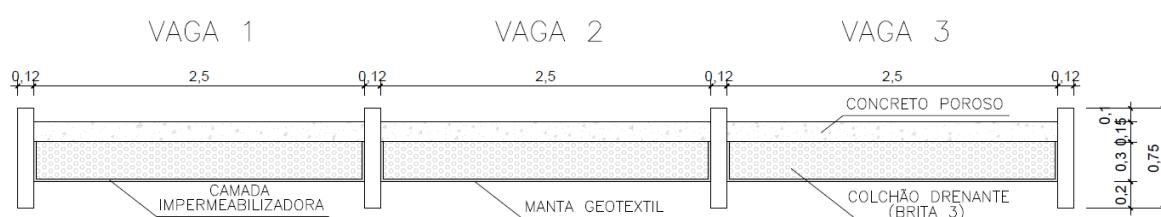


Figura 4.6 – Corte AA - Perfil transversal do pavimento

Normalmente, o dreno é instalado na metade superior do colchão drenante com a finalidade de utilizar a capacidade de infiltração do solo para promover redução dos volumes escoados e a conseqüente economia nos sistemas públicos de drenagem de águas pluviais (figura 3.13).

Entretanto, a existência de volumes remanescentes de chuvas anteriores no reservatório de brita introduziria incertezas nos resultados coletados. Para a observação do comportamento dos eventos chuvosos de forma isolada, foi necessário obter garantia de eliminação de toda a água, o que explica a tubulação drenante ter sido instalada no fundo da camada de brita, como se verifica na figura 4.7, que corresponde ao corte BB, indicado na figura 4.5, e as cores dos tubos seguem convenção adotada no item 4.3 do presente trabalho.

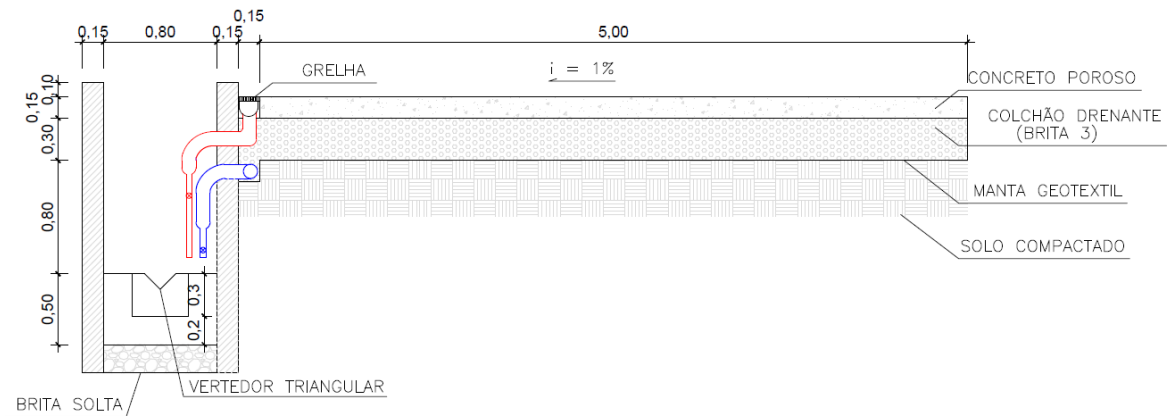


Figura 4.7 – Corte BB – Perfil longitudinal do aparato de ensaio

4.3.2 – Descrição do aparato de monitoramento

Retomando a situação geral do estacionamento (figura 4.5), é possível observar a indicação do corte CC, detalhado na figura 4.8, onde foi adotada a mesma convenção de cores adotada no item 4.3 do presente trabalho.

Na vista frontal do corte CC (figura 4.8), é possível visualizar o fosso de monitoramento, que foi construído para permitir a instrumentação do aparato de ensaio e, também para facilitar a compreensão da disposição dos três sistemas de coleta e medição dos volumes de água. Esses sistemas foram inspirados na metodologia de trabalho utilizada por Rivera (2003).

A tubulação em vermelho compõe o sistema de tubos mais próximos à superfície e conduzem as águas não infiltradas no pavimento para o reservatório esquerdo. Esse tem por objetivo permitir a quantificação das chuvas coletoras das calhas de escoamento superficial. O sistema capta o escoamento superficial, que chega à grelha e é coletada pelo fundo da valeta, como mostrado na figura 4.7. As águas então são conduzidas por tubos de Cloreto de Polivinila (PVC) de 40mm até o reservatório de medição do escoamento superficial.

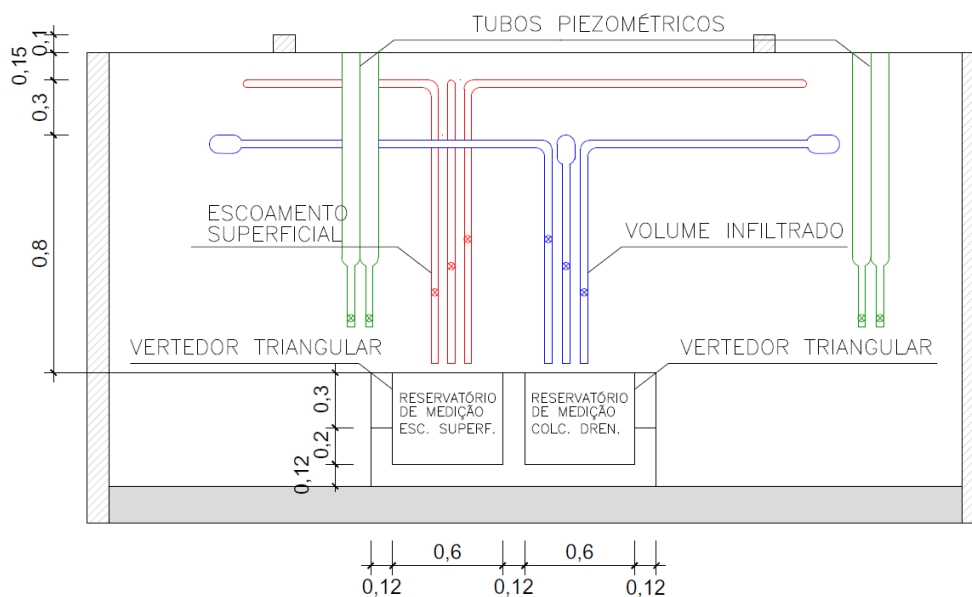


Figura 4.8 – Corte CC - disposição dos sistemas de controle do aparato de ensaio

Durante a simulação das chuvas, esse reservatório era cheio até a cota do vértice inferior do vertedor e o escoamento afluyente promovia o transbordamento por meio de vertedor de parede fina triangular de 90° (ver figura 4.7). A elevação do nível era então registrada por linígrafo registrador eletrônico tipo “data logger”, com sensor de nível do tipo boia e contrapeso da marca THALIMEDES que, por medição indireta, permitia conhecer a vazão a cada 60s de intervalo.

Em virtude da concepção do aparato que previa simulações em uma vaga por vez, foi necessário eliminar a possibilidade de interferência de chuvas, escoamentos residuais ou outras descargas acidentais que viessem a ocorrer nas outras duas vagas ociosas. Para tal, foram instalados registros de manobra nos tubos coletores de cada uma das três vagas com o objetivo de isolá-las hidraulicamente uma a uma.

O volume extravasado dos reservatórios de medição era infiltrado no terreno. Para facilitar a drenagem, evitando o alagamento do poço de monitoramento, foi construído um poço de infiltração de 3m de profundidade e diâmetro de 30cm.

O segundo sistema de tubos, indicados em azul nas figuras 4.5 e 4.8, responsável pela destinação das águas que alcançaram o colchão drenante, porém não lograram infiltrar no solo. Localizado ao fundo do colchão drenante, 30cm abaixo do sistema vermelho,

conduzia as águas coletadas para o reservatório de medição do colchão drenante (à direita na figura 4.8).

A coleta se iniciava por meio de tubos corrugados perfurados, de PVC rígido de 100mm para drenagem da água, dispostos ao longo de toda a face jusante das vagas, na projeção das calhas de coleta do escoamento superficial, porém 30cm mais profundo.

Após a captação do infiltrado no colchão drenante, o diâmetro da tubulação foi reduzido para 40mm. A partir desse ponto, o sistema apresentou as mesmas características do sistema de escoamento superficial, tanto na condução, medição e drenagem.

Por fim, o terceiro sistema, mostrado por meio do corte DD (figura 4.9), consistiu de tubos piezométricos, inteiriços e abertos apenas em suas extremidades, ligados ao fundo do colchão drenante. Esses foram instalados com duas finalidades: indicar a altura da coluna d'água dentro do colchão drenante durante as chuvas, e, uma vez fechado o registro do sistema de coleta do infiltrado (sistema azul), acompanhar a infiltração no solo.

Para o acompanhamento, também foram utilizados outros dois linígrafos similares aos utilizados nos outros dois sistemas, perfazendo um total de quatro.

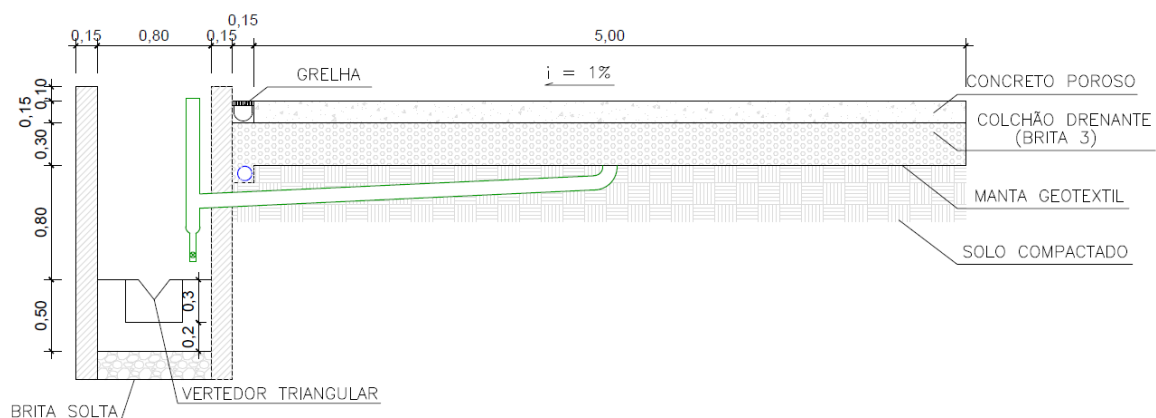


Figura 4.9 – Corte DD - disposição do controle do aparato de ensaio

4.3.3 – Materiais empregados

Durante a construção do estacionamento, calibragem do simulador, simulações de chuva e lavagem do piso, foi utilizada água tratada fornecida pela Companhia de Saneamento

Ambiental do Distrito Federal (CAESB) captada em um ponto de fornecimento próximo ao dispositivo.

A construção do pavimento exigiu a utilização de duas britas com características e desempenhos bastante diferentes.

No colchão drenante, a necessidade de grandes volumes de vazios exigiu uma granulometria bastante uniforme e de grandes dimensões, porém não tão grande a ponto de permitir a passagem do concreto, quando do seu lançamento. Assim, foi utilizada a brita 3 com diâmetro característico de 50 mm, cuja distribuição é apresentada na tabela 4.4 e figura 4.10 que foram obtidas a partir do relatório de ensaio N° 13278/11 (Anexo B).

Tabela 4.4 – Distribuição granulométrica acumulada do colchão drenante

ABERTURA DA PENEIRA (mm)	PORCENTAGEM RETIDA ACUMULADA MÉDIA (%)		
	Amostra 1	Amostra 2	Média
76	0,0	0,0	0,0
64	0,0	0,0	0,0
50	0,0	0,0	0,0
38	6,0	7,9	7,0
32	6,0	7,9	7,0
25	72,5	77,0	75,0
19	95,9	97,5	97,0
12,50	99,80	100,0	100,0
9,50	99,80	100,0	100,0
6,30	99,80	100,0	100,0
4,80	99,80	100,0	100,0
2,40	99,80	100,0	100,0
1,20	99,80	100,0	100,0
0,60	99,80	100,0	100,0
0,30	99,80	100,0	100,0
0,15	99,80	100,0	100,0
FUNDO	100,00	100,0	100,0
TOTAL			100

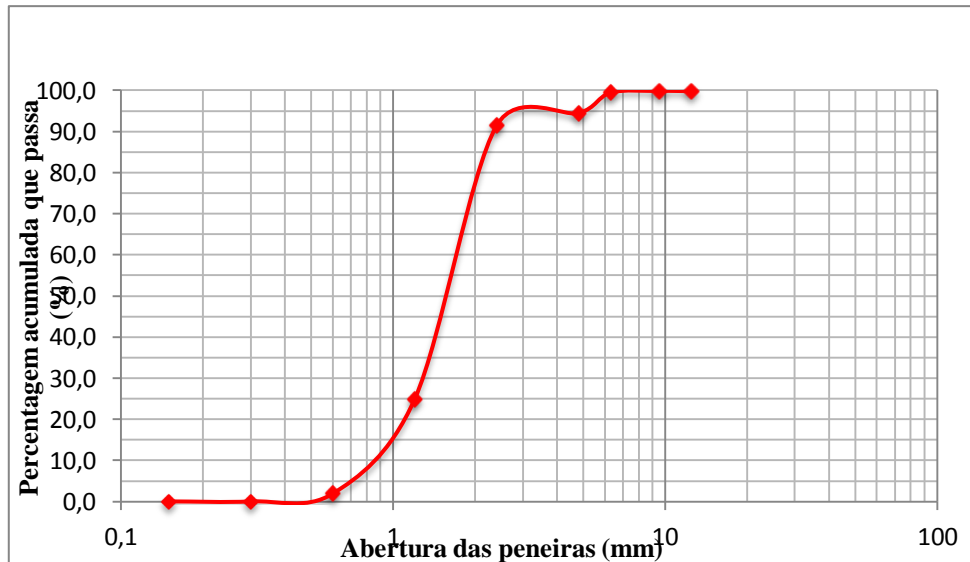


Figura 4.10 – Curva granulométrica do colchão drenante

Tomando por base os dados constantes no mesmo Anexo B, observa-se que o material empregado no colchão drenante apresentou massa específica de 2,70 g/cm³ e massa específica aparente igual a 1,28 g/cm³, o que implica um índice de vazios da ordem de 52,6%.

De posse dos dados de dimensões do colchão drenante, do índice de vazios da brita 3 e da equação 4.1 foi possível encontrar o volume de 1,97m³ de reservação no colchão drenante de cada vaga construída, caso não houvesse o dreno.

$$V_{Res} = S \cdot h \cdot v \quad (4.1)$$

- Onde: V_{Res} = volume do reservatório (m³),
 S = superfície do reservatório (m²), representa a área ocupada pelo reservatório de brita, nesse caso coincide com a vaga de estacionamento de 12,5m².
 h = profundidade do reservatório (m), é a altura do reservatório de brita, 0,30m.
 v = índice de vazios (%), é a razão entre os espaços não ocupados pela brita e o volume total da amostra, 52,6%.

Por outro lado, no traço do concreto, os grãos muito grandes trazem desconforto à rolagem e dificultam a ligação entre os grãos. Por isso, foi utilizado um material intermediário entre o pedrisco e a brita nº0, com diâmetro característico de 9,5 mm, cuja distribuição não era

tão uniforme quanto à brita 3, mas com importante concentração granulométrica, como se observa na tabela 4.5 e figura 4.11 que foram obtidas a partir do relatório de ensaio N° 13718/11 (Anexo B).

Tabela 4.5 – Distribuição granulométrica acumulada da brita do concreto

ABERTURA DA PENEIRA (mm)	PORCENTAGEM RETIDA ACUMULADA MÉDIA (%)		
	Amostra 1	Amostra 2	Média
76	0,0	0,0	0,0
64	0,0	0,0	0,0
50	0,0	0,0	0,0
38	0,0	0,0	0,0
32	0,0	0,0	0,0
25	0,0	0,0	0,0
19	0,0	0,0	0,0
12,50	0,0	0,0	0,0
9,50	2,30	2,40	2,00
6,30	40,90	39,80	40,00
4,80	59,70	59,30	59,00
2,40	96,30	96,10	96,00
1,20	99,10	99,00	99,00
0,60	99,20	99,10	99,20
0,30	99,20	99,10	99,20
0,15	99,20	99,10	99,20
FUNDO	100,00	100,00	100,00
TOTAL			100

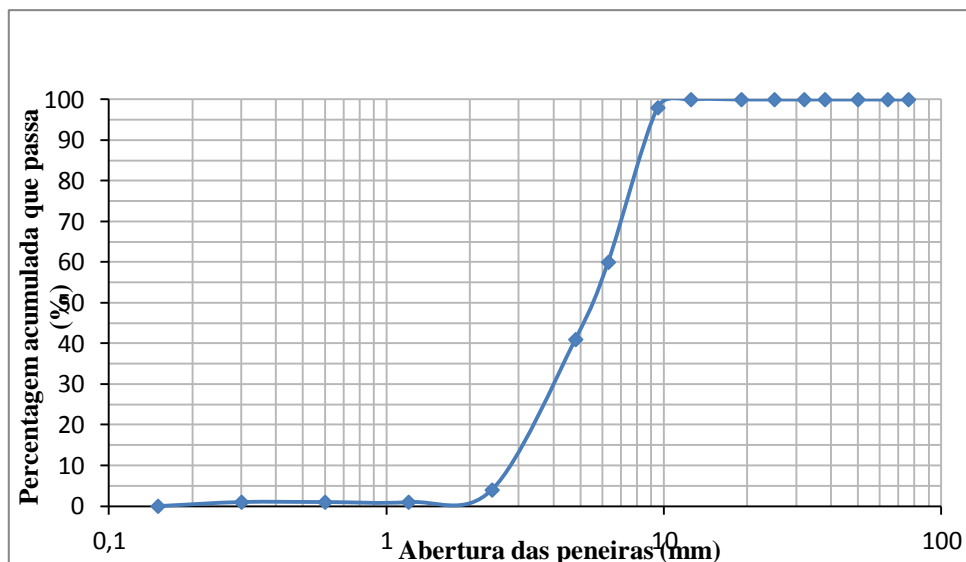


Figura 4.11 – Curva granulométrica brita do concreto

Analisando o relatório do ensaio citado, é possível constatar a presença de 1,2% de material pulverulento, o que foi tolerado em função do relatado no item 4.1 acerca da busca do retrato das dificuldades na execução e as consequências nos resultados de um pavimento real em escala real.

Tendo em vista que a pesquisa objetivou estudar uma nova tecnologia, optou-se por realizar ensaios com produtos pré-preparados, como as argamassas prontas, compostas por uma mistura do cimento Portland e de aditivos melhoradores de desempenho.

Optou-se pela adoção da Argamassa de Alta Resistência (AAR), fabricada pela TEXSA Brasileira Ltda, que foi escolhida em virtude de ser um produto pronto e disponível comercialmente no mercado brasileiro destinado a produzir um concreto poroso, com boa adesividade à brita, mesmo na ausência do aglomerado fino.

Mesmo não se tendo acesso à composição do produto, o comportamento apresentado pela AAR leva a inferir que o produto traga, em sua formulação, um superplastificante ao cimento Portland comum.

A AAR se apresenta sob a forma de um pó fino, semelhante em fineza, cor e desempenho a um cimento Portland. É vendida em sacos de 25kg sob encomenda ao fabricante e apresenta as seguintes características constantes na tabela 4.6:

Tabela 4.6 – Características da AAR

PARÂMETRO	RESULTADO
Peso específico aparente	1.850 kg/m ³
Peso específico aparente seco	2.000 kg/m ³
Endurecimento	2 horas, depois de aplicada.
Resistência à compressão (2 horas)	5 MPa
Resistência à compressão (28 dias)	25 Mpa

As proporções sugeridas pelo fabricante da AAR estão coerentes com os indicados pela CRMCA (2009). Assim o traço executado atendeu a proporção de 5:1 (5 kg de brita 0 para 1 kg de aglomerante) e fator água cimento de 0,25, segundo recomendação do fabricante.

4.3.4 – Implantação do dispositivo experimental

4.3.4.1 – Parcela experimental

Em paralelo à implantação da obra, foi preparada a concretagem de uma parcela experimental de teste com 1m² e com 10 cm de espessura, antes da execução das vagas.

Essa etapa, com fim exclusivamente de teste permitiu a equipe de obra travar um contato inicial com a técnica, visando evitar problemas na execução do estacionamento.

Para a execução da referida parcela teste, foram adotados os rigores da técnica de forma a garantir o fiel cumprimento do traço estabelecido pelo fabricante. Assim, foi providenciada a lavagem (com a finalidade de eliminar os finos aderidos à superfície dos grãos) e pesagem da brita, também foram pesados os demais componentes do traço (água e AAR).

Após a montagem da forma, foi colocado um colchão de brita 2, com o fim exclusivo de separar o concreto do solo, conforme apresentado na figura 4.12.

Após a pesagem e a mistura em betoneira da brita e da AAR, obteve-se a mistura do material de granulometria bastante uniforme como visto na figura 4.13.

Após a betonagem, o material foi rapidamente espalhado com uso de um rodo de madeira e alisado com espátula metálica (figura 4.14).

Decorridos sete dias de cura por molhagem, foram retiradas as formas e pôde se observar o perfil do concreto e os vazios interconectados que são responsáveis pela permeabilidade (figura 4.15).



Figura 4.12 – Parcela experimental de teste com 1m²



Figura 4.13 – Mistura brita+AAR



Figura 4.14 – Acabamento da superfície



Figura 4.15 – Concreto desformado

4.3.4.2 – Construção do estacionamento

O projeto e a construção do pavimento foram balizados pelos parâmetros discutidos no item 3.3 do presente estudo e pelas orientações contidas, principalmente, em dois

normativos: ACI (2010) e NRMCA (2008).

Os trabalhos se iniciaram pela limpeza do terreno, que foi bastante facilitada por não haver a necessidade da retirada de entulhos ou vegetações de maior porte, limitando-se à retirada da uma camada superficial composta de grama.

Na etapa de escavação, foi utilizada uma retroescavadeira, o que permitiu atingir profundidade suficiente para vencer a cota requerida para o lançamento de todas as camadas de pavimentação.

Em face da boa capacidade de suporte do solo apontada nos ensaios discutidos no item 4.2.2.3 do presente trabalho, não foi necessário substituir ou reforçar o subleito. Assim, por precaução, foi realizada rápida compactação, não controlada, no subleito das vagas de estacionamento com o uso de placa vibratória, como visto na figura 4.16. Essa operação teve por objetivo intertravar os grãos do solo e minimizar os riscos de recalques no terreno que poderiam trazer prejuízo para o experimento.

Visando segregar hidraulicamente cada uma das células de ensaio e assim garantir a estanqueidade das vagas, evitando interferências externas, foi construída uma estrutura de concreto armado, contornando cada um dos três ambientes de estudo e o fosso de monitoramento.

Com o objetivo de isolar o sistema e eliminar as perdas de água pelas laterais e pelo fundo da vaga 1, foi feita impermeabilização com manta asfáltica de 5mm em três fases conforme a boa técnica sugere: a primeira tratou do lançamento de uma fina camada de argamassa com o objetivo de evitar o contato da manta diretamente com o solo; em seguida, houve o espalhamento da emulsão asfáltica com o lançamento a quente da manta (figura 4.17); e, por fim, o revestimento com a camada de proteção mecânica. (figura 4.18).



Figura 4.16 – Compactação



Figura 4.17 – Impermeabilização

Em seguida, visando evitar o contato direto da brita com o solo, que poderia causar a interpenetração das camadas com o consequente preenchimento dos vazios e a perda da capacidade de armazenagem e de infiltração do colchão drenante, foi colocada uma manta geotêxtil não tecido no fundo das vagas 2 e 3 (figura 4.19).



Figura 4.18 – Proteção mecânica



Figura 4.19 – Manta geotêxtil

Após a preparação do fundo das vagas, foram instalados em cada uma delas os tubos dreno de PVC corrugados rígidos para drenagem com 100mm, responsáveis por coletar as águas a serem quantificadas.

A próxima atividade foi a disposição e espalhamento da brita 3, com cuidado para evitar danos à impermeabilização da vaga 1 e à manta das vagas 2 e 3 (figura 4.20). Após o espalhamento, foi feita uma rápida compactação sem controle, com o objetivo único de promover o travamento das peças de brita. Essa camada foi definida com espessura de

30cm em face de conferir um bom volume de armazenamento e comportar parte do escoado pela bacia de contribuição (figura 4.21).

Antes da concretagem, foram construídas calhas para coleta da água escoada superficialmente que não conseguisse infiltrar.

Vencidas todas as etapas anteriores, o curtíssimo tempo de pega, cerca de 15min, e o volume de concreto a ser lançado, mostraram-se como obstáculos desafiadores. Essa situação obrigou o lançamento do concreto em três bateladas de 2m³, de forma que ocorresse o preenchimento de uma vaga por vez.



Figura 4.20 – Lançamento da brita



Figura 4.21 – Acomodação da brita

O fornecimento do caminhão betoneira ocorria apenas com a brita cubada pelo fornecedor, enquanto a adição da AAR ocorria manualmente no próprio local da obra, e da água adicionada a partir do reservatório do caminhão. Com esse procedimento, o caminhão retornava à empresa por duas outras vezes com a finalidade de carregar mais 2m³ de brita e completar o reservatório de água.

Na última etapa de construção, foi feito o revestimento com concreto poroso de 15cm de espessura, conforme apresentado na figura 4.4. O rápido espalhamento foi agilizado com a utilização de rodos de madeira (figura 4.22). O acabamento do pavimento foi conseguido por meio da passagem de um rolo ainda com o concreto fresco (figura 4.23), conforme sugere ACI (2010).



Figura 4.22 – Lançamento e espalhamento do concreto



Figura 4.23 – Rolagem do concreto

Durante a preparação e projeto do pavimento se buscou controlar o máximo de condicionantes ao projeto com vistas a minimizar as possibilidades de insucesso na execução do pavimento.

Contudo, neste trabalho, buscou-se reproduzir as condições reais de execução de uma obra em escala maior, em que, naturalmente, ocorre a interveniência de fatores não controlados e incertezas ao processo, que se mostraram fontes de imprecisão. Na sequência, são apresentados três fatores apontados como possíveis fontes de falha na execução da obra:

- as britas usadas no colchão drenante e no traço do concreto não foram peneiradas ou lavadas o que permitiu a admissão de finos no traço, como visto nas tabelas 4.4 e 4.5:
- da mesma forma o volume da brita zero, usada no traço do concreto, foi aferido pela empresa concreteira, impondo ao experimento as deficiências de precisão inerentes à imprecisão no volume de brita fornecido aferição do equipamento daquela empresa.
- a dosagem da água foi baseada no hidrômetro instalado no caminhão betoneira, o que não permite afirmar categoricamente acerca da exatidão do volume adicionado na mistura.

4.3.4.3 – Dispositivos de medição da vazão

Na busca de garantir a exatidão da área drenada em cada vaga e limitar o efeito borda, foram construídas barreiras físicas nas laterais e na face de montante das vagas. Com vistas a limitar a chuva ao preciso comprimento da vaga e a evitar dificuldades à limpeza da grelha metálica de da calha de coleta, foi instalado, na face jusante da vaga, um dispositivo

removível que impedia a admissão da chuva diretamente pelas grelhas e conduzia essas águas para fora do experimento (figura 4.24).

Na sequência, a figura 4.25 ilustra o arranjo da tubulação e registros de manobra, que tinham por objetivo isolar hidraulicamente cada uma das vagas, instalados no fosso de monitoramento.



Figura 4.24 – Coletor do escoamento superficial



Figura 4.25 – Tubulação de monitoramento

O sistema de tubos descrito no item 4.3.2, ilustrado pelas figura 4.8 e 4.25, permitiram que os volumes d'água fossem conduzidos pelos dois sistemas de tubulação a dois reservatórios independentes

Enquanto na figura 4.26, observa-se o detalhe do vertedor triangular instalado nos dois reservatórios de medição. Por fim, a figura 4.27 apresenta um dos quatro linígrafos utilizados no monitoramento das chuvas.



Figura 4.26 – Vertedor triangular



Figura 4.27 – Linígrafo

A determinação da vazão por meio de vertedores triangulares, se baseia no princípio da relação cota-vazão, que permite transformar diretamente o nível da água em vazão. Para a medição de vazões inferiores a 30L/s e cargas entre 0,06 e 0,50m, o mais indicado por Porto (2006) é o vertedor triangular de parede fina com abertura de 90° (figura 4.28).

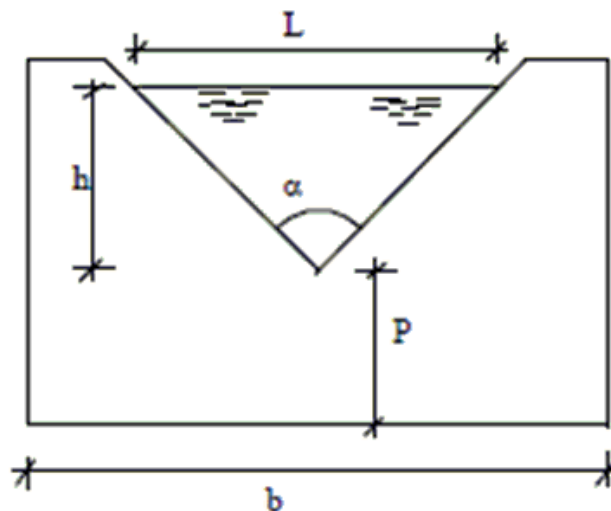


Figura 4.28 – Geometria do vertedor triangular

Antes do início de cada evento chuvoso, os reservatórios tiveram seus espelhos d'água nivelados com o vértice do vertedor, de forma que qualquer vazão afluente implicava escoamento pelo medidor de vazão e seria captada pelo linígrafo.

As variações de cota dos reservatórios foram então convertidas em vazão conforme a equação de Thompson (equação 4.2), que descreve a equação do vertedor triangular de 90°.

$$Q = 1,4 \cdot h^{2,5} \quad (4.2)$$

Onde: Q = Vazão escoada pelo vertedor (m³/s).
h = altura da superfície até o vértice do triângulo (m), limitada a:
0,05m < h < 0,38m;
P > 3h; e
b > 6h

4.3.5 – Simulador de chuva

Uma vez construído o estacionamento, fez-se necessária, na sequência, a instalação de um sistema capaz de prover chuvas controladas na duração e intensidade. Tendo em vista as grandes dimensões da vaga de estacionamento, não foi possível utilizar os modelos de simulador de chuva estudados por Sousa Júnior (2011). Desse modo optou-se por proceder ao projeto e à construção de um simulador de chuvas, com atuação em área de 12,5m², especificamente para esta pesquisa, o simulador consistiu dos seguintes itens:

- caixa d'água de 500 litros em fibra de vidro, que teve a função de garantir constância na pressão de entrada e o fornecimento de água, independentemente da disponibilidade da rede pública;
- uma bomba centrífuga de ¼ CV, com a finalidade de garantir a necessária constância da vazão;
- um registro de manobra para o controle das chuvas, que foi obtido por medida indireta de pressão da saída da bomba, conforme descrito no Anexo C;
- um manômetro TERMOTEMP, com pressão máxima de trabalho de 10mca, que permitiu a aferição, por leitura direta, das intensidades das chuvas produzidas nos diversos eventos.
- uma mangueira flexível, responsável por conduzir a água bombeada até os tubos de PVC que foram responsáveis pela distribuição da água até os microaspersores. Foram instalados horizontalmente a uma distância média de 0,50m do piso;
- microaspersores fabricados pela Agrojet, utilizados de dois modelos (laranja e amarelo) e combinados para melhor atender as necessidades de vazão e dispersão, que foram dispostos ao longo dos tubos de distribuição; e
- cobertura plástica sobre estrutura de madeira e escoras metálicas, em face das pequenas dimensões das gotas produzidas pelos microaspersores, essa cobertura tinha a

finalidade de eliminar a influência do vento, que dispersava a chuva, deslocando-a para fora da área ensaiada, o que impactava diretamente no balanço das águas (precipitado X coletado).

Com o objetivo de garantir a fiel correlação entre a chuva lançada no experimento e os volumes esperados, fez-se necessária a calibração do simulador antes de se proceder aos ensaios. Para tal, foram seguidos os passos apresentados no Anexo C, o que permitiu formular a tabela 4.7, que apresenta os volumes coletados de água em cada um dos 72 recipientes distribuídos ao longo da área experimental.

Como era esperado, para cada vazão aplicada ao sistema, obtinha-se uma distribuição diferente das chuvas. Assim, a tabela a seguir apresenta o resultado de uma chuva curta com uma pressão manométrica de 7,6mca, que forneceu uma intensidade média de chuvas no valor de 2,19mm/min.

Tabela 4.7 – Distribuição de chuva curta a 7,6mca

FILEIRAS	INTENSIDADES (mm/min)					
	1	2	3	4	5	6
1	0,208	0,457	0,634	0,521	0,045	0,045
2	1,263	2,227	4,889	2,816	2,277	1,317
3	0,783	2,295	2,349	3,757	3,766	0,330
4	2,526	2,884	4,776	4,432	2,200	0,326
5	1,616	2,979	3,223	2,517	3,418	0,733
6	1,557	1,693	2,983	2,259	3,785	0,702
7	3,024	1,209	1,797	2,268	4,210	0,303
8	1,978	1,689	3,345	1,738	6,732	1,607
9	1,295	3,712	2,019	2,064	5,324	3,015
10	0,978	4,373	3,092	2,042	3,364	6,460
11	2,164	2,024	2,309	1,870	4,513	1,136
12	0,158	0,344	0,249	0,235	0,294	0,181

Na sequência, a figura 4.29, criada por meio da ferramenta computacional SURFER 8, apresenta de forma gráfica a distribuição da chuva tabulada na tabela 4.7.

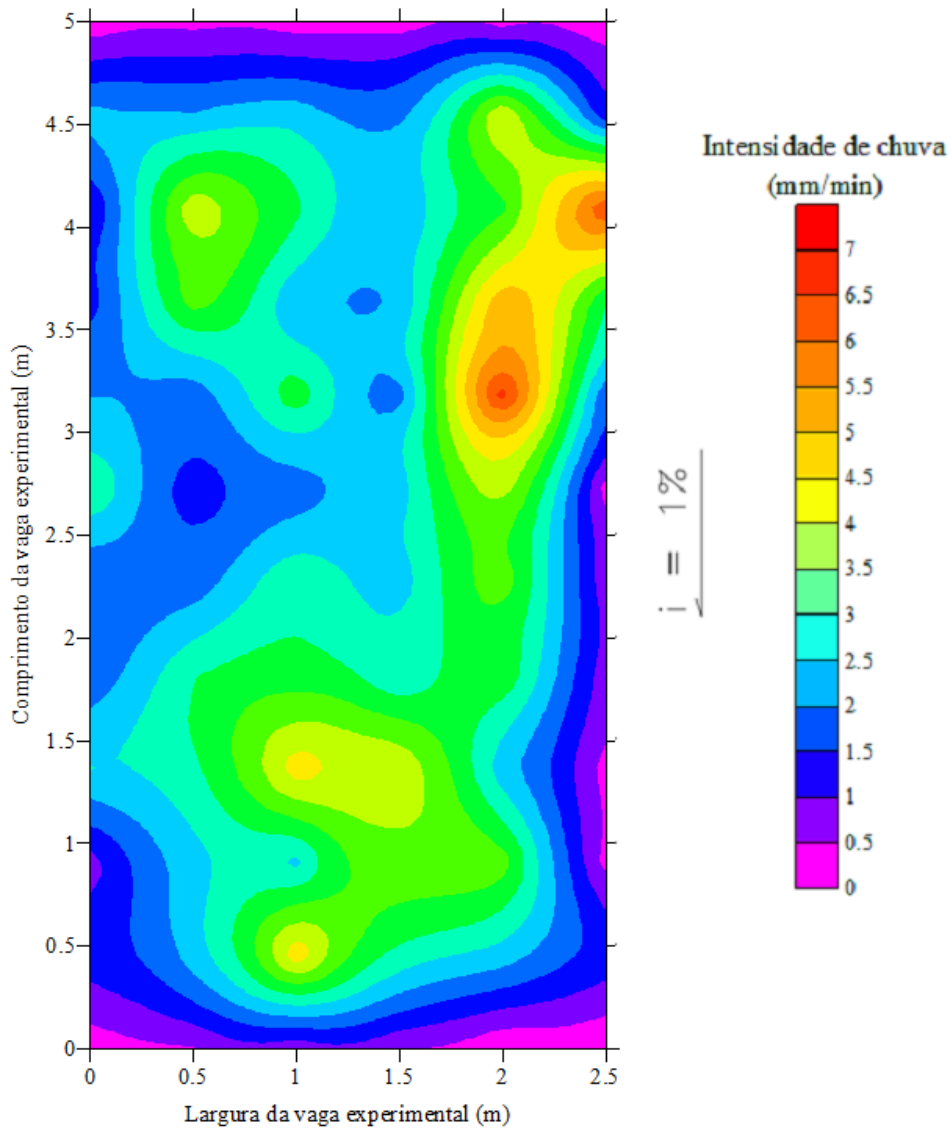


Figura 4.29 – distribuição de uma chuva curta na vaga experimental

Sequencialmente, a tabela 4.8 e a figura 4.30 apresentam o comportamento de uma chuva longa a uma pressão manométrica de 9,6mca, quando se obteve uma intensidade média de 0,606mm/min.

Tabela 4.8 – Distribuição de chuva longa a 7,6mca

FILEIRAS	INTENSIDADES (mm/min)					
	1	2	3	4	5	6
1	0,087	0,292	0,098	0,254	0,000	0,009
2	0,018	0,042	1,516	1,760	0,366	0,118
3	0,147	2,273	0,442	1,211	0,415	0,067
4	0,290	2,231	0,281	0,936	1,190	0,018
5	0,101	0,846	0,109	0,453	0,188	0,000
6	0,005	0,574	0,246	0,976	0,536	0,000
7	0,005	0,833	1,621	0,627	1,048	0,005
8	0,000	0,210	1,892	1,336	1,438	0,027
9	0,000	0,474	1,818	0,748	1,331	0,101
10	0,000	0,382	3,468	1,076	1,689	0,639
11	0,000	0,360	1,869	0,847	0,654	0,103
12	0,000	0,118	0,348	0,449	0,000	0,045

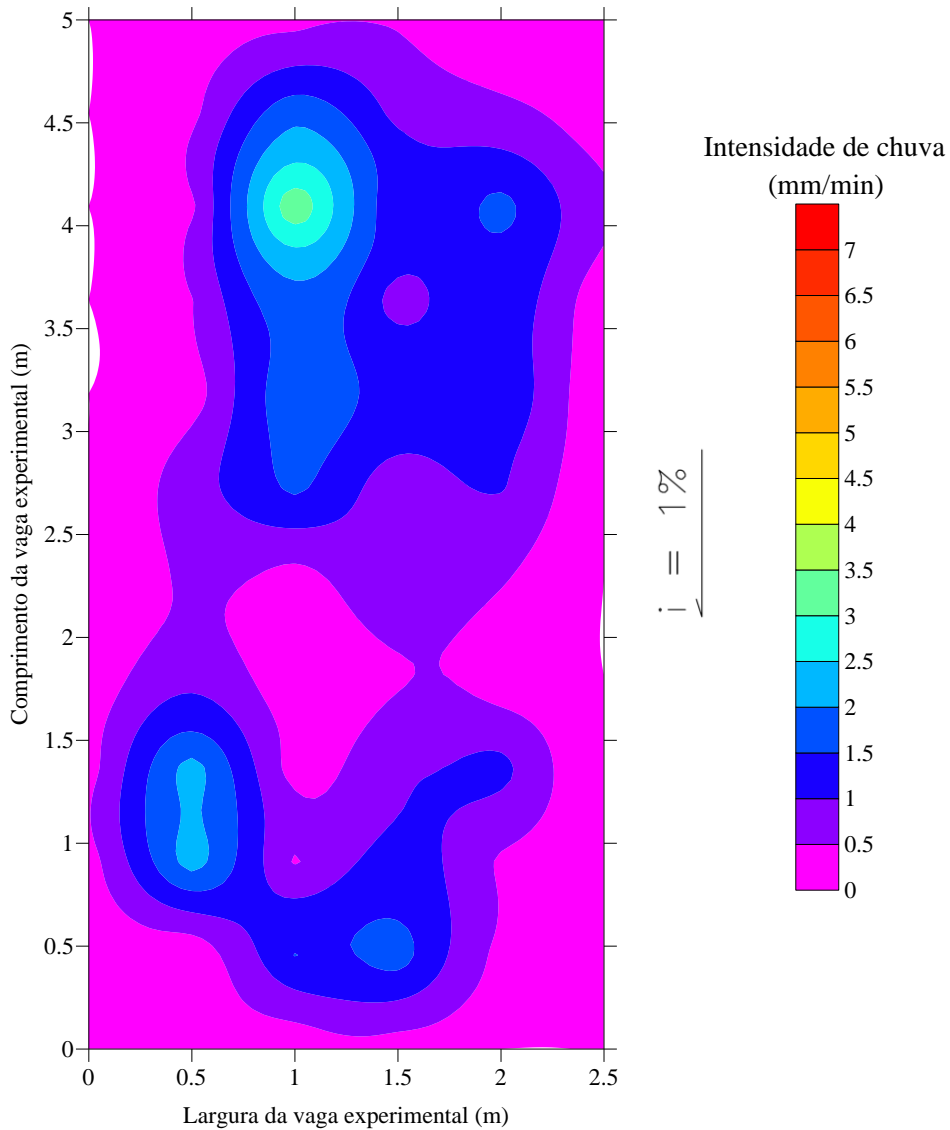


Figura 4.30 – distribuição de uma chuva longa na vaga experimental

Ressalta-se que a construção e a calibração desse simulador acabaram por constituir uma longa e importante etapa desta pesquisa. O simulador permitiu conhecer a vazão transferida ao sistema, a qualquer momento e, por conseguinte, a intensidade de chuva aplicada a cada simulação.

4.3.6 – Escolha da chuva

As chuvas do estudo foram estabelecidas segundo a equação da chuva característica de Brasília, estabelecida como referência pela NOVACAP (1996) para os projetos de drenagem no Distrito Federal, representada pela equação 4.3.

$$i = \frac{21,7 \cdot T_r^{0,16}}{(t + 11)^{0,815}} \quad (4.3)$$

Onde: i = intensidade da chuva (mm/min) é a razão entre a quantidade de chuva e seu tempo de duração.
 T_r = tempo de recorrência (medido em anos) é o intervalo estimado em que um determinado evento deve ser igualado ou ultrapassado pelo menos uma vez.
 t = duração (min) é o tempo considerado de permanência das chuvas.

Vale considerar que a duração da chuva a ser considerada está fortemente relacionada com a velocidade do escoamento superficial e as dimensões da bacia, pois esses determinam o seu tempo de concentração. Por essa razão, o tempo de duração das chuvas a ser considerado, no cálculo de bacias reais, deve ser o seu tempo de concentração, pois a partir de então ocorrerá a constância do regime de escoamento. No caso do estacionamento em estudo, a bacia de contribuição foi restringida à própria vaga de estacionamento e o tempo de concentração, até então desconhecido, foi o necessário para a estabilização do escoamento.

Nas chuvas suficientemente longas, a estabilização do escoamento superficial também ocorre pela saturação do solo, contudo, devido à impermeabilização do solo, a contribuição decorrente da infiltração tem menor peso nas bacias urbanizadas.

Na equação 4.3, observa-se, matematicamente, que, ao considerar um menor tempo de duração da chuva, serão obtidas chuvas mais concentradas, portanto chuvas mais intensas. Com efeito contrário, maiores intensidades de chuva são obtidas com tempos de recorrência maiores.

Um melhor aproveitamento do aparato de ensaio levou a definir a realização de chuvas variadas, segundo duas condicionantes independentes: duração da chuva e tempo de recorrência.

As chuvas simuladas tiveram duas variantes de duração, com objetivos distintos. Nas de curta duração, buscou-se concentrar o evento de forma a se obter uma chuva mais intensa e característica de tempestades: para essas foi adotada a duração de 15 minutos. Para representar as chuvas longas, cujo objetivo era observar a contribuição da infiltração no subleito e a saturação dessa camada, foi adotada a duração de 120 minutos.

A segunda condicionante em estudo tratou do tempo de recorrência que, segundo Diogo (2008), é definido segundo fatores técnicos e econômicos, tais como o tipo da obra, custos para sua reparação, prejuízos decorrentes de excessos de descarga, custo adicional pelo alongamento do tempo de recorrência e risco de perdas de vidas humanas.

Sob esse enfoque, as chuvas foram simuladas com duas possibilidades, sendo 5 anos o tempo de falha normal aceito nos sistemas de microdrenagem, e 15 anos por considerar o limite de falha entre os sistemas particulares e as galerias públicas.

A tabela 4.9 apresenta um resumo das quatro combinações de chuvas simuladas. A coluna intensidade é o resultado da curva Intensidade-Duração-Frequência (IDF) de Brasília (equação 4.3) com os parâmetros adotados. A última coluna traduz a altura da precipitação e corresponde ao produto da intensidade na duração estabelecida.

Tabela 4.9 – Chuvas simuladas

DURAÇÃO (min)	TEMPO DE RECORRÊNCIA (anos)	INTENSIDADE (mm/min)	PRECIPITAÇÃO (mm)
15	5	1,97	29,59
	15	2,35	35,28
120	5	0,53	63,37
	15	0,63	75,55

Com a finalidade de bem observar os eventos e eliminar eventuais imprecisões de medições, foram realizadas três repetições para cada combinação de duração e tempo de recorrência apresentadas acima, totalizando 12 chuvas em cada uma das três vagas. Ressalta-se que o processo foi realizado por completo em cada uma das três etapas de ensaios (pavimento novo, pavimento colmatado e pavimento recuperado), totalizando 108 chuvas.

Ressalta-se, também, que tendo em vista as dimensões de cada vaga e a arquitetura do sistema de captação do escoamento, o simulador de chuvas foi dimensionado para atender apenas uma vaga por vez.

4.3.7 – Etapas dos ensaios hidráulicos

4.3.7.1 – Pavimento novo

Superado o processo de cura do concreto (endurecimento da placa), foram simuladas chuvas controladas durante os meses de outubro e novembro de 2010, quando o pavimento ainda estava novo.

Nessa ocasião, foi realizada a primeira etapa de simulações conforme apresentado na tabela 4.7. Como produto dessa etapa, foram coletados dados referentes ao escoamento superficial e o infiltrado para o colchão drenante para as três diferentes vagas. Naquele momento, o interesse da coleta residia em três aspectos:

- conhecer a capacidade drenante do concreto poroso;
- conhecer volume infiltrado no solo por diferença entre o precipitado e o coletado do escoamento superficial e do colchão drenante; e

- conhecer o hidrograma amortecido, por meio da diferença no tempo e volume da descarga, a partir do inicial fornecido pelo simulador de chuva.

Os resultados e discussões serão apresentados no Capítulo 5.

Posteriormente, encerrados os trabalhos da primeira etapa de simulações, que coincidiu com o início do período chuvoso de Brasília, as vagas foram liberadas para uso, conforme ilustrado na Figura 4.31.



Figura 4.31 – Estacionamento em uso de novembro de 2010 a junho de 2011

4.3.7.2 – Pavimento colmatado

O regime de chuvas de Brasília possui dois períodos bem definidos, como apresentado pelas Normais Climatológicas de Brasília, apuradas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2011) por meio da figura 4.32. Assim, passado o período chuvoso, o simulador de chuvas foi montado novamente para a continuação dos ensaios.

Para que fosse possível a comparabilidade dos resultados entre as três etapas do monitoramento, os procedimentos e parâmetros das chuvas simuladas e os dados coletados neste segundo momento de chuvas foram os mesmo descritos no item 4.3.7.1, quando se referiu ao ciclo anterior à primeira rodada de simulações.

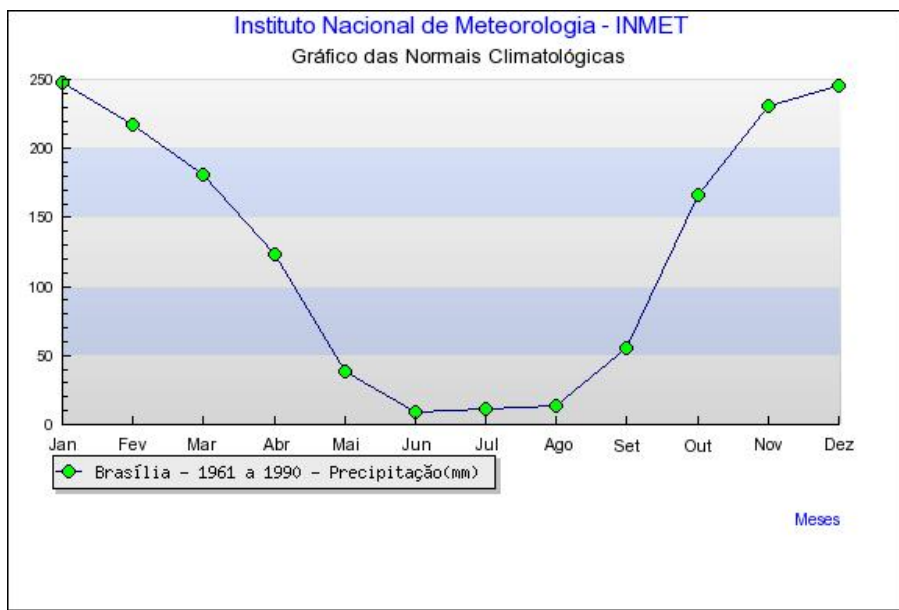


Figura 4.32 – Distribuição das chuvas de Brasília-DF

A apresentação dos resultados e as discussões ocorrerão, no capítulo 5 do presente trabalho.

Iniciadas no mês de junho, as novas chuvas controladas tiveram por objetivo adicional constatar o grau de obstrução dos poros do concreto, que, visualmente, já indicava estar bastante colmatado com os materiais e sedimentos transportados pelo escoamento superficial provocado pelas chuvas, como se pode constatar com o auxílio da figura 4.33.



Figura 4.33 – Pavimento sujo

4.3.7.3 – Recuperação da permeabilidade

Após a realização da segunda etapa de chuvas, foi realizada a recuperação da permeabilidade do pavimento.

Embora a pesquisa bibliográfica indicasse largamente essa operação como sendo uma simples operação de aspiração com bomba de vácuo (figura 3.18), a prática não a confirmou. Pesquisas no mercado local não lograram identificar um equipamento capaz de executar a propalada aspiração, o que reforçou a dificuldade encontrada por Araújo *et al.* (2000).

Em face da impossibilidade de executar a aspiração, optou-se, então, por outra forma de limpeza, também sugerida pela bibliografia consultada, que se resume à lavagem do local com bombas de alta pressão. Para isso, foi utilizada a bomba de alta pressão marca KARSHER, modelo K330, e pressão de saída de 110mbar, um equipamento de fácil aquisição e com potência de trabalho de uso comum no mercado de Brasília (figura 4.34).

Na execução da lavagem, foi observado que, mesmo com a superfície limpa, uma segunda passada com a bomba trazia à tona mais sedimentos (figura 4.35). Em face disso, e tendo em vista que o presente trabalho buscou reproduzir as dificuldades de ordem prática ligadas à construção, operação e manutenção do concreto poroso, optou-se por adotar apenas duas passadas com o equipamento.



Figura 4.34 – Limpeza do pavimento



Figura 4.35 – Segunda passada da bomba

4.3.7.4 – Pavimento recuperado

Pela terceira vez todo o aparato foi montado com a intenção de realizar a coleta dos dados similares, porém com a nova situação de pavimento lavado.

A comparabilidade dos resultados das chuvas simuladas e dados coletados nesse último momento de chuvas foi assim assegurada pela manutenção dos procedimentos e parâmetros de chuvas adotados anteriormente.

Da mesma forma que nos subitens anteriores, a apresentação dos resultados e as discussões se acham no capítulo 5 do presente trabalho.

4.4 – ENSAIOS DO CONCRETO

Terminadas as simulações, foram extraídos trinta corpos de prova do concreto poroso com diâmetro de 100 mm, sendo dez exemplares de cada uma das 3 vagas. A extração dos corpos de prova, ilustrada na figura 4.36, ocorreu de forma similar nas 3 vagas, em obediência à distribuição apresentada na figura 4.37 e teve por objetivo verificar a massa específica, o índice de vazios, o grau de uniformidade na espessura do pavimento, o estado geral da amostra e a resistência à compressão do concreto.



Figura 4.36 – Extração de corpo de prova na vaga V1

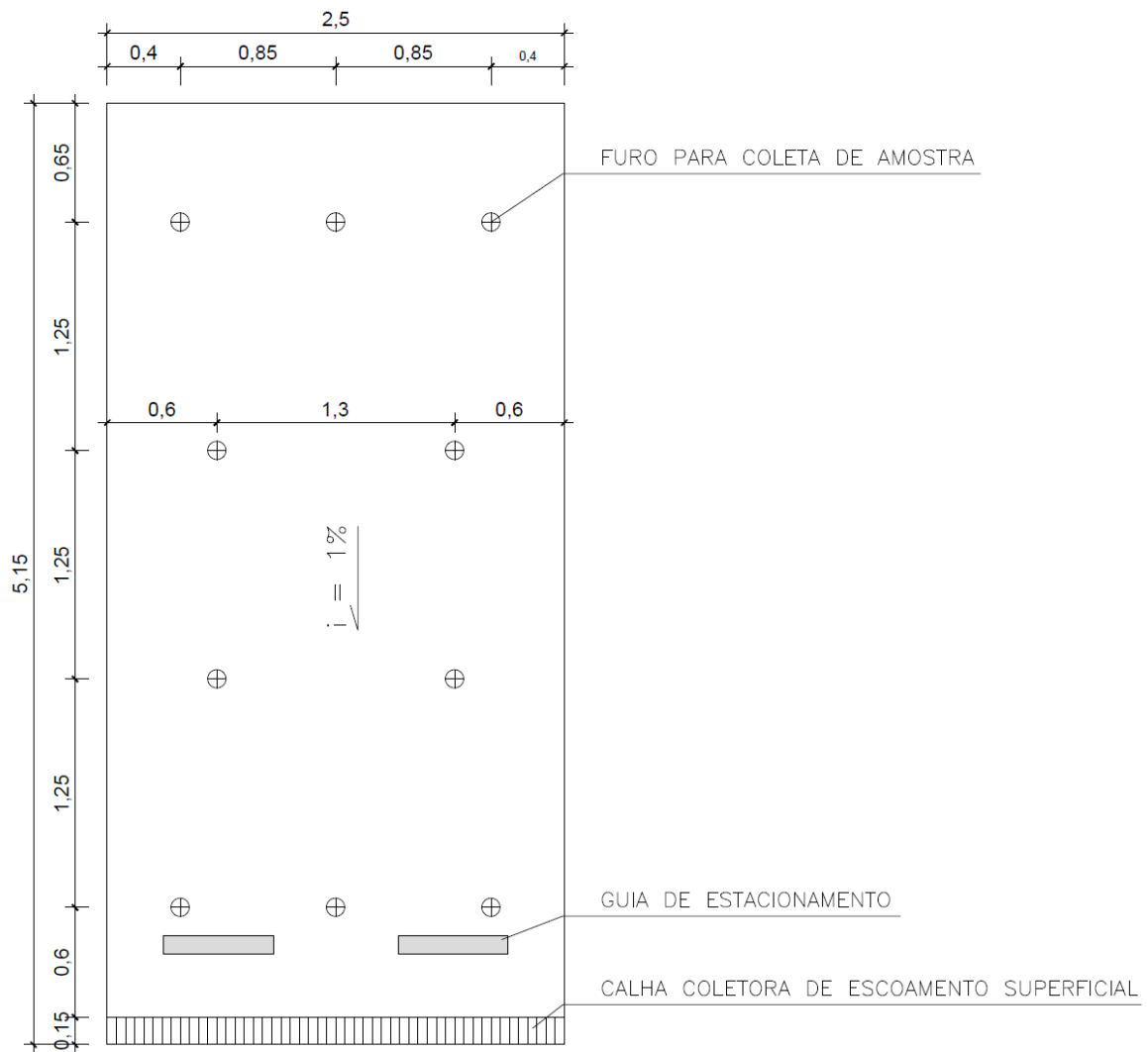


Figura 4.37 – Localização dos corpos de prova na vaga tipo

Com o intuito de também conhecer o índice de vazios obtidos na parcela experimental, também foi extraído um exemplar da placa experimental descrita em 4.3.3.1, perfazendo um total de 31 corpos de prova.

4.4.1 – Transpasse de materiais finos

Mesmo considerando que a quantificação do material fino transpassado pela camada de concreto poroso não estava inserido no escopo do presente trabalho, optou-se pela realização de uma inspeção visual dos corpos de prova extraídos, o que pode ser observado por meio da figura 4.38, onde é possível observar a ocorrência de transpasse de sedimentos na face inferior de um corpo de prova, o que se repetiu em todos os demais corpos de

prova em intensidade similar, indicando o transporte da parcela mais fina dos sedimentos para o colchão drenante e o possível risco de falha do sistema drenante no longo prazo.

Foi observado o transpasse em todos os exemplares extraídos, o que indica a ocorrência de colmatação no longo prazo, com a perda de capacidade drenante dessa camada.



Figura 4.38 – Transpasse de material fino

4.4.2 – Uniformidade da espessura do revestimento

Na figura 4.39, observam-se todos os 31 corpos de prova perfilados. Nela, é possível constatar a falta de uniformidade na espessura da camada do concreto poroso. A tabulação dos diferentes valores de espessura é mostrada na tabela 4.10.



Figura 4.39 – Corpos de prova

Tabela 4.10 – Espessura dos corpos de prova

VAGA 1		VAGA 2		VAGA 3	
Exemplar	Espessura (cm)	Exemplar	Espessura (cm)	Exemplar	Espessura (cm)
V1E1	14,0	V2E1	14,5	V3E1	15,0
V1E2	16,0	V2E2	14,0	V3E2	16,0
V1E3	16,5	V2E3	14,0	V3E3	13,0
V1E4	13,5	V2E4	14,0	V3E4	13,0
V1E5	14,0	V2E5	13,0	V3E5	14,5
V1E6	13,0	V2E6	13,0	V3E6	13,0
V1E7	14,0	V2E7	13,0	V3E7	11,0
V1E8	13,0	V2E8	15,0	V3E8	15,0
V1E9	13,5	V2E9	15,0	V3E9	14,0
V1E10	16,0	V2E10	16,0	V3E10	15,0
Média da Vaga 1	14,4	Média da Vaga 2	14,2	Média da Vaga 3	14,0

Analisando a tabela 4.10, observa-se que a espessura projetada só foi atingida em um terço das amostras coletadas, tendo chegado a uma espessura média de 14,2cm e desvio padrão de 1,2cm. Verificou-se, assim, que a execução da placa de concreto não foi realizada a contento.

A grande variabilidade na espessura da placa poderia ser explicada pela impossibilidade de bem acomodar a superfície superior do colchão drenante pelo uso de vibração, o que permitiria atingir um perfeito nivelamento na cota desejada, pois essa operação provocaria a quebra de grãos e produção de finos que contribuiria para a redução da eficiência do colchão drenante.

A execução da placa menos espessa que o estabelecido em projeto pode comprometer sua integridade durante o uso, permitindo o surgimento de fissuras e acelerando a degradação do pavimento.

Durante a extração dos corpos, houve o rompimento espontâneo do exemplar V2E1, o que não impediu o seu uso na determinação da espessura da camada de concreto, mas inviabilizou a realização do índice de vazios.

4.4.3 – Índice de vazios

Por se tratarem de ensaios destrutivos, as 31 amostras foram divididas em dois grupos, sendo 15 selecionadas para o rompimento à compressão para determinação da resistência característica. Os outros 16 para determinação do índice de vazios após saturação e fervura.

Dentre esses 16 exemplares, 15 foram extraídos das vagas e o outro exemplar extraído da parcela experimental apresentada no item 4.3.3.1. do presente estudo.

A tabela 4.11, a seguir, apresenta os valores extraídos dos Relatórios de Ensaio reunidos no Anexo D, que trata dos índices de vazios após saturação e fervura, calculados segundo a NBR 9778.

Tabela 4.11 – Índice de vazios dos corpos de prova

VAGA 1		VAGA 2		VAGA 3	
Exemplar	Vazios (%)	Exemplar	Vazios (%)	Exemplar	Vazios (%)
V1E1	18,2	V2E1	Inutilizado	V3E1	19,3
V1E3	15,2	V2E3	16,1	V3E3	18,6
V1E5	16,5	V2E5	13,2	V3E5	18,4
V1E7	17,6	V2E7	15,7	V3E7	20,4
V1E9	16,7	V2E9	16,7	V3E9	19,4
Média da Vaga 1	16,8	Média da Vaga 2	15,4	Média da Vaga 3	19,2

Como citado anteriormente, o rompimento espontâneo do exemplar V2E1, ocorrido durante a extração dos corpos, ocasionou sua perda para este ensaio.

Uma análise preliminar permite afirmar que o índice médio de vazios de todos os exemplares alcançou 17,3% e um desvio-padrão de 1,9%. Trata-se de resultado dentro da faixa sugerida por ACI (2002), citado por CRMCA (2009). Porém levemente abaixo do valor citado por Souza (2008), que considerou um mínimo de 20% de vazios para prevenir a colmatagem dos pavimentos permeáveis de base asfáltica.

Ressalta-se que, naquele estudo que Castro (2005, citado por Souza, 2008) tratava de experimentos de pequenas proporções e intenso controle sobre os materiais e particularmente sobre os grãos do agregado, com a completa eliminação de finos. Por outro lado, os grandes volumes de materiais envolvidos no presente estudo e as técnicas construtivas adotadas não permitiriam precisão na medição dos volumes e obtenção da exata e uniforme proporção de materiais envolvidos.

Entretanto, tratando este estudo de uma tentativa de reproduzir situações próximas à vivida pelo construtor na implantação do concreto poroso, pode-se afirmar que os 17,3% alcançados são uma boa aproximação em relação aos 20% obtidos em ambientes controlados.

A grande diversidade de resultados encontrada nos índices de vazios, entre os exemplares da mesma vaga, permite concluir ter ocorrido falha na execução do traço do concreto lançamento ou mesmo no acabamento do pavimento, o que ressalta a importância do controle na execução.

O menor índice de vazios encontrado na vaga 2 decorre da vibração imposta a ela no momento da concretagem, conforme descrito no item 4. Entretanto, o baixo índice de vazios encontrados na vaga 1 pode ser relacionado à execução.

4.4.4 – Resistência mecânica à compressão

A tabela 4.12, a seguir, apresenta os valores extraídos dos Relatórios de Ensaios, reunidos no Anexo E, que tratam da Resistência à Compressão dos corpos de prova, calculados segundo a NBR 7680.

Tabela 4.12 – Resistência característica dos corpos de prova

VAGA 1		VAGA 2		VAGA 3	
Exemplar	Resistência à compressão (MPa)	Exemplar	Resistência à compressão (MPa)	Exemplar	Resistência à compressão (MPa)
V1E2	10,4	V2E2	18,7	V3E2	21,0
V1E4	11,1	V2E4	28,2	V3E4	25,1
V1E6	16,9	V2E6	29,7	V3E6	21,6
V1E8	12,7	V2E8	25,7	V3E8	12,4
V1E10	14,7	V2E10	31,3	V3E10	21,6
Média da Vaga 1	13,2	Média da Vaga 2	26,7	Média da Vaga 3	20,3

Os dados da tabela 4.10 mostram a ocorrência de grande diversidade de resultados de resistências à compressão entre os exemplares da mesma vaga, o que permite concluir também ter ocorrido falha na execução do concreto, conforme discutido no subitem 4.4.3.

Uma análise preliminar, baseada na média aritmética simples, permite concluir que somente a vaga 2 atingiu valor superior aos 25MPa indicados pelo fabricante da AAR.

Como já indicado no subitem anterior, a maior resistência encontrada na vaga 2 está diretamente relacionada ao menor índice de vazios decorrente da compactação aplicada, que em muito limita a comparação de resultados de resistência à compressão entre as três vagas.

Um resumo dos ensaios discutidos neste subitem 4.4, acham-se apresentados na tabela 4.13. O traspasse de finos, apesar de não constituir ensaio de laboratório, foi observado e pode ser considerado parâmetro importante para se estimar a vida útil do pavimento.

Tabela 4.13 – Resultados médios dos ensaios do concreto

ASPECTO	VAGA 1	VAGA 2	VAGA 3
Média das espessuras do pavimento	14,4cm	14,2cm	14,0cm
Média dos volumes de vazios	16,8%	15,4%	19,2%
Média das resistências à compressão	13,2MPa	26,7MPa	20,3MPa
Transpasse de finos	Observado em igual intensidade nas três vagas		

4.5 – ANÁLISE HIDRÁULICA

Uma vez construído o estacionamento e calibrado o simulador de chuvas, a etapa subsequente consistiu em proceder aos ensaios hidráulicos com o pavimento novo. Para tal, foram realizadas simulações de chuvas, segundo as quatro combinações de chuvas apresentadas na tabela 4.7.

Como já salientado, as simulações ocorreram sob três condições diferentes de permeabilidade: inicialmente com o pavimento novo, depois com ele colmatado e, por fim, após a recuperação da permeabilidade.

Para a composição dos resultados, foi observado que, durante a realização dos ensaios, as respostas às chuvas de mesmas características se repetiam ou eram muito próximas, o que permitiu, após análise, descartar os eventos que apresentaram comportamentos anômalos e realizar a média aritmética simples das chuvas julgadas válidas.

4.5.1 – Chuvas no pavimento novo

Em face do volume de vazios atestado pelos ensaios, a permeabilidade do concreto poroso atingiu valores tais que, em nenhum dos eventos simulados com o pavimento novo, ocorreu o escoamento superficial, tendo todo volume precipitado atingido o colchão de brita e coletado pelos tubos dreno do aparato.

4.5.1.1 – Chuvas curtas no pavimento novo

Por não caracterizar resistência à infiltração, o pavimento novo apresentou padrão similar nos resultados para as chuvas de 15min, apresentadas na tabela 4.7, o que permitiu estabelecer um perfil de comportamento característico aos eventos chuvosos curtos, como se pode constatar nos dados relacionados na tabela 4.14, que contém a listagem das vazões coletadas para a chuva de 15 minutos, tanto as de 5 anos, como as de 15 anos de recorrência em qualquer das três vagas.

Tabela 4.14 – Vazões coletadas das chuvas curtas em pavimento novo

TEMPO (min)	SUPERFICIAL (L/min)		SUBSUPERFICIAL (L/min)		TEMPO (min)	SUPERFICIAL (L/min)		SUBSUPERFICIAL (L/min)	
	5 anos	15 anos	5 anos	15 anos		5 anos	15 anos	5 anos	15 anos
0	0,00	0,00	0,00	0,00	16	0,00	0,00	20,72	24,71
1	0,00	0,00	0,00	0,00	17	0,00	0,00	17,67	21,07
2	0,00	0,00	0,00	0,51	18	0,00	0,00	12,61	15,04
3	0,00	0,00	3,24	4,81	19	0,00	0,00	8,51	10,15
4	0,00	0,00	10,96	12,73	20	0,00	0,00	5,32	6,34
5	0,00	0,00	15,32	17,07	21	0,00	0,00	3,44	4,11
6	0,00	0,00	18,18	23,00	22	0,00	0,00	2,30	2,59
7	0,00	0,00	21,24	24,19	23	0,00	0,00	2,17	2,52
8	0,00	0,00	22,34	26,80	24	0,00	0,00	1,69	1,89
9	0,00	0,00	22,90	28,04	25	0,00	0,00	1,48	1,48
10	0,00	0,00	24,00	28,71	26	0,00	0,00	1,33	1,64
11	0,00	0,00	24,66	29,40	27	0,00	0,00	1,23	1,30
12	0,00	0,00	24,66	29,40	28	0,00	0,00	0,82	0,92
13	0,00	0,00	24,66	29,40	29	0,00	0,00	0,50	0,55
14	0,00	0,00	24,66	29,40	30	0,00	0,00	0,41	0,48
15	0,00	0,00	24,10	28,73					

Os dados de vazão das chuvas de 15 minutos apresentaram escoamento residual por cerca de 90 minutos. A tabela 4.14 representa um extrato dos primeiros 30 minutos de coleta. A série completa dos dados é encontrada em tabela do ANEXO F do presente trabalho.

Por conta do padrão similar nos resultados, pode se afirmar que, sem perda de qualidade das análises, na figura 4.40, a linha verde representa a chuva aplicada ao aparato de ensaio e é representativa de todas as chuvas curtas de 5 anos no pavimento novo, enquanto a linha azul descreve o comportamento da vazão coletada do colchão drenante.

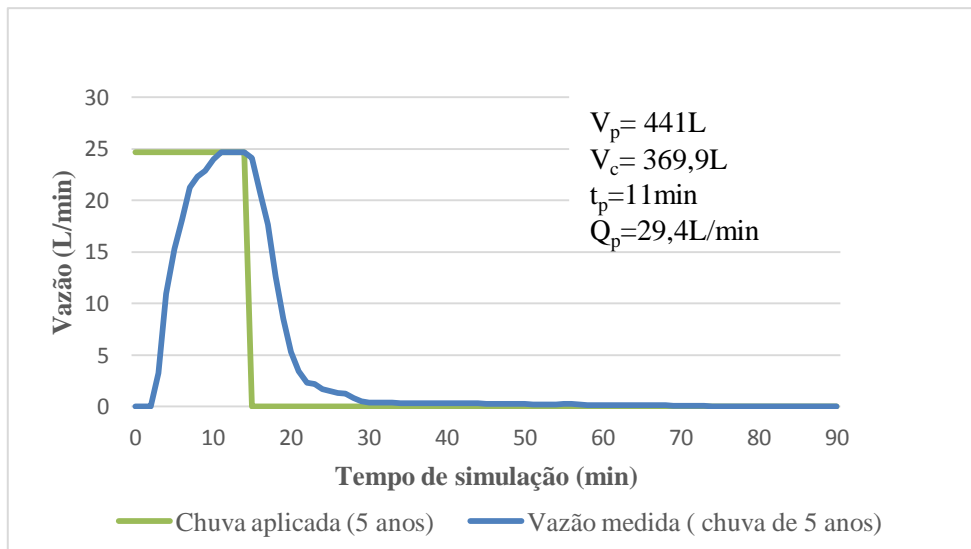


Figura 4.40 – Comportamento da vazão infiltrada de chuvas curtas (15 minutos) simuladas no pavimento novo para 5 anos de recorrência

Onde: V_p = Volume precipitado.
 V_e = Volume escoado.
 t_p = Tempo de pico.
 Q_p = Vazão de pico.

No presente estudo, o termo “perda d’água” foi utilizado como sendo a diferença entre o volume de água precipitada e o recuperado pelos sistemas de captação dos escoamentos superficial e subsuperficial. Assim, a expressão perda d’água caracteriza as perdas de água no sistema, quer seja por infiltração no solo, por evaporação, por adsorção na superfície dos grãos no concreto e no colchão drenante, ou até pode incorporar imprecisões da medida.

Assim, as chuvas curtas de 5 anos, no pavimento novo, apresentaram uma perda d’água da ordem de 18,85L, que corresponde a 4,27% do total precipitado.

Pelos mesmos motivos apresentados anteriormente, as chuvas de 15 anos, também representadas pela linha verde, são mais intensas e também demonstraram, por meio da linha vermelha, padrão de comportamento para os eventos chuvosos com esse tempo de recorrência, como se pode observar na figura 4.41.

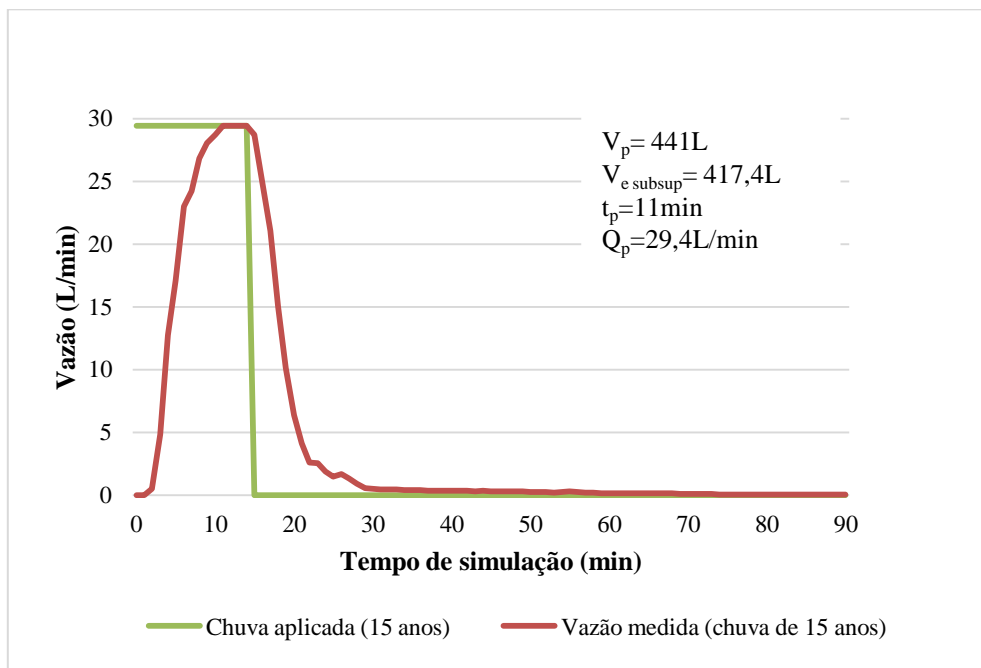


Figura 4.41 – Comportamento da vazão infiltrada de chuvas curtas (15 minutos) simuladas no pavimento novo para 15 anos de recorrência

As chuvas curtas de 15 anos, no pavimento novo, apresentaram uma perda d'água da ordem de 23,63L, que corresponde a 6,39% do total precipitado.

4.5.1.2 – Chuvas longas no pavimento novo

De forma análoga à simulação das chuvas curtas com o pavimento novo, as chuvas longas, com duração de 120 minutos e de menor intensidade, também não propiciaram escoamento superficial e também demonstraram padrão constante de comportamento, como se observa nos dados reunidos na tabela 4.15.

Os dados de vazão das chuvas de 120 minutos apresentaram escoamento residual por cerca de 180 minutos. A tabela 4.15 apresenta um extrato desse comportamento. Nela, encontra-se a fase inicial da chuva, com os primeiros 22 minutos, com a passagem para o minuto 68, quando ocorre a estabilização do fluxo, e, depois, uma outra passagem para o minuto 119, com o objetivo de apresentar o decaimento do escoamento. A série completa dos dados é encontrada em tabela do ANEXO F do presente trabalho.

Tabela 4.15 – Vazões coletadas das chuvas longas em pavimento novo

TEMPO (min)	SUPERFICIAL (L/min)		SUBSUPERFICIAL (L/min)		TEMPO (min)	SUPERFICIAL (L/min)		SUBSUPERFICIAL (L/min)	
	5 anos	15 anos	5 anos	15 anos		5 anos	15 anos	5 anos	15 anos
0	0,00	0,00	0,00	0,00	12	0,00	0,00	5,56	6,64
1	0,00	0,00	0,00	0,00	13	0,00	0,00	5,63	6,73
2	0,00	0,00	0,00	0,00	14	0,00	0,00	5,67	6,78
3	0,00	0,00	1,16	1,39	15	0,00	0,00	5,71	6,82
4	0,00	0,00	2,08	2,48	16	0,00	0,00	5,71	6,82
5	0,00	0,00	3,24	3,90	17	0,00	0,00	5,92	7,07
6	0,00	0,00	4,32	5,18	18	0,00	0,00	6,05	7,23
7	0,00	0,00	4,94	5,85	19	0,00	0,00	6,18	7,39
8	0,00	0,00	5,17	6,17	20	0,00	0,00	6,31	7,54
9	0,00	0,00	5,40	6,45	21	0,00	0,00	6,34	7,58
10	0,00	0,00	5,44	6,50	22	0,00	0,00	6,34	7,58
11	0,00	0,00	5,48	6,54					
68	0,00	0,00	6,52	7,78	70	0,00	0,00	6,60	7,89
69	0,00	0,00	6,52	7,78	71	0,00	0,00	6,60	7,89
119	0,00	0,00	6,60	7,89	131	0,00	0,00	0,46	0,55
120	0,00	0,00	6,60	7,89	132	0,00	0,00	0,36	0,43
121	0,00	0,00	6,60	7,89	133	0,00	0,00	0,27	0,32
122	0,00	0,00	5,22	6,24	134	0,00	0,00	0,25	0,30
123	0,00	0,00	4,01	4,79	135	0,00	0,00	0,22	0,26
124	0,00	0,00	2,77	3,32	136	0,00	0,00	0,13	0,16
127	0,00	0,00	1,87	2,24	137	0,00	0,00	0,11	0,13
128	0,00	0,00	1,32	1,57	138	0,00	0,00	0,11	0,12
129	0,00	0,00	0,84	1,00	139	0,00	0,00	0,10	0,11
130	0,00	0,00	0,55	0,66	140	0,00	0,00	0,10	0,10

A partir dos dados informados na tabela 4.15, foram traçados os gráficos representativos do comportamento das chuvas longas no pavimento novo, que estão apresentados na figura 4.42, representando os eventos chuvosos de cinco anos de recorrência e, na figura 4.43, as de 15 anos de recorrência.

Foi possível observar, nessas figuras, um comportamento peculiar para a chuva menos intensa (longa e 5 anos de recorrência). Nelas, o volume de chuvas foi de tal ordem que o processo de molhagem das camadas de pavimento e estabelecimento do fluxo máximo contínuo levou tempo consideravelmente maior que os das demais, consumindo cerca de 70 minutos para a estabilização da vazão.

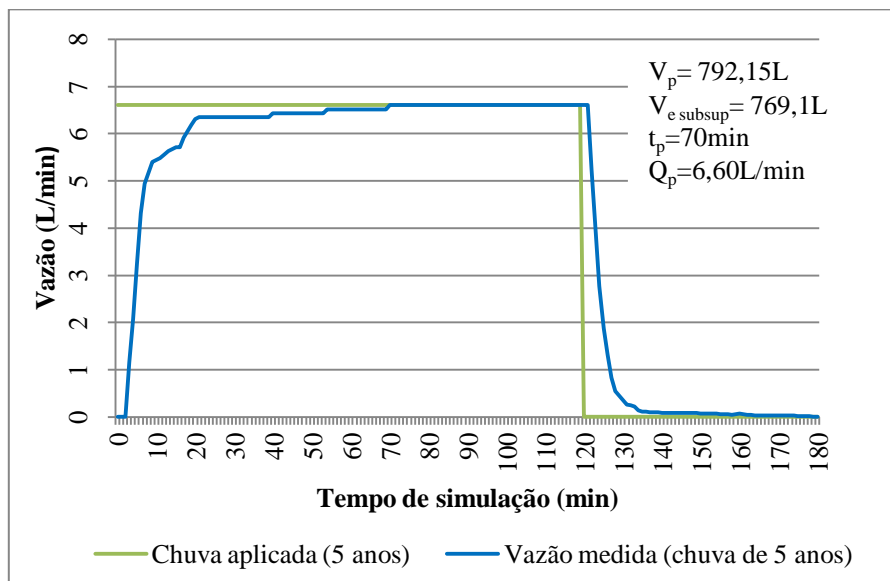


Figura 4.42 – Comportamento da vazão infiltrada de chuvas longas (120 minutos) simuladas no pavimento novo para 5 anos de recorrência

Dessa forma, as chuvas longas de 5 anos, no pavimento novo, apresentaram uma perda d'água da ordem de 23,08L, que corresponde a 2,91% do total precipitado.

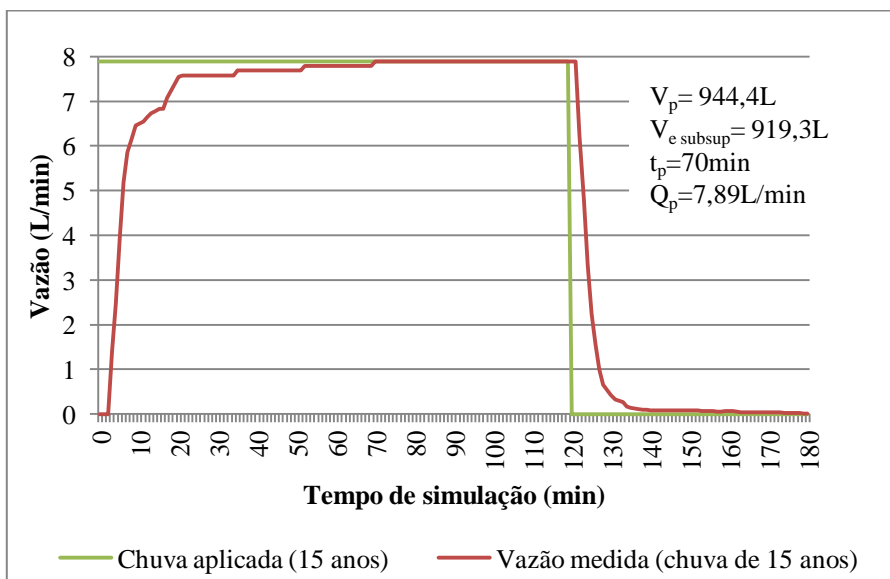


Figura 4.43 – Comportamento da vazão infiltrada de chuvas longas (120 minutos) simuladas no pavimento novo para 15 anos de recorrência

Assim, as chuvas longas de 15 anos, no pavimento novo, apresentaram uma perda d'água da ordem de 25,08L, que corresponde a 2,65% do total precipitado.

Em síntese, a tabela 4.16 apresenta os tempos observados em cada uma das fases do evento chuvoso no pavimento novo.

Tabela 4.16 – Fases da chuva coletada no pavimento novo

FASE	SIGNIFICADO	TEMPO (min)
Início do escoamento	Tempo necessário para a molhagem das camadas até o início do escoamento.	3
Tempo de pico	Tempo decorrido desde o início da chuva até a estabilização do fluxo. Corresponde ao tempo de concentração na vaga (ou a microbacia) em estudo.	11 (curtas) 70 (longas)
Retardo do pico	Tempo de permanência da máxima vazão após o término da chuva	1
Escoamento do volume armazenado	Tempo necessário para escoar cerca de 95% da chuva aplicada	15
Escoamento residual	Fase onde o escoamento existe, porém em vazões da ordem de 0,01L/min. Constitui parcela importante para a infiltração no solo.	60

A análise do comportamento observado das chuvas no pavimento novo leva a concluir:

- A permeabilidade do concreto poroso foi de tal ordem que não se mostrou obstáculo ao escoamento. Assim, os retardos observados nas figuras e tabela 4.14, podem ser atribuídos à arquitetura do aparato de ensaio (tubulações) e à energia dissipada durante sua passagem pela estrutura drenante (concreto e colchão).

- Os tubos dreno atuaram de forma que não levaram à contribuição da infiltração no solo para a redução do volume drenado.

- A alta permeabilidade do colchão drenante propiciou que o esvaziamento do reservatório ocorresse, inicialmente, de forma brusca, tendendo, após uma suavização do escoamento.

4.5.2 – Chuvas no pavimento colmatado

De forma similar à etapa anterior, foram simuladas chuvas, com iguais condições de intensidade e duração, descritas na tabela 4.7, para o pavimento colmatado.

Essa simulação levou a um comportamento hidráulico do escoamento bastante diverso do observado no pavimento novo. Como apresentado na figura 4.7 e relatado no Anexo C, a declividade para o interior da vaga pode ter provocado acentuada aceleração na falência das funções drenantes do pavimento, caracterizada por uma quase total colmatação dos vazios. Assim, o colchão drenante que anteriormente permitira drenar toda chuva no pavimento novo, no pavimento colmatado drenou um infiltrado da ordem de 0,5L, uma vez que quase a totalidade da chuva escoou pela superfície do pavimento. Por essa razão, a parcela relativa ao colchão drenante não foi considerada nas análises.

Na preparação dessa fase de ensaios, foi realizada uma varrição prévia na vaga com a finalidade de eliminar resíduos soltos à superfície do pavimento, que poderiam interferir nos resultados.

4.5.2.1 – Chuvas curtas no pavimento colmatado

Novamente observando mesma sistemática preconizada na tabela 4.7 e os dados apresentados na tabela 4.17, foi possível organizar os gráficos apresentados nas figuras 4.44 e 4.45, que apresentam o comportamento do escoamento superficial das chuvas curtas, coletado pela calha superior do aparato de ensaio.

Nesse caso, como salientado, o escoamento superficial foi responsável por, praticamente, drenar toda a chuva, limitando quaisquer outras interferências. Foi, assim, possível estabelecer um perfil de comportamento simulado característico aos eventos chuvosos de todas as durações no pavimento colmatado.

A tabela 4.17 representa um extrato dos primeiros 30 minutos do escoamento no pavimento colmatado. A série completa dos dados é encontrada em tabela do ANEXO F. A tabela 4.17 permite observar o término do escoamento antes do minuto 50, o que permite constatar a celeridade do escoamento superficial gerado pela obstrução dos vazios do pavimento.

Tabela 4.17 – Vazões coletadas das chuvas curtas em pavimento colmatado

TEMPO (min)	SUPERFICIAL (L/min)		SUBSUPERFICIAL (L/min)		TEMPO (min)	SUPERFICIAL (L/min)		SUBSUPERFICIAL (L/min)	
	5 anos	15 anos	5 anos	15 anos		5 anos	15 anos	5 anos	15 anos
0	0,00	0,00	0,00	0,00	16	12,67	11,20	0,00	0,01
1	0,00	0,53	0,00	0,00	17	2,76	7,63	0,00	0,01
2	22,98	25,86	0,00	0,00	18	1,27	5,92	0,02	0,02
3	24,66	29,40	0,00	0,00	19	0,77	1,83	0,02	0,02
4	24,66	29,40	0,00	0,00	20	0,41	0,48	0,02	0,02
5	24,66	29,40	0,00	0,00	21	0,18	0,18	0,02	0,02
6	24,66	29,40	0,00	0,00	22	0,10	0,10	0,02	0,02
7	24,66	29,40	0,00	0,00	23	0,10	0,10	0,02	0,02
8	24,66	29,40	0,00	0,00	24	0,10	0,10	0,02	0,02
9	24,66	29,40	0,00	0,00	25	0,10	0,10	0,02	0,02
10	24,66	29,40	0,00	0,00	26	0,10	0,10	0,02	0,02
11	24,66	29,40	0,00	0,00	27	0,05	0,05	0,02	0,02
12	24,66	29,40	0,00	0,00	28	0,05	0,05	0,02	0,02
13	24,66	29,40	0,00	0,00	29	0,05	0,05	0,02	0,02
14	24,66	29,40	0,00	0,00	30	0,05	0,05	0,02	0,02
15	22,98	28,40	0,00	0,00	31	0,05	0,05	0,02	0,02

Por conta do padrão similar nos resultados, pode se afirmar que, sem perda de qualidade das análises, na figura 4.44, a linha verde representa a chuva aplicada ao aparato de ensaio e é representativa de todas as chuvas curtas de 5anos no pavimento colmatado, enquanto a linha azul descreve o comportamento da vazão coletada do colchão drenante.

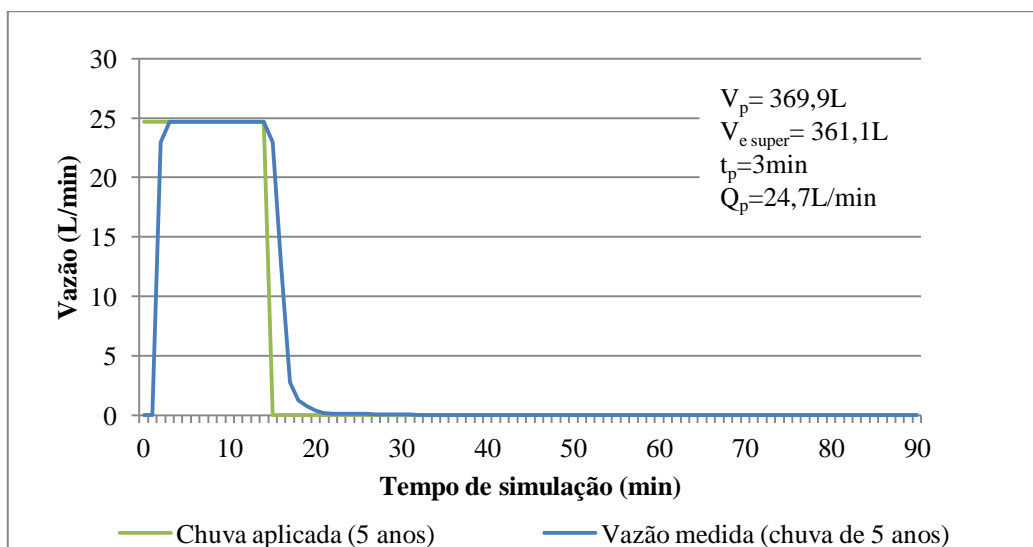


Figura 4.44 – Comportamento do escoamento superficial de chuvas curtas (15 minutos) simuladas no pavimento colmatado para 5 anos de recorrência

Assim, as chuvas curtas de 5 anos, no pavimento colmatado, apresentaram uma perda d'água da ordem de 8,86L, que corresponde a 2,01% do total precipitado.

Pelos mesmos motivos apresentados anteriormente, as chuvas de 15 anos, apresentadas na figura 4.45 e também representadas pela linha verde, são mais intensas e também demonstraram, como ilustrado pela linha vermelha, padrão de comportamento análogo ao de eventos chuvosos com 5 anos de recorrência.

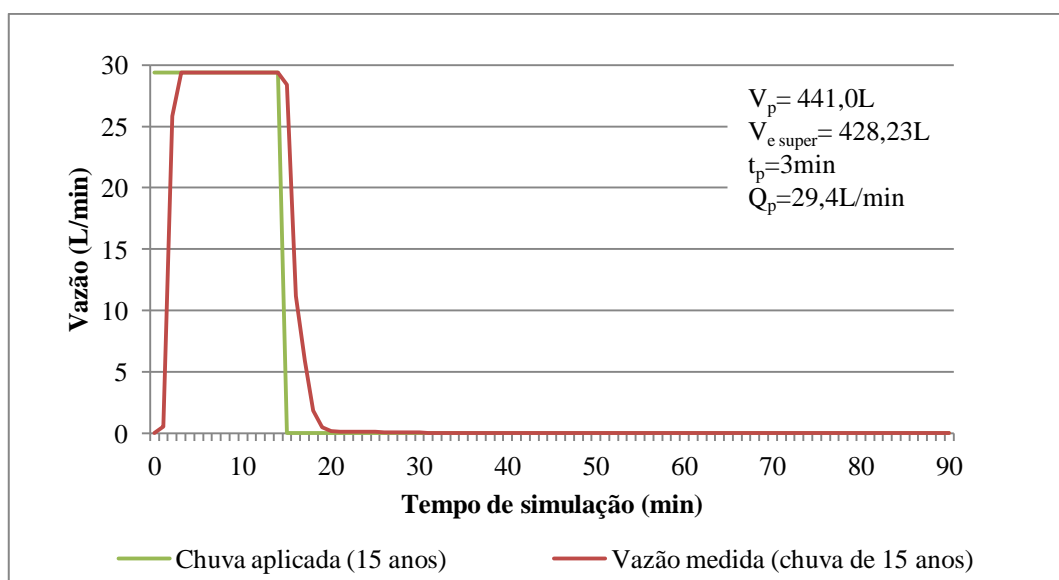


Figura 4.45 – Comportamento do escoamento superficial de chuvas curtas (15 minutos) simuladas no pavimento colmatado para 15 anos de recorrência

Dessa maneira, as chuvas curtas de 15 anos, no pavimento colmatado, apresentaram uma perda d'água da ordem de 12,72L, que corresponde a 3,44% do total precipitado.

4.5.2.2 – Chuvas longas no pavimento colmatado

Na sequência, as figuras 4.46 e 4.47 apresentam o comportamento do escoamento superficial para as chuvas longas para os períodos em estudo (5 e 15 anos de recorrência) De forma similar aos demais eventos chuvosos, também se constatou comportamento de padrão constante no escoamento dessas, repetindo as peculiaridades observadas no ensaio anterior, em que: i) onde praticamente todo volume de chuva escoou superficialmente em decorrência da colmatção do concreto poroso; e ii) o pequeno tempo de escoamento residual, que se encerrou por volta do minuto 155.

A tabela 4.18, a seguir, apresenta as fases de ascensão (primeiros 22 minutos) e o decaimento do fluxo (a partir do minuto 119), com suas respectivas durações, associadas às chuvas longas no pavimento colmatado. A série completa dos dados é encontrada em tabela do ANEXO F.

Tabela 4.18 – Vazões coletadas das chuvas longas em pavimento colmatado

TEMPO (min)	SUPERFICIAL (L/min)		SUBSUPERFICIAL (L/min)		TEMPO (min)	SUPERFICIAL (L/min)		SUBSUPERFICIAL (L/min)	
	5 anos	15 anos	5 anos	15 anos		5 anos	15 anos	5 anos	15 anos
0	0,00	0,00	0,00	0,00	7	6,45	7,75	0,00	0,00
1	0,00	0,00	0,00	0,00	8	6,45	7,75	0,00	0,00
2	5,01	6,22	0,00	0,00	9	6,45	7,75	0,00	0,00
3	6,45	7,75	0,00	0,00	10	6,46	7,75	0,00	0,00
4	6,45	7,75	0,00	0,00	11	6,46	7,75	0,00	0,00
5	6,45	7,75	0,00	0,00	12	6,46	7,75	0,00	0,00
6	6,45	7,75	0,00	0,00	13	6,46	7,75	0,00	0,00
120	6,46	7,75	0,02	0,02	137	0,01	0,01	0,01	0,01
121	6,01	4,51	0,02	0,02	138	0,01	0,01	0,01	0,01
122	3,75	1,78	0,02	0,02	139	0,01	0,01	0,01	0,01
123	1,48	0,87	0,02	0,02	140	0,01	0,01	0,01	0,01
124	0,72	0,40	0,02	0,02	141	0,01	0,01	0,01	0,01
135	0,02	0,02	0,01	0,01	142	0,01	0,01	0,01	0,01
136	0,01	0,01	0,01	0,01	143	0,00	0,01	0,01	0,01

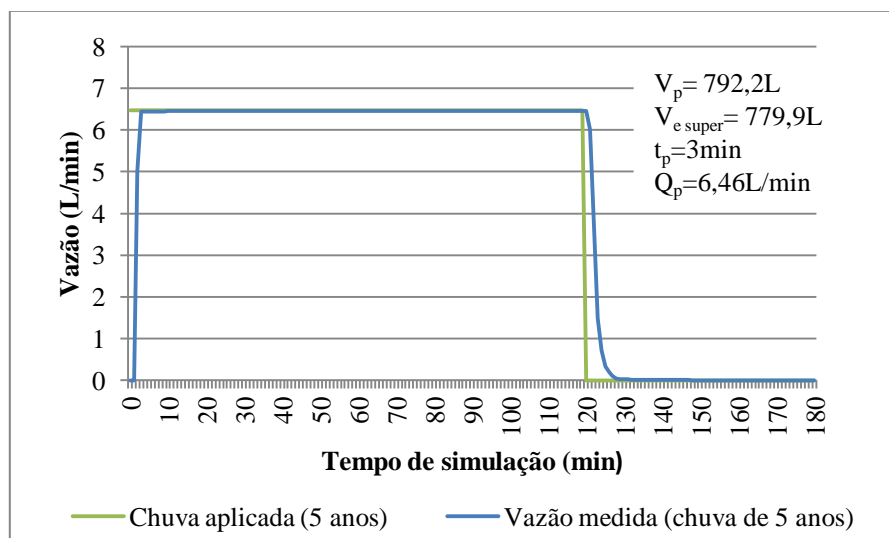


Figura 4.46 – Comportamento do escoamento superficial de chuvas longas (120 minutos) simuladas no pavimento colmatado para 5 anos de recorrência

Assim, as chuvas longas de 5 anos, no pavimento colmatado, apresentaram uma perda d'água da ordem de 12,26L, que corresponde a 1,55% do total precipitado.

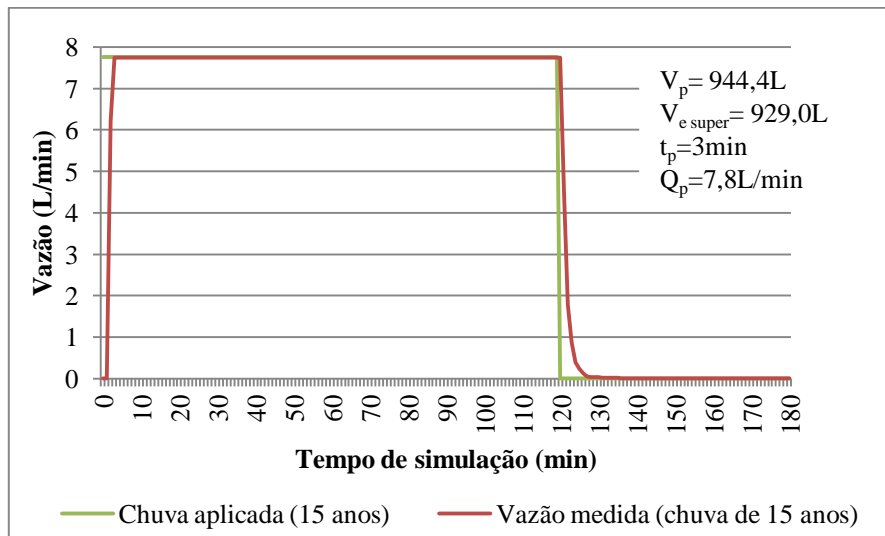


Figura 4.47 – Comportamento do escoamento superficial de chuvas longas (120 minutos) simuladas no pavimento colmatado para 15 anos de recorrência

As chuvas curtas de 15 anos no pavimento colmatado apresentaram uma perda d'água da ordem de 15,40L, que corresponde a 1,63% do total precipitado.

Em resumo às, a tabela 4.19 apresenta os tempos observados em cada uma das fases do evento chuvoso no pavimento colmatado.

Tabela 4.19 – Fases da chuva coletada no pavimento colmatado

FASE	SIGNIFICADO	TEMPO (min)
Início do escoamento	Tempo necessário para a molhagem das camadas até o início do escoamento.	2
Tempo de pico	Tempo decorrido desde o início da chuva até a estabilização do fluxo. Corresponde ao tempo de concentração na vaga (ou a microbacia) em estudo.	3
Retardo do pico	Tempo de permanência da máxima vazão após o término da chuva	1
Escoamento do volume armazenado	Tempo necessário para escoar cerca de 95% da chuva aplicada	5
Escoamento residual	Fase onde o escoamento existe, porém em vazões da ordem de 0,01L/min. Constitui parcela importante para a infiltração no solo.	12

A análise do comportamento observado das chuvas leva a constatar que:

- Ainda que irrisória, foi constatada infiltração da ordem de 0,5L de água, o que foi desprezado nesta análise, por não considerá-la representativa.
- O fluxo foi drenado, praticamente, apenas por um dos sistemas: a calha de coleta do escoamento superficial.
- Em face da característica do escoamento superficial, a vazão escoada cresce abruptamente com o início da chuva e decai na mesma velocidade com o encerramento da chuva.

4.5.3 – Chuvas no pavimento recuperado

Encerrados os trabalhos com o pavimento colmatado, procurou-se recuperar a permeabilidade do piso por meio da realização da limpeza do estacionamento segundo metodologia descrita no subitem 3.3.3. As restrições já discutidas em 4.3.7.3 impuseram a realização da lavagem com uso bomba de alta pressão sem a varredura a vácuo. Concluída a lavagem, foram reiniciadas as simulações de chuva.

Os escoamentos dessa fase também apresentaram padrão de comportamento bastante característico independentemente da impermeabilização do fundo da vaga 1. Nesse caso os

sedimentos não eliminados na limpeza passaram a constituir obstáculos à passagem da água, reduzindo a capacidade drenante do pavimento.

4.5.3.1 – Chuvas curtas no pavimento recuperado

Iniciando a análise pelas chuvas curtas, aplicadas ao pavimento recuperado, foi observado, como era esperado, um comportamento intermediário aos observados nos casos do pavimento novo e do pavimento colmatado. Com o pavimento recuperado, houve passagem de parcela da água através do piso drenante, com o restante da chuva escoando superficialmente sobre o pavimento.

A tabela 4.20 representa um extrato dos primeiros 29 minutos do escoamento no pavimento colmatado. A série completa dos dados é encontrada em tabela do ANEXO F. Nessas tabelas, pode-se observar o comportamento híbrido do pavimento na resposta à chuva aplicada, pois, enquanto o escoamento superficial se encerrou por volta do minuto 40, o infiltrado se prolongou até o final dos 90 minutos do monitoramento.

Tabela 4.20 – Vazões coletadas das chuvas curtas em pavimento recuperado

TEMPO (min)	SUPERFICIAL (L/min)		SUBSUPERFICIAL (L/min)		TEMPO (min)	SUPERFICIAL (L/min)		SUBSUPERFICIAL (L/min)	
	5 anos	15 anos	5 anos	15 anos		5 anos	15 anos	5 anos	15 anos
0	0,00	0,00	0,00	0,00	15	9,16	12,35	15,39	17,05
1	0,00	0,67	0,00	0,00	16	2,72	8,94	15,39	16,79
2	3,65	7,02	0,00	0,00	17	0,65	3,87	15,39	15,19
3	6,74	11,15	0,00	0,00	18	0,32	0,77	15,39	14,21
4	9,16	11,53	0,00	0,00	19	0,22	0,40	10,02	9,26
5	9,16	11,53	2,31	0,93	20	0,15	0,26	5,74	6,05
6	9,16	12,35	7,74	4,46	21	0,15	0,20	3,37	4,48
7	9,16	12,35	11,24	7,85	22	0,13	0,14	2,72	2,72
8	9,16	12,35	12,72	10,73	23	0,09	0,14	2,42	2,60
9	9,16	12,35	15,03	14,74	24	0,09	0,10	2,31	2,22
10	9,16	12,35	15,39	17,05	25	0,08	0,10	2,01	2,03
11	9,16	12,35	15,39	17,05	26	0,07	0,10	1,81	1,82
12	9,16	12,35	15,39	17,05	27	0,05	0,08	1,52	1,36
13	9,16	12,35	15,39	17,05	28	0,04	0,08	0,81	0,99
14	9,16	12,35	15,39	17,05	29	0,04	0,05	0,54	0,84

A figura 4.48 permite observar que, para a simulação da chuva de 5 anos de recorrência, a resistência à infiltração propiciou ao volume infiltrado um retardo superior ao até agora

observado no pavimento novo, que se repetiu, também, no decaimento do escoamento após o encerramento do evento chuvoso, quando comparado com o comportamento do pavimento colmatado. Comportamento análogo também é observado para a chuva de 15 anos de período de retorno (figura 4.49).

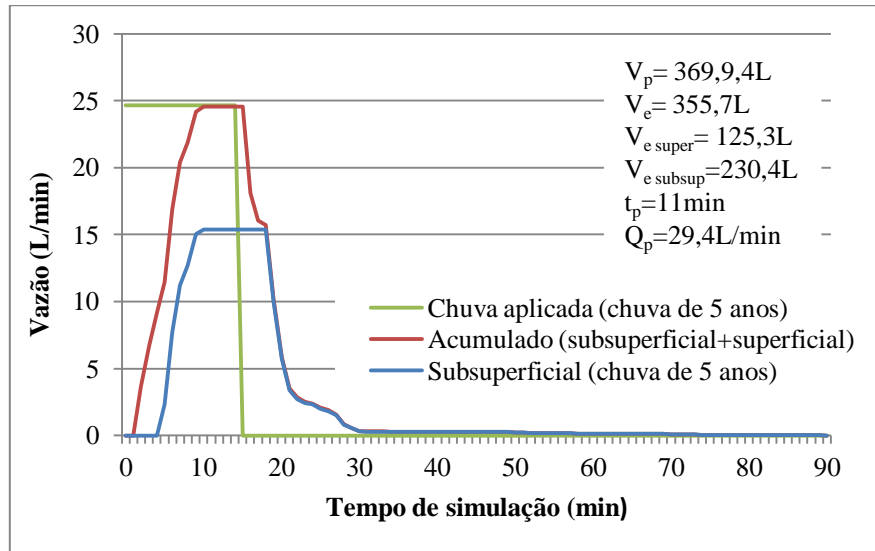


Figura 4.48 – Comportamento do escoamento de chuvas curtas (15 minutos) simuladas no pavimento recuperado para 5 anos de recorrência

Onde: $V_{e\ super}$ = Volume de água escoada superficialmente.
 $V_{e\ subsup}$ = Volume de água escoada superficialmente.

Assim, as chuvas curtas de 5 anos, no pavimento recuperado, apresentaram uma perda d'água da ordem de 14,23L, que corresponde a 3,23% do total precipitado.

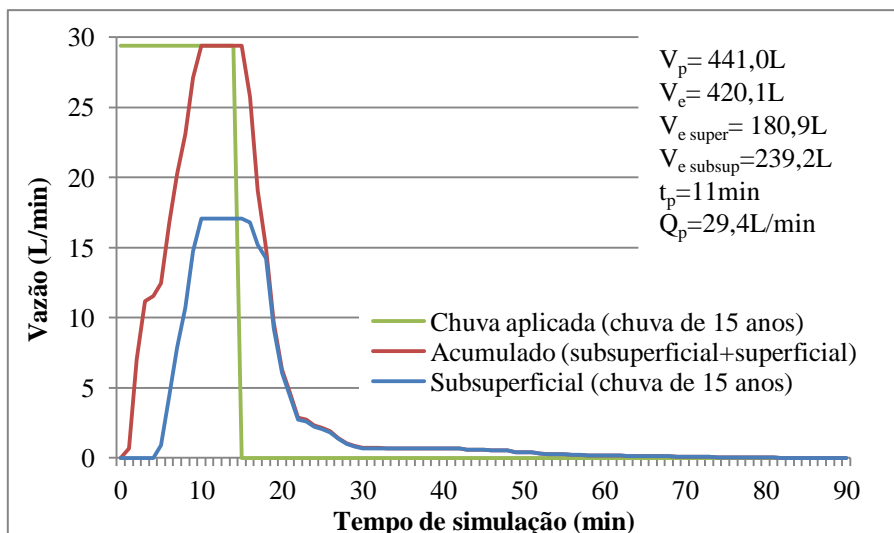


Figura 4.49 – Comportamento do escoamento de chuvas curtas (15 minutos) simuladas no pavimento recuperado para 15 anos de recorrência

Assim, as chuvas curtas de 15 anos no pavimento recuperado apresentaram uma perda d'água da ordem de 20,95L, que corresponde a 5,66% do total precipitado.

Dos gráficos apresentados nas figuras, também se pode constatar que o pavimento recuperado impõe um retardo maior à chuva infiltrada. Nos eventos controlados, o início do escoamento subsuperficial somente ocorreu após o quinto minuto de chuva.

Nessa etapa do experimento, constatou-se relativo sucesso na atividade de limpeza, tendo-se observado, inclusive, a não ocorrência de escoamento superficial para as chuvas longas (de menor intensidade).

4.5.3.2 – Chuvas longas no pavimento recuperado

Na sequência, a tabela 4.21 e as figuras 4.50 e 4.51 apresentam o comportamento do escoamento superficial para as chuvas longas para os períodos em estudo (5 e 15 anos de recorrência). Neste conjunto de chuvas, ocorreu um comportamento um pouco diferente dos demais apresentados até aqui, pois a intensidade não atingiu o limite máximo da permeabilidade dos pavimentos recuperados, o que privou a ocorrência do escoamento superficial. Contudo, as colmatação parcial remanescente pode ter imposto um retardo ao trânsito da água no interior do pavimento, sugerindo um retardo similar ao visto nas chuvas curtas em pavimento recuperado.

A tabela 4.21, a seguir, apresenta as fases de ascensão (24 minutos para 5 anos e 51 minutos para 15 anos) e o decaimento do fluxo (a partir do minuto 119), com suas respectivas durações, associadas às chuvas longas no pavimento colmatado. A série completa dos dados é encontrada em tabela do ANEXO F.

Tabela 4.21 – Vazões coletadas das chuvas longas em pavimento recuperado

TEMPO (min)	SUPERFICIAL (L/min)		SUBSUPERFICIAL (L/min)		TEMPO (min)	SUPERFICIAL (L/min)		SUBSUPERFICIAL (L/min)	
	5 anos	15 anos	5 anos	15 anos		5 anos	15 anos	5 anos	15 anos
0	0,00	0,00	0,00	0,00	13	0,00	0,00	6,42	7,58
1	0,00	0,00	0,00	0,00	14	0,00	0,00	6,42	7,58
2	0,00	0,00	0,00	0,00	15	0,00	0,00	6,42	7,58
3	0,00	0,00	0,00	0,00	16	0,00	0,00	6,42	7,58
4	0,00	0,00	0,00	0,00	17	0,00	0,00	6,42	7,58
5	0,00	0,00	2,13	2,31	18	0,00	0,00	6,42	7,58
6	0,00	0,00	5,37	5,20	19	0,00	0,00	6,42	7,58
7	0,00	0,00	6,08	6,45	20	0,00	0,00	6,42	7,58
8	0,00	0,00	6,08	7,58	21	0,00	0,00	6,42	7,58
9	0,00	0,00	6,08	7,58	22	0,00	0,00	6,42	7,58
10	0,00	0,00	6,08	7,58	23	0,00	0,00	6,42	7,58
11	0,00	0,00	6,08	7,58	24	0,00	0,00	6,52	7,58
12	0,00	0,00	6,42	7,58	25	0,00	0,00	6,52	7,68
48	0,00	0,00	6,52	7,78	51	0,00	0,00	6,52	7,87
49	0,00	0,00	6,52	7,78	52	0,00	0,00	6,52	7,87
50	0,00	0,00	6,52	7,78	53	0,00	0,00	6,52	7,87
119	0,00	0,00	6,52	7,87	125	0,00	0,00	1,07	1,62
120	0,00	0,00	6,52	7,87	129	0,03	0,03	0,46	0,48
121	0,00	0,00	6,52	7,87	127	0,00	0,00	0,15	0,09
122	0,00	0,00	6,52	7,87	128	0,00	0,00	0,09	0,09
123	0,00	0,00	4,18	5,75	129	0,00	0,00	0,09	0,09
124	0,00	0,00	2,31	3,64	130	0,00	0,00	0,09	0,09

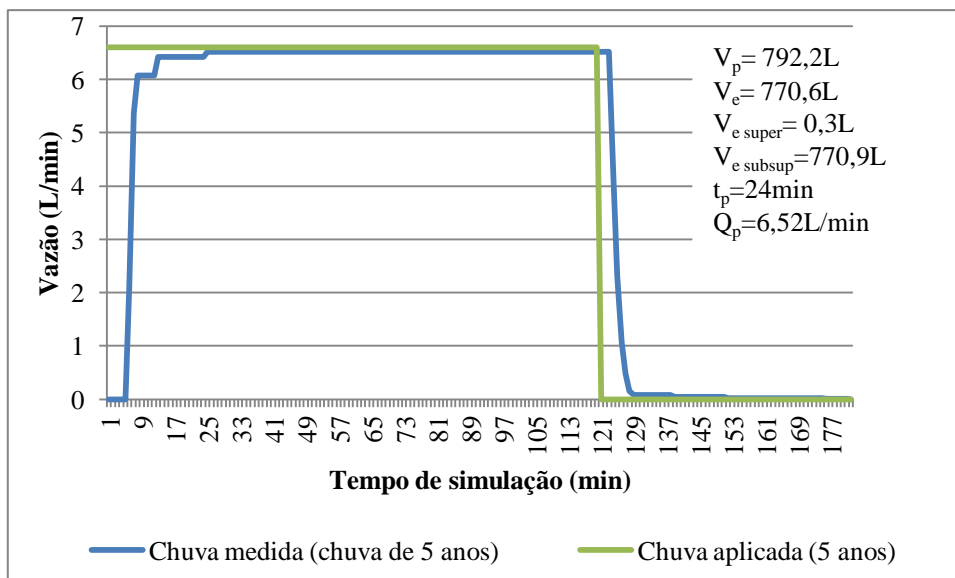


Figura 4.50 – Comportamento do escoamento de chuvas longas (15 minutos) simuladas no pavimento recuperado para 5 anos de recorrência

As chuvas longas de 5 anos no pavimento recuperado apresentaram, desse modo, uma perda d'água da ordem de 21,25L, que corresponde a 2,68% do total precipitado.

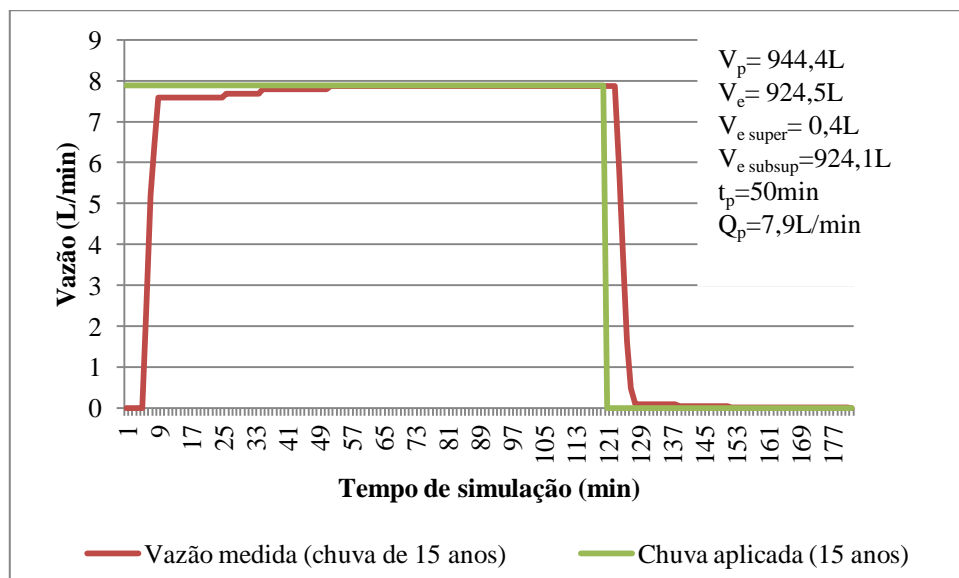


Figura 4.51 – Comportamento do escoamento de chuvas longas (120 minutos) simuladas no pavimento recuperado para 15 anos de recorrência

As chuvas longas de 15 anos no pavimento recuperado apresentaram, assim, uma perda d'água da ordem de 19,72L, que corresponde a 2,11% do total precipitado.

Como um resumo dos resultados das chuvas no pavimento recuperado, a tabela 4.22 apresenta os tempos observados em cada uma das fases do evento chuvoso nesse pavimento.

Tabela 4.22 – Fases da chuva coletada no pavimento recuperado

FASE	SIGNIFICADO	TEMPO (min)
Início do escoamento	Tempo necessário para a molhagem das camadas até o início do escoamento.	1 (superficial) 15 (infiltrado)
Tempo de pico	Tempo decorrido desde o início da chuva até a estabilização do fluxo. Corresponde ao tempo de concentração na vaga (ou a microbacia) em estudo.	3
Retardo do pico	Tempo de permanência da máxima vazão após o término da chuva	1
Escoamento do volume armazenado	Tempo necessário para escoar cerca de 95% da chuva aplicada	120
Escoamento residual	Fase onde o escoamento existe, porém em vazões da ordem de 0,01L/min. Constitui parcela importante para a infiltração no solo.	12

A análise do comportamento observado das chuvas leva a constatar que:

- A limpeza do pavimento não atingiu a total recuperação, determinando um novo valor de permeabilidade para cada vaga de estacionamento.
- Nas chuvas longas, a menor vazão permitiu que o fluxo fosse drenado apenas por um dos sistemas: drenos de coleta do escoamento infiltrado.
- Em face da característica do escoamento superficial, a vazão escoada cresce abruptamente com o início da chuva e decai com velocidade similar com o encerramento da chuva, enquanto que o infiltrado apresenta maior retardo para o início do escoamento e o atingimento do pico.

4.5.4 – A influência do índice de vazios do concreto poroso na permeabilidade

Durante a confecção das vagas de estacionamento, como salientado no item 4, houve a intenção de se aplicar uma leve vibração sobre a superfície da vaga 2, para que ocorresse

menor índice de vazios, maior resistência mecânica e menor permeabilidade (tabela 4.11), o que se apresentou em consonância com o preconizado pela EPA (1999).

Considerando-se a diferença entre as características das vagas, a tabela 4.21 apresenta a capacidade máxima de escoamento das chuvas curtas de recorrência de 15 anos para cada uma das três vagas.

Tabela 4.23 – Vazões coletadas das chuvas curtas de 15 anos em pavimento recuperado

TEMPO	VAGA 1 (L/min)		VAGA 2 (L/min)		VAGA 3 (L/min)	
	Superficial	Subsuperficial	Superficial	Subsuperficial	Superficial	Subsuperficial
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	7,48	0,00	0,48	0,00	0,09	0,00
3	10,45	0,00	15,52	0,00	7,50	0,00
4	11,57	0,00	15,52	0,00	7,50	0,00
5	11,57	2,40	15,52	0,00	7,50	0,40
6	14,03	8,36	15,52	2,31	7,50	2,71
7	14,04	11,66	15,52	4,75	7,50	7,14
8	14,04	13,03	15,52	6,74	7,50	12,43
9	14,04	15,18	15,52	12,03	7,50	17,02
10	14,04	15,36	15,52	13,87	7,50	21,90
11	14,04	15,36	15,52	13,87	7,50	21,90
12	14,04	15,36	15,52	13,87	7,50	21,90
13	14,04	15,36	15,52	13,87	7,50	21,90
14	14,04	15,36	15,52	13,87	7,50	21,90
15	14,04	15,36	15,52	13,87	7,50	21,90
16	3,79	15,36	15,52	13,09	7,50	21,90
17	0,90	15,36	8,75	8,30	1,95	21,90
18	0,33	15,36	1,33	5,37	0,65	21,90
19	0,21	11,57	0,65	2,72	0,34	13,49
20	0,21	6,74	0,34	2,72	0,23	8,70
21	0,21	5,37	0,23	2,31	0,15	5,77
22	0,12	2,72	0,15	2,31	0,15	3,12
23	0,12	2,72	0,15	1,95	0,15	3,12
24	0,12	2,31	0,09	1,62	0,09	2,71
25	0,12	2,41	0,09	1,17	0,09	2,51
26	0,12	2,31	0,09	0,84	0,09	2,31
27	0,06	1,62	0,09	0,84	0,09	1,62
28	0,06	1,07	0,09	0,84	0,09	1,07
29	0,06	0,84	0,04	0,84	0,04	0,84
30	0,06	0,35	0,04	0,84	0,04	0,84

Em seguida, compararam-se as curvas de escoamento das chuvas por meio do gráfico, apresentado na figura 4.52, em que é possível constatar a relação direta entre o índice de vazios (tabela 4.11) e a capacidade de recuperação da permeabilidade do piso colmatado, o que reflete na permeabilidade dos pisos no longo prazo.

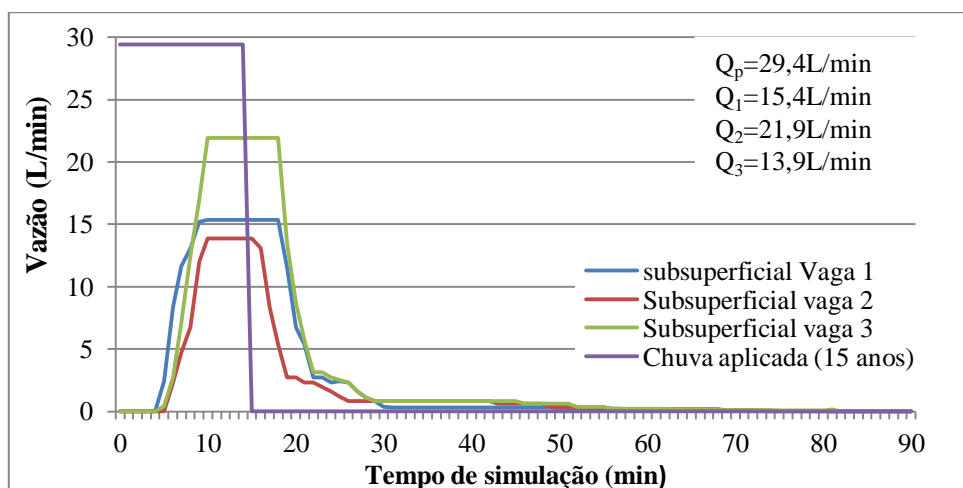


Figura 4.52 – Comportamento da vazão infiltrada nas três vagas decorrentes de chuvas curtas no pavimento recuperado

4.5.5 – A contribuição do pavimento para o retardo do tempo de pico do escoamento de chuvas

Na tabela 4.24, é possível observar a comparação de desempenho entre os estados do pavimento para diferentes chuvas e diferentes tempos de coleta. Para a montagem dessa tabela, foram considerados todo o volume de água precipitado, como dado de entrada. Como saída, foram considerados o somatório dos escoamentos superficial e o subsuperficial.

Em virtude da diversidade de intensidades e durações das chuvas estudadas, buscou-se avaliar o desempenho do estado do pavimento considerando o percentual de água escoada total, em relação ao volume precipitado, ao longo do experimento, incluindo o período após o final da chuva. O critério adotado permitiu a comparação do que seria um “tempo de entrega” da água de chuva ao sistema público de drenagem urbana, em três estados de permeabilidade diferentes.

Em ambas as durações de chuva, o pavimento colmatado levou a um menor ganho ambiental em decorrência de ter apresentado maiores percentuais de escoamento, o que implica, maior celeridade do escoamento do volume precipitado em relação ao pavimento novo.

Já o pavimento recuperado, que apresentou comportamento intermediário em relação às duas outras situações, propiciou maior tempo de retardo que o pavimento colmatado, porém inferior ao pavimento novo nas chuvas curtas. Nas pequenas intensidades das chuvas longas, o pavimento não apresentou escoamento superficial, o que conferiu desempenho similar ao pavimento novo.

Tabela 4.24 – Percentual de água coletada (superficial e subsuperficial) no decorrer do tempo durante os experimentos

DURAÇÃO	TEMPO DE COLETA (min)	PAVIMENTO NOVO	PAVIMENTO COLMATADO	PAVIMENTO RECUPERADO
CURTAS (15min)	15	70,67%	92,42%	70,10%
	30	95,25%	97,27%	92,34%
	60	94,35%	97,34%	95,06%
	90	94,77%	97,36%	95,58%
LONGAS (120min)	15	7,56%	11,27%	7,97%
	30	19,39%	23,54%	20,15%
	60	43,78%	48,08%	44,09%
	120	95,75%	97,16%	94,61%
	180	97,22%	98,41%	97,61%

Por meio de consulta à tabela 4.25, é possível, também, constatar um padrão também para a “perda d’água” nos variados eventos chuvosos simulados, ficando nos dois extremos o pavimento novo, que registrou perdas médias maiores, da ordem de 23L por chuva, e o pavimento colmatado, que registrou as menores perdas, da ordem de 12L para os eventos simulados. Esse padrão era esperado e coerente, tendo em vista que as perdas costumam ser maiores quanto maior for o tempo do escoamento total.

Tabela 4.25 – Volume de perda d’água nas simulações de chuva

TIPO DAS CHUVAS	TEMPO DE RECORRÊNCIA (anos)	CONDIÇÃO DO PAVIMENTO		
		Novo (L)	Colmatado (L)	Recuperado (L)
Curtas	5	18,85	8,86	15,23
	15	23,63	12,72	20,95
Longas	5	23,08	12,26	21,25
	15	25,08	15,40	19,89

Por extensão, pode-se inferir que os valores de perda d’água encontrados para os pavimentos recuperados, intermediários entre as outras duas situações, são decorrentes da característica híbrida de seu escoamento.

É possível inferir que a passagem da água pelas camadas drenantes a causa perdas, que podem ser explicadas pelo:

- volume de água necessário à molhagem da superfície dos grãos da brita do colchão drenante;
- volume de água que permanece retido nos vazios do concreto poroso;
- volume retido no colchão responsável pelo longo período de escoamento residual; e
- volume maior de água evaporado no caso de maior permanência da água no aparato experimental.

Por extensão, o pavimento recuperado, por ter apresentado comportamento hidráulico intermediário, deveria apresentar valor de perda balizado pelos limites das perdas de água dos pavimentos novo e colmatado, o que se confirmou, uma vez que as perdas de água do pavimento recuperado foram da ordem de 17L de água.

Em um estacionamento “real”, a tubulação drenante não seria assentada no fundo do colchão drenante, mas em posição mais elevada, conforme figura 3.13, o que poderia disponibilizar cerca de 20cm de profundidade de armazenamento ou aproximadamente de 105L/m² (Anexo B) até que o início do escoamento para a rede pública. Ou seja, o dispositivo real teria capacidade de absorver uma chuva instantânea de 105mm sem transmitir escoamento para a rede pública. Ou, ainda, absorver o escoamento de outras áreas impermeabilizadas.

Sobre esse aspecto, com uma chuva de 15 anos em 15min, ter-se-ia uma precipitação de 35,28mm. Isso permitiria considerar que cada 1m² de concreto poroso teria capacidade de suportar 3m² de área drenada sem a ocorrência de escoamento para a rede pública de drenagem, permitindo combinações de pavimentos em diversas configurações de estacionamento conforme ilustrado na figura 4.53.

Tomando por base os mesmos parâmetros de chuva, de espessura de camadas, e de índices de vazios acima descritos, a capacidade de drenagem poderia atingir até 5,5m² para cada 1m² de concreto poroso. Para isso, o uso do pavimento seria convertido para uma estrutura exclusivamente de infiltração, por meio da retirada dos tubos dreno. Nessas condições, a capacidade de reservação poderia atingir até 194L/m², sendo 26L/m² referentes à placa de concreto e 168L/m² obtidos no colchão drenante.

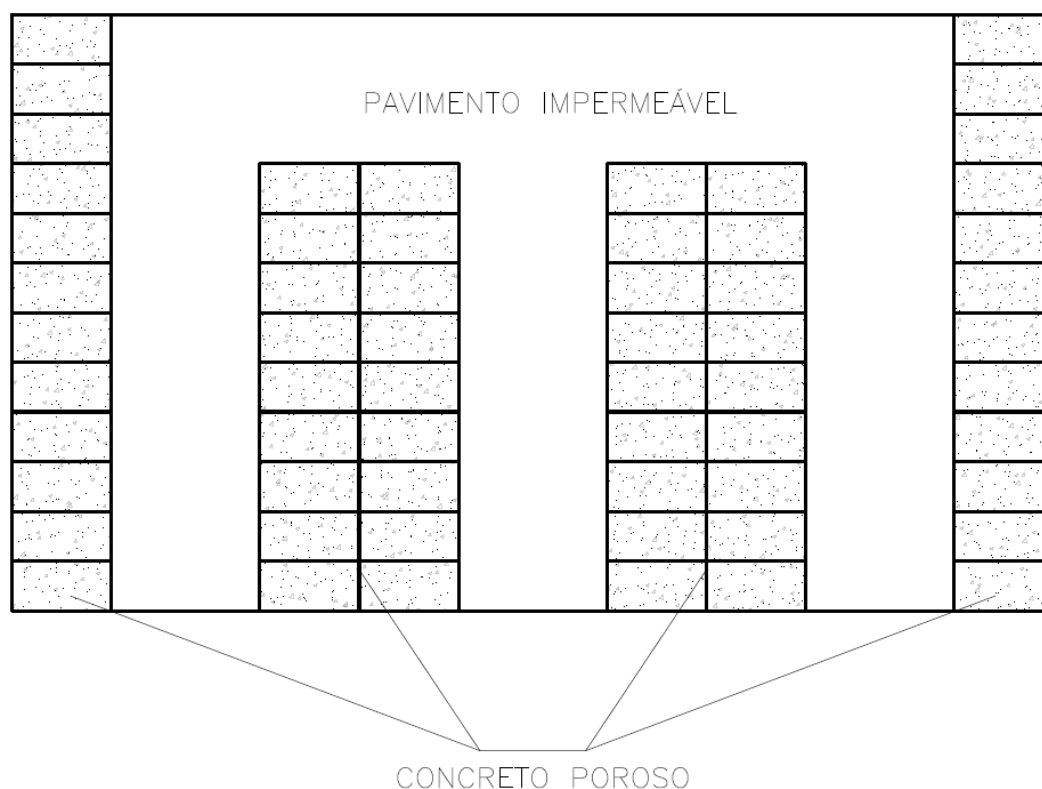


Figura 4.53 – Combinação de materiais de pavimento em estacionamento

Também há de ser considerada a permeabilidade do solo, pois uma vez tendo ocorrido a retenção de água, o mecanismo de infiltração passa a atuar. Na tabela 4.1, apresenta-se uma indicação de taxa de aplicação da ordem de 0,5m³/(m².dia).

Associando-se assim, o uso do reservatório à permeabilidade do solo em estudo, pode-se afirmar que, mantida a permeabilidade do concreto poroso, a depender do intervalo da chuva anterior, que impacta no grau de saturação do solo e sua permeabilidade, o conjunto do pavimento permeável experimental teria condições de suportar chuvas volumosas, além de armazenar e infiltrar escoamentos provenientes de áreas adjacentes.

Dada a diversidade de situações de chuva, não é possível estabelecer ou padronizar um tempo de retardo ou de atenuação da chuva. Todavia é possível, nas condições experimentais adotadas, calcular o volume de armazenamento e estimar o tempo de retenção, até uma completa infiltração no solo.

4.5.6 – Contribuição do fundo do pavimento na recarga do aquífero

Conforme já descrito, a vaga 1 teve seu fundo impermeabilizado com argamassa e manta betuminosa, enquanto que as demais tiveram em seus respectivos fundos apenas um processo de compactação do solo e de assentamento de uma manta geotêxtil.

A infiltração no solo pelo fundo do pavimento foi analisada segundo duas abordagens. A primeira tratou de comparar o volume d'água precipitado com o coletado, estimando-se a diferença. Na segunda, procedeu-se o monitoramento da altura da coluna d'água no interior do colchão drenante e sua velocidade de infiltração no solo.

Em relação às diferenças de volumes, na primeira abordagem foram observadas perdas no volume de água coletados da ordem de 10L nas três vagas quando o piso estava colmatado, ou seja, quando a chuva não penetrou no pavimento. Entretanto nos eventos realizados com pavimento novo e pavimento recuperado, quando a chuva perpassou as duas camadas (concreto poroso e colchão drenante) a perda de água foi igualmente da ordem de 20L para cada uma das três vagas. Nas condições experimentais adotadas, portanto, pode-se inferir que não teria ocorrido infiltração no solo em nenhuma das três vagas.

Consideram-se, como prováveis razões para o resultado, as seguintes possibilidades:

- a compactação do solo realizada com vistas a melhorar o desempenho mecânico do pavimento acabou por provocar o fechamento dos vazios e reduziu a permeabilidade do solo;
- os materiais finos incorporados ao colchão drenante por ocasião do lançamento e espalhamento da brita, que se depositaram no fundo do colchão contribuíram para obstruir os poros da manta geotêxtil; e
- a manta geotêxtil ofereceu resistência ao fluxo d'água, que fluiu para o caminho preferencial ofertado pelos tubos dreno instalados ao fundo dessa camada.

Com relação à segunda abordagem, a análise ocorreu por meio dos tubos piezométricos indicados no corte DD da figura 4.5, e detalhado na figura 4.9. O sistema piezométrico foi instalado apenas nas vagas 2 e 3 pois a vaga 1 teve seu fundo impermeabilizado com manta betuminosa.

Foi, então, realizado um evento chuvoso de 30 minutos, de 15 anos de recorrência e com os registros de manejo mantidos fechados. Era esperado que os tubos piezométricos apontassem o enchimento do reservatório de brita (colchão drenante) e a posterior variação de altura da coluna d'água, na medida em que ocorresse a infiltração da água no solo, contudo não foi possível detectar tais variações.

Considera-se, como provável razão para o ocorrido, o fato de a entrada do tubo ter sido disposta sob a manta geotêxtil, instalada de forma contínua por todo piso das vagas, o que inseriu perda de carga indesejada e retirou a sensibilidade necessária para esse tipo de medição.

4.6 – ANÁLISE DE CUSTOS

O custo de um sistema de drenagem urbana, assim como os demais projetos de engenharia, de maneira geral é composto de duas importantes parcelas: custo de implantação e o custo de operação e manutenção.

Os custos de implantação incluem os desembolsos para estudo, projeto, levantamentos, desapropriação, indenização e implantação da obra. Os custos de operação e manutenção consideram os necessários para a utilização do sistema em condições normais de

funcionamento, bem como os reparos, inspeções e revisões necessárias durante a vida útil da obra e as recuperações decorrentes de eventos de falhas já previstas em projeto (risco calculado).

Com o intuito de colaborar com as reflexões sobre a viabilidade financeira do uso do concreto poroso em larga escala para empreendimentos diversos, foi feita uma análise comparativa entre o custo de investimento, considerando o concreto poroso e mais três das principais técnicas de pavimentação, utilizadas nas cidades do país, sendo elas: a pavimentação asfáltica, o bloco poliédrico de rocha (paralelepípedo) e os blocos intertravados de concreto.

Os serviços envolvidos diretamente na construção de uma via estão relacionados na tabela 4.24, considerando os serviços diretamente envolvidos na construção de 1 metro de uma via nas seguintes condições:

- duas faixas de rodagem de 3,60 m de largura cada, totalizando 7,2 m de pavimento;
- sarjetas e meios fio em ambos os lados; e
- sistema de drenagem apenas de um lado.

Em resumo, o valor determinado ao final da tabela representa a implantação de uma área de 7,2m² para cada um dos pavimentos comparados.

Para que fosse possível a comparabilidade dos valores encontrados, todos os custos apontados foram extraídos do SINAPI, tomando por base o banco de dados de Brasília, para o mês de julho de 2013.

Independentemente das vantagens ambientais associadas à existência do concreto poroso, relatadas em literatura, observa-se que, sob a perspectiva de custo, trata-se de alternativa mais cara em comparação com as outras apresentadas.

Se contabilizadas as necessidades adicionais de escavação, carga, transporte e bota-fora do material natural, além dos serviços de aquisição e distribuição da brita, é possível constatar um custo adicional da ordem de 20% do concreto poroso sobre a pavimentação por blocos

intertravados ou CBUQ. Dessa forma, sendo o colchão drenante o grande fator de diferenciação de custos, fica evidente a importância do seu adequado dimensionamento.

Na presente análise, não foram realizadas análises dos custos de operação e manutenção, porém, como ordem de referência, a despeito da pouca informação, a EPA (1999) considera que o custo de manutenção do concreto poroso chega valores da ordem de US\$4.942,00/ha.ano considerando, para isso, quatro inspeções anuais com bombas domésticas de alta pressão e de vácuo.

A atualização do valor informado por EPA (1999) pelo o *Consumer Price Index for All Urban Consumers (CPI-U)*, calculado pelo *U.S. Bureau of Labor Statistics (BLS)*, considerando a variação de setembro de 1999 até julho de 2013, com os respectivos índices de 167,90 e 233,596. Obteve-se, assim, um percentual de 39,13% de inflação. Dessa forma, o custo presente de manutenção, a partir da estimativa de EPA (1999) é de US\$0,69/(m².ano). Por fim, adotando a cotação de R\$2,40 para cada US\$1,00, obtém-se, o custo atual de manutenção do concreto poroso da ordem de R\$1,65/(m².ano) o que, tomando os valores apresentados na tabela 4.24, permite constatar que a manutenção consumiria recursos anuais da ordem de 1,5% do custo de implantação.

Importante ressaltar que essa análise não contabilizou os eventuais ganhos econômicos associados aos benefícios ambientais proporcionados pelas diferentes técnicas de pavimentação.

Ao reduzir o escoamento, o concreto poroso certamente propicia um benefício ambiental maior, ao reduzir o transporte de sedimentos e evitar erosões, o que proporciona melhoria da qualidade da água.

Tabela 4.26 – Planilha orçamentária dos serviços de implantação

SERVIÇO	UNID	CÓDIGO SINAPI	CUSTO UNITÁRIO	QUANTIDADES DE CADA TÉCNICA CONSTRUTIVA				CUSTOS DE CADA TÉCNICA CONSTRUTIVA			
				CONCRETO POROSO	BLOCOS INTERTRAV	PARALELEP	CBUQ	CONCRETO POROSO	BLOCOS INTERTRAV	PARALELEP	CBUQ
SERVIÇOS COMUNS											
Limpeza superficial da camada vegetal em jazida	m²	73903/001	0,49	10,20	10,20	10,20	10,20	5,00	5,00	5,00	5,00
Locação convencional de obra, através de gabarito de tabuas corridas pontaladas a cada 1,50m, sem reaproveitamento	m²	73992/001	7,20	10,20	10,20	10,20	10,20	73,44	73,44	73,44	73,44
Escavação manual a céu aberto em material de 1ª categoria, em profundidade até 0,50m	m³	78018	17,98	5,10	3,06	3,06	3,06	91,70	55,02	55,02	55,02
Compactação mecânica a 100% do proctor normal - pavimentação urbana	m³	41722	4,02	2,16	2,16	2,16	2,16	8,68	8,68	8,68	8,68
Meio-fio com sarjeta, executado o/extrusora (sarjeta 30x8cm meio-fio 15x10cm x h=23cm), inclui esc. e acerto faixa 0,45m	m	74237/001	21,58	2,00	2,00	2,00	2,00	43,16	43,16	43,16	43,16
Caixa tipo boca lobo 30x90x90cm, em alv tij macico 1 vez, revestida com argamassa 1:4 cimento:areia, sobre base de concreto simples fck=10MPa, com grelha fofo 135kg, incluindo escavação e reaterro.	Un	73950/001	935,03	0,03	0,03	0,03	0,03	28,05	28,05	28,05	28,05
Fornecimento e assentamento de tubos de concreto com junta elástica - DN 300mm	m	73879/001	12,36	1,00	1,00	1,00	1,00	12,36	12,36	12,36	12,36
PAVIMENTAÇÃO EM CONCRETO PERMEÁVEL											
Fornecimento e assentamento de manta geotêxtil RT-31 (antigo OP-60) BIDIM	m²	74167/001	17,03	7,20				122,62			
Camada drenante com brita nº 3	m³	73902/001	83,10	2,16				179,50			
Cimento Portland comum CP-1	Kg	1279	0,39	270,00				105,30			
Betoneira elétrica 320L	h	4877	11,54	0,71				8,24			
Servente ou operário	h	6111	7,49	5,00				37,45			
Pedra britada n. 0 pedrisco ou cascalhinho	m³	4720	66,88	1,00				66,88			
PAVIMENTAÇÃO EM "BLOCKRET"											
Pavimentação em blocos intertravados de concreto sextavado, espessura 8cm, fck 35MPa, assentados sobre colchão de areia	m²	73764/005	46,23		7,20				325,08		
Compactação de pavimento polidétrico	m²	72971	0,27		7,20				1,87		
PAVIMENTAÇÃO DE PARALELEPÉDOS											
Pavimentação de paralelepíedros sobre colchão de areia 10cm, rejuntado com areia	m²	72799	54,40			7,20				338,62	
Compactação de pavimento polidétrico	m²	72971	0,27			7,20				1,87	
PAVIMENTAÇÃO ASFALTICA											
Imprimação de base de pavimentação com emulsão CM-70	m³	72946	3,32				7,20				23,54
Transporte local de massa asfáltica - Pavimentação urbana	m³xkm	83357	0,76				3,60				2,74
Fabricação e aplicação de concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ), cap 50/70, exclusive transporte	T	72965	187,27				0,86				157,51
				CUSTO TOTAL (R\$)				782,37	552,66	566,20	409,4969
				CUSTO UNITÁRIO TOTAL				108,66	76,76	78,64	56,87

5 –AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS E DISCUSSÃO

No presente capítulo, busca-se resumir e discutir os resultados mais relevantes desta pesquisa.

Como opção de apresentação, as análises iniciam-se abordando os resultados associados à construção do aparato experimental (estacionamento), envolvendo na análise o impacto do desempenho do material de sucesso na execução do pavimento.

No tópico seguinte é discutido o desempenho hidráulico do pavimento, analisando-se os aspectos relacionados às capacidades drenantes dos pavimentos novo, colmatado e recuperado.

Por fim, as análises consideraram o aspecto da comparação dos custos envolvidos, especulando sobre a viabilidade econômica de utilização desses pavimentos porosos em larga escala.

5.1 – DESEMPENHO CONSTRUTIVO

Durante a implantação do estacionamento, foi acompanhada a adequação do processo construtivo com o projeto e as orientações obtidas da bibliografia, particularmente NRMCA (2008) e ACI(2010).

A construção do estacionamento aconteceu, em linhas gerais, conforme o planejado. O sucesso se deu em grande parte em função de os serviços realizados serem de uso corrente nas obras de engenharia. A ressalva ficou na execução do concreto poroso, que se mostrou inovador para todos os participantes da obra, desde os ajudantes até o operador do caminhão betoneira.

A seguir, apresentam-se alguns aspectos observados:

- Sobre o solo natural, observou-se que apesar de composto predominantemente por material fino, esse apresentou bom coeficiente de permeabilidade, o que facilita infiltração da chuva no terreno. A infiltração de chuva no solo natural não provocou afloramento do lençol freático nos períodos chuvosos do experimento.

- Estruturalmente, o terreno apresentou bom ISC, de forma que a boa capacidade de suporte do subleito não constituiria um óbice à execução de obras dessa natureza, que até permitiria dispensar o uso da compactação na execução dessa camada, o que evitaria a redução da boa capacidade de infiltração do solo.

- Como previsto pelo levantamento topográfico, o local se mostrou coletor de sedimentos finos transportados pelas chuvas e de folhas de árvores. Aliando-se a essa característica, a limpeza deficiente das sarjetas a montante contribuiu para o atingimento do objetivo de se chegar a uma desejada colmatação do pavimento.

- A dificuldade de se obter o perfeito nivelamento da brita no colchão drenante acabou por consumir parte da espessura inicialmente prevista para o concreto poroso com brita, tornando a placa de concreto com espessura menor que o previsto em projeto.

- Em contraste ao concreto produzido para a parcela experimental, que foi dosado com precisão, o estacionamento apresentou uma mistura mais compacta, em virtude de motivos como: parcela de finos incorporada às duas britas, apontada nos ensaios de granulometria; falta de precisão nos instrumentos de medição dos volumes de brita e de água adicionados à mistura, que pode ter desbalanceado as proporções do traço e, por consequência, um concreto com menor índice de vazios; e o efeito da vibração, particularmente sobre o concreto fresco da vaga 2.

- A compactação do subleito, a instalação da manta e o material fino carregado pela brita acabam por propiciar um efeito similar a uma impermeabilização realizada na vaga 1, o que sugere necessidade de maior controle durante a execução e a operação do aparato experimental.

- Possivelmente a manta geotêxtil tenha se mostrado como um obstáculo à infiltração das chuvas no terreno, o que levaria a contribuir para prevenir a contaminação do lençol freático por contaminantes carregados pela drenagem urbana.

- A dosagem, a mistura e o lançamento do concreto foram feitos por três caminhões e três operadores diferentes, o que associado à inexperiência no trato do material por toda a equipe, levou à produção de três traços com características diferentes, como se observou nos resultados de ensaios de índices de vazios e resistência à compressão do concreto para as três vagas.

- Não foi observada a presença de fissuras de retração nas placas de concreto de nenhuma vaga de estacionamento. Os motivos prováveis poderiam ser: i) os panos de concretagem não teriam dimensões excessivamente grandes; ii) a adequada atenção

dispensada ao processo de cura; ou iii) a ação de algum aditivo melhorador de desempenho presente na composição da AAR.

- A leve vibração aplicada ao colchão drenante com o objetivo de promover o travamento da brita pode ter contribuído para a manutenção da integridade da placa de concreto sem o aparecimento de fissuras.

- O concreto apresentou razoável desempenho mecânico, o que o habilitaria ao uso em vias de pequeno e médio tráfegos.

- Os índices de vazios alcançados poderia habilitar o uso do material como técnica sustentável de *retrofit* dos sistemas de drenagem urbana, nos termos do item 3.1 do presente estudo.

- Em face da falta de cultura de manutenção de equipamentos públicos e da dificuldade de sua execução no concreto poroso, o local de aplicação dessa técnica deve ser muito bem avaliada, uma vez que o transporte de sedimentos pode promover rápida inutilização da capacidade drenante do sistema.

5.2 – DESEMPENHO HIDRÁULICO

Sobre os resultados obtidos das simulações de chuvas foram observados alguns aspectos, especificados a seguir:

- Os pavimentos novos tiveram permeabilidades muito superiores aos eventos chuvosos impostos;

- A pretendida colmatção foi perfeitamente alcançada, levando a uma vazão infiltrada desprezível para essa condição experimental;

- Não se logrou obter o equipamento de sucção para a realização da recuperação da permeabilidade do concreto, o que não permitiu reproduzir os altos índices de recuperação apontados pela bibliografia referenciada.

- Percebeu-se que nos eventos chuvosos em que a água não atravessou o pavimento, a perda d'água foi de cerca de 23L para os pavimentos novos, enquanto que as que escoaram superficialmente (pavimento colmatado) a perda foi de apenas 12L, o que permite concluir que para a molhagem do concreto e grãos de brita, são consumidos cerca de 11L de água durante sua passagem pelas camadas.

- Mesmo tendo sofrido vigoroso processo de colmatção, o pavimento recuperado ainda apresentou muito boa capacidade de absorção das chuvas.

- A contribuição de infiltração de chuva através do pavimento poroso, quando colmatado, foi desprezível, não alcançando 0,5L em todos os eventos.
- O acompanhamento do nível piezométrico do interior do colchão drenante ficou prejudicado devido ao equipamento ter sido instalado sob a manta geotêxtil.
- No caso do pavimento colmatado, não foi constatado ganho ambiental algum, visto que, só houve um deslocamento de dois minutos do escoamento coletado ante o hidrograma da chuva aplicada. Esse retardo corresponderia ao tempo de concentração da microbacia, caracterizada pela vaga e pelo sistema de condução e medição das vazões. Por outro lado, seria lícito inferir que, para o cálculo do ganho ambiental dos demais eventos chuvosos simulados neste trabalho, poder-se-ia aplicar um redutor de dois minutos nos tempos de retardo apurados pelos equipamentos.
- Percebeu-se que os resíduos e impurezas remanescentes no pavimento, após a recuperação, apesar de reduzir a permeabilidade da placa de concreto, contribuíram para um aumento no tempo de retardo do escoamento.

Os longos períodos de aquisição de dados, que atingiram três horas, em alguns casos, levaram à decisão de configurar os linígrafos para medições a cada 60seg. Contudo, durante a análise dos resultados, percebeu-se a necessidade de uma maior frequência na obtenção de dados em momentos críticos do processo, tais como o atingimento do pico do escoamento, e o início do decaimento.

5.3 – ANÁLISE DE CUSTOS

Sobre os resultados obtidos da comparação de custos foram observados os aspectos ressaltados a seguir:

- Diferentemente do concluído por Fortes, Merigui e Bandeira (2006), o custo da implantação do concreto poroso (placa e colchão drenante) foi de cerca de 25% mais elevado que as demais opções de pavimento, conforme apresentado na tabela 4.24.
- Um outro ponto a considerar seria a completa colmatação do pavimento, vivenciada na segunda etapa do monitoramento. Ela deve servir de alerta para a necessidade de análise mais aprofundada acerca da economia proporcionada pela redução dos diâmetros dos tubos, sugerida por Scholz e Grabowiecki (2007).
- As vantagens ambientais, o local a ser aplicado e a necessidade de intensa atenção na manutenção do concreto poroso precisam ser mais bem avaliadas de forma a

justificar os custos elevados de implantação, pois as atuais condições colocam o pavimento poroso em desvantagem em relação a outras técnicas de pavimentação permeável.

6 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O vertiginoso processo de urbanização, vivenciado particularmente a partir da segunda metade do século passado vem causando prejuízos crescentes às populações urbanas.

Na busca de soluções, o tradicional paradigma higienista de drenagem urbana vem sendo quebrado com a adoção de medidas compensatórias, ambientalmente mais sustentáveis, como as diversas que foram apresentadas ao longo deste estudo. Nesse contexto, a pavimentação com o uso do concreto poroso vem ganhando importância como uma solução para a atenuação dos problemas de drenagem nos espaços urbanos.

Adotando-se critérios de projeto e execução do pavimento poroso de concreto betuminoso, buscou-se, com a realização de experimentos, reproduzir o desempenho do pavimento poroso de cimento Portland.

Dessa forma, a experiência adquirida ao longo do presente estudo permite chegar a algumas conclusões acerca do tema, bem como propor recomendações para estudos futuros, além de sugestões para empreendedores e gestores públicos interessados na aplicação do concreto poroso.

6.1 – CONCLUSÕES

A pesquisa bibliográfica realizada e as etapas subsequentes da pesquisa permitiram chegar a algumas conclusões, que serão relacionadas a seguir:

As técnicas de uso (requisitos, projeto, execução e monitoramento) do concreto poroso ainda não estão totalmente dominadas pelo meio técnico-científico, o que ressalta a relevância do presente estudo no sentido de contribuir para melhor conhecimento sobre o tema.

O nível do lençol freático é um fator preponderante a ser avaliado na definição da espessura do colchão drenante. Esse poderia, por vezes, inviabilizar a decisão acerca de sua adoção.

O dimensionamento correto do colchão drenante e da sua capacidade de reservação de água mostrou-se um elemento importante a ser considerado pelo projetista, uma vez que visa equilibrar as necessidades de investimentos e a eficácia ambiental.

A compactação do substrato do pavimento pode, por vezes, impermeabilizar o solo natural, reduzindo a contribuição ambiental da infiltração na atenuação do escoamento. No caso do experimento desenvolvido, e a despeito de orientações de EPA (1999) e Senço (1997), esse serviço poderá ser eliminado conforme o ISC alcançado pelo subleito.

A impossibilidade de executar a vibração, de forma mais intensa, sobre o colchão drenante, dificultou o perfeito nivelamento dessa camada, o que comprometeu a uniformidade da espessura da placa de concreto poroso, podendo ter acarretado limitações ao desempenho estrutural e hidráulico. Dessa forma, reforça-se o cuidado de que a execução esteja comprometida com o correto nivelamento do colchão drenante.

Em sendo o curtíssimo tempo de início da pega do concreto um fator decisivo no uso do produto, uma desatenção às limitações de tempo no lançamento e espalhamento poderia favorecer o surgimento de “juntas frias”, que têm forte impacto sobre o desempenho mecânico da placa de concreto. Um ensinamento prático do experimento foi a necessidade de se mobilizarem mais importantes meios (pessoas e equipamentos).

Em sendo considerados os meios adotados na implantação do experimento, conclui-se que, no caso de uma concretagem de maior escala, os meios a serem mobilizados assumem importância crucial no processo.

Na execução do concreto poroso em escala maior, observou-se que a menor precisão dos instrumentos dosadores de grandes volumes e a admissão de material pulverulento, aderido à superfície do agregado, poderiam alterar as proporções dos materiais preconizados no traço do concreto, com prejuízos ao desempenho do concreto.

Por se mostrar o concreto poroso um material que requer atenção intensiva e larga experiência na execução, justificam-se as estatísticas de EPA (1999), que apontavam para uma taxa de insucesso na execução da ordem de 75%.

O posicionamento do dreno, instalado ao fundo do colchão drenante, facilitou a rápida drenagem da chuva aplicada no experimento, que pode ter sido um dos fatores determinantes para a baixa infiltração da chuva no solo, apurada nos ensaios. Na execução de pavimentos reais, a elevação da cota dos drenos pode contribuir para o armazenamento de águas e redução do volume de água escoado.

Um das conclusões a que se pode chegar, a partir dos ensaios, refere-se à vaga 2. Essa vaga foi a que apresentou menor índice de vazios, em decorrência da compactação aplicada durante o lançamento e espalhamento do concreto. Em consequência, alcançou ligações mais fortes entre os agregados, conferindo maior resistência à compressão e menor capacidade drenante, percebida após a recuperação da permeabilidade.

O experimento não apresentou valores significativos no que se refere à atenuação da intensidade do pico das chuvas, sobretudo para as chuvas longas. No entanto, trata-se de valores absolutos de tempo de atenuação associadas a uma escala experimental. Em áreas maiores, certamente, o retardo seria mais significativo.

A extrapolação do retardo observado na parcela experimental de cerca de 2 minutos para o início do escoamento da parcela infiltrada, somado ao tempo necessário para o escoamento alcançar a vazão máxima, permite inferir a grande eficácia do sistema para retardamento do pico da chuva em grandes áreas concretadas, como são os grandes estacionamentos de supermercados, estádios de futebol ou centros comerciais.

O concreto poroso, enquanto novo, mostrou-se de fato um instrumento eficiente para a atenuação dos efeitos da chuva. No entanto, sua utilização corriqueira demandaria uma mudança de padrões dos serviços de drenagem e de serviços de limpeza pública.

Diferente do citado em referências bibliográficas consultadas neste estudo, o processo de recuperação da permeabilidade do concreto não se configurou tarefa tão simples nem eficaz. Deduz-se daí que o volume de sedimentos transportados em enxurradas pode-se tornar um fator bastante relevante a ser considerado nos projetos, caso esses sedimentos venham a demandar constantes tarefas de recuperação.

Na prática, uma alternativa para amenizar a colmatção precoce e alongar a vida do concreto poroso, poderia ser a associação da solução da placa contínua ao uso de blocos pré-moldados, que permitiria a substituição de parte do pavimento colmatado, recuperando o estado de novo.

Com os dados disponíveis atualmente, foi possível apurar que os custos de implantação seriam ainda cerca de 25% superiores a outras técnicas. Entretanto em função de alguns fatores pouco conhecidos, como o custo da manutenção periódica, ainda não é possível avaliar precisamente o custo no longo prazo de um pavimento dessa natureza. A ausência de indicadores financeiros e econômicos mais precisos tem dificultado, certamente, a utilização em larga escala do concreto poroso.

Em síntese, o experimento desenvolvido permitiu concluir que o uso da pavimentação com concreto poroso pode consistir de uma boa opção de benefício ambiental na drenagem urbana, ressalvando-se que a longevidade da capacidade de infiltração está associada ao volume de sedimentos produzidos ou transportados para a superfície do concreto e da consequente frequência de operações de manutenção.

6.2 – RECOMENDAÇÕES

Apresentam-se, a seguir, algumas recomendações para desenvolvimentos futuros:

Julga-se pertinente prosseguir estudos e avaliações acerca da poluição causada pela drenagem urbana, assim, como da capacidade de atenuação da poluição exercida pela ação filtrante de colchões drenantes.

O princípio da pavimentação permeável, não respeita, de fato, um dos paradigmas da engenharia rodoviária, o que sempre preconizou afastar a água das camadas inferiores do leito estradal. Assim, pelo fato de o concreto poroso permitir a passagem de água pelas camadas inferiores do pavimento, é recomendável prosseguir estudos e análises acerca da capacidade de suporte e da integridade da parcela fina dessas camadas inferiores e do risco de ruína do pavimento no longo prazo.

Assim como para outras alternativas tecnológicas, a adoção do tempo de recorrência das chuvas de projeto a ser utilizado em projetos dessa natureza também merece atenção, pois tempo demasiado curto provocará muitas falhas e poderá colocar a técnica em descrédito, enquanto tempos de recorrência muito longos podem inviabilizar financeiramente o uso do concreto poroso.

Para trabalhos experimentais futuros, recomenda-se elevar os tubos dreno do fundo do colchão drenante transformando-o efetivamente em um pavimento reservatório, pois, no experimento aqui executado não foi possível observar a contribuição da infiltração na redução do volume escoado.

No experimento, o concreto poroso se mostrou muito sensível às falhas de execução. Recomenda-se aos executores desse piso, seja em caráter experimental ou não, que dediquem especial atenção a todos os aspectos da execução, tais como os controles na espessura das camadas, dosagem, lançamento e cura do concreto.

No experimento, a recuperação da permeabilidade não se mostrou integralmente eficaz com o uso da bomba de alta pressão. Ressalta-se as que bombas de sucção, que seriam capazes de executar o serviço a contento, não foram encontradas no mercado brasileiro. Recomenda-se, assim, executar ensaios com objetivo de encontrar formas mais eficazes para execução dessa limpeza.

Pode ser também pertinente o desenvolvimento de estudos comparativos do desempenho da pavimentação em placa inteiriça moldada *in loco* com blocos moldados em concreto poroso.

Sendo o custo de uma obra um fator determinante de sua viabilidade, um melhor conhecimento dos benefícios permitiria uma avaliação econômica comparativa mais adequada entre os tipos de pavimento. Recomenda-se o aprofundamento do estudo envolvendo os custos de manutenção e a vida útil do pavimento, a fim de estabelecer critérios objetivos para determinação da viabilidade econômica do concreto poroso.

Recomenda-se, também, desenvolver avaliações sobre os benefícios ambientais, associadas à adoção do concreto poroso na atenuação dos prejuízos causados pelas enchentes.

Como recomendação de ordem prática, sugere-se a inclusão, no estudo de viabilidade do pavimento, de uma condicionante de execução de limpeza periódica da superfície do concreto. Essa limpeza se torna particularmente mais necessária em áreas sujeitas às chuvas orográficas (regiões da Serra do Mar, como nos litorais fluminense e paulista) e demais regiões sujeitas a maior transporte de sedimentos. Para tal, convém que a decisão seja precedida de um estudo de topografia, forma e grau de impermeabilização da bacia a fim de estimar o transporte de sedimentos e poluição diversa.

Também julga-se pertinente ressaltar que a análise *a posteriori* dos resultados levou à constatação de que os linígrafos utilizados nas medições deveriam ter sido configurados e utilizados para captar medições de volumes de água em intervalos de tempo menores, o que aperfeiçoaria os resultados em experimentos posteriores.

Por fim, como recomendação prática, aos empreendedores e administradores públicos, sugere-se especial atenção a dois aspectos: i) a execução de levantamentos prévios do nível do lençol e da cota de fundo da rede pública de drenagem, com o objetivo otimizar a operação do sistema, integrado aos pavimentos porosos, assim como considerar o teor de sedimentos captados pelo sistema e a limpeza constante (varrição, lavagem ou aspiração) do material particulado solto na superfície do pavimento; e ii) a necessidade de um acurado dimensionamento do colchão drenante, considerando equilíbrio entre o ganho ambiental e viabilidade econômico-financeira do pavimento poroso.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. (199). *NBR 19369 – Tanques Sépticos – Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – Projeto, construção e operação*. ABNT, São Paulo, 60p.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2011). *NBR 8953:2009 Versão Corrigida:2011 - Concreto para fins estruturais - Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência*. ABNT, São Paulo, 4p.
- ACI – American Concrete Institute. (2010). *Report on pervious Concrete - ACI522R-10*, Michigan, EUA, 42p.
- Araújo, P. R.; Tucci, C. E. M.; Goldenfum, J. A. (2000). “Avaliação da Eficiência dos Pavimentos Permeáveis na Redução de Escoamento Superficial”. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, **5**(3), 21-28.
- Astebol, S. O.; Hvitved-Jacobsen, T.; Simonsen, O. (2004). “Sustainable stormwater management at Fornebu from an airport to an industrial and residential área of the city of Oslo, Norway”. *Science of the Total Environment* **334-335** (1), 239–249.
- Baptista, M.; Nascimento, N.; Barraud, S. (2005). *Técnicas compensatórias em drenagem urbana*. ABRH, Porto Alegre, 266p.
- BLS. (2013). *CPI Detailed Report - Data for July 2013*. Department of Labor Statistics – United States Department of Labor. Washington, DC, EUA. Disponível em: <<http://www.bls.gov/cpi/cpid1307.pdf>>. Acesso em: 21Ago2013.
- Brasil (1988). Constituição da República Federativa do Brasil, Texto consolidado até a Emenda Constitucional nº 64 de 04 de fevereiro de 2010. Disponível em: <http://www.senado.gov.br/sf/legislacao/const/con1988/CON1988_04.02.2010/index.htm>. Acesso em: 4Mar2010.
- Brasil (2007). Lei Federal n.º 6.766/79. Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano e dá outras Providências; alterada pelas as Leis n.ºs 9.785, de 29.01.1999, 11.445, de 05.01.2007 e 10.932, de 03.08.2004). Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L6766.htm>. Acesso em: 4Mar2010.
- Brasil (2007). Lei Federal n.º 11.445/07. Estabelece diretrizes nacionais para saneamento básico; altera as Leis n.ºs 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de julho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências.). Disponível em:

<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2007/Lei/L11445.htm>.

Acesso em: 4Mar2010.

- Brito, D. S. (2006). *Metodologia para seleção de alternativas se sistemas de drenagem*. Dissertação de mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTARH.DM-094/96, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 117p.
- Brutsaert, W (2005). *Hydrology an Introduction*. 1ª Ed. Cambridge, Reino Unido. Cambridge University Press, 605p.
- Caputo, H. P. (1987). *Mecânica dos Solos e suas Aplicações*. v2, 6ªEd. LTC. Rio de Janeiro, RJ, 498p.
- Castro, L. M. A. (2007). *Proposição de Metodologia para a Avaliação dos Efeitos da Urbanização nos Corpos de Água*. Tese de doutorado. Programa de pós-graduação em saneamento, meio ambiente e recursos hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 297p.
- CRMCA – Colorado Ready Mixed Concrete Association. (2009). *Specifier's Guide for Pervious Concrete Pavement Design – Version 1.2*. 24p. Disponível em <http://www.udfcd.org/downloads/pdf/tech_papers/Pervious_Concrete_Guide_2009_08-18.pdf>. Acessado em: 22Fev2010.
- Christofidis, H. V. (2010). *Drenagem Urbana Sustentável – Análise do Uso do Retrofit*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 163p.
- Dias, M. L. e Campos, C. V. (2002). *Análise de Estruturas de Controle do Escoamento Pluvial Urbano*. II Simpósio de Recursos Hídricos do Centro-Oeste, Campo Grande, MS, 18 p.
- Diogo, F. J. D'A e Sciammaralla, J. C. (2008). *Manual de Pavimentação Urbana – Vol II*. ABPv, Rio de Janeiro, RJ, 160p.
- EPA – United States Environmental Protection Agency (1999). *Storm Water Technology Fact Sheet – Porous Pavement – EPA 832-F-99-023*. Washington, EUA. 6p.
- EPA – United States Environmental Protection Agency (2009). Sítio eletrônico. Disponível em <<http://cfpub.epa.gov/npdes/stormwater/menuofbmps/index.cfm?action=browse&Rbutton=detail&bmp=137&minmeasure=5>>. Acesso em 20Mar2010.
- FEBESTRAL – Fédération de l'Industrie du Béton (2013). *Les revêtements drainants en pavés de béton*. Sítio eletrônico. Disponível em <

- http://www.febestral.be/openbaar/downloads/publicaties/waterdoorlatende_betonstratstenen_FR.pdf>. Acesso em 23Fev2013.
- Fortes, R. M, Merigui, J. V. e Bandeira, A. (2006). “Laboratory Studies on Performance of Porous Concrete”. 10th International Symposium on Concrete Roads, 18 a 22 de setembro, Bruxelas, Bélgica.
- Gromaire-Mertz, M. C. (1998). *La Pollution des Eaux Pluviales Urbaines en Reseau D’assainissement Unitaire Caracteristiques et Origines*. Tese de Doutorado, Ecole Nationale des Ponts et Chaussees, especialidade de Sciences et Techniques de l’Environnement, Paris, França. 506 p.
- IBGE (2002). *Pesquisa nacional de saneamento básico 2000*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, Rio de Janeiro, RJ, 397p. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb/pnsb.pdf>> . Acesso em: 30Mar2010.
- IBGE (2010). *Pesquisa nacional de saneamento básico 2010*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, Rio de Janeiro, RJ, 397p. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb/pnsb.pdf>> . Acesso em: 15Out2011.
- INMET (1990). *Gráficos climatológicos*. Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/html/clima.php?lnk=http://www.inmet.gov.br/html/clima/graficos/index4.html>>. Acesso em 15Dez2011.
- Makropoulos, C. K.; Natsis, K.; Liu, S.; Mittas, K.; Butler, D. (2008). “Decision support for sustainable option selection in integrated urban water management”. *Environmental Modelling & Software* **23**, 1448-1460.
- Matias, M. G. B. (2006). *Bacias de Retenção - Estudo de Métodos de Dimensionamento*. Dissertação de Mestrado, Universidade do Porto, Departamento de Engenharia Civil, Porto, Portugal, 205p.
- Maus, V. W; Righes, A. A.; Buriol, G. A. (2007). “Pavimentos Permeáveis e escoamento Superficial da Água em Áreas Urbanas”. Anais do I Simpósio de Recursos Hídricos do Centro Oeste, Cuiabá, Brasil, 8p.
- Mendes, C. A. (2006). “Técnicas de Análise Ambiental.” In: Tucci, C. E. M.; Mendes, C. A. *Avaliação Ambiental Integrada de Bacia Hidrográfica*. Ministério do Meio Ambiente- MMA/SQA, Brasília, DF, 169-324.
- Mota, S. (1995). *Preservação e Conservação de Recursos Hídricos*. 2ª edição revista e ampliada, Ed ABES, Rio de Janeiro, 200p.

- Moura, P. M. (2004). *Contribuição para Avaliação Global de Sistemas de Drenagem Urbana*. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, Belo Horizonte, MG, 146 p.
- Moura, T.A.M. (2005). *Estudo experimental de superfícies Permeáveis para o Controle do Escoamento*. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Brasília, DF, 117p.
- Nakazone, L. M. (2005). *Implantação de Reservatórios de Detenção em Conjuntos Habitacionais: a Experiência da CDHU*. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, Escola Politécnica de São Paulo, São Paulo, SP, 287 p.
- Nascimento, N. O.; Baptista, M. B. e Souza, V. C. B. (1997). “Sistema ‘Hidrourb’ para o pré-dimensionamento de soluções compensatórias em drenagem urbana – Parte I: Conceitos” *Anais Eletrônicos do XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. Vitória, ES.
- Nascimento, N. O. e Baptista, M. B. (2009). “Técnicas Compensatórias em Águas Pluviais”. In: Righetto, A. M. (Coordenador). *Manejo de Águas Pluviais Urbanas*. Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB), 149-197.
- Neto, A. C., *Sistemas Urbanos de drenagem* (2005). ANA. Disponível em <http://www.ana.gov.br/AcoesAdministrativas/CDOC/ProducaoAcademica/Antonio%20Cardoso%20Neto/Introducao_a_drenagem_urbana.pdf>. Acesso em 20Abr2010.
- NOVACAP (1996), *Termo de Referência e Especificações para Elaboração de Projetos de Sistemas de Esgotos Pluviais*. Brasília, DF, 11p.
- NRMCA - National Ready Mix Concrete Association (2008). *Pervious Concrete Pavement: When it rains*. Disponível em: <<http://www.perviouspavement.org/index.html>>. Acesso em 22Fev2010. 32p.
- NOVOTNY, V. (1991) ‘Urban diffuse pollution: sources and abatement’ *Water Environment & Technology*, vol.3, no. 12, pp.60-65, Dez.
- PMSP/FCTH (1999). *Diretrizes básicas para projetos de drenagem urbana no município de São Paulo*. São Paulo, 289 p.
- Pompêo, C. A. (2000). “Drenagem Urbana Sustentável”. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 5 (1), pp. 15-24.

- Porto, M. F. A (2001). “Water Quality Aspects of Urban Runoff”. In: Maksimovic, C e Tucci, C. E. M. (eds.). *Urban Drainage in Specific Climates. Volume I: Urban Drainage in Humid Tropics*. UNESCO, Paris, 109-128.
- Porto, R. M. (2006). *Hidráulica Básica*. 4ªEd. EESC/USP. São Carlos, SP, 520p.
- Reis, R. P. A; Oliveira, L. H.; Sales. M. M. (2008). “sistemas de drenagem na fonte por poços de infiltração de águas pluviais”. *Ambiente Construído*, **8** (2), 99-117.
- Rivera, P. I; Montt. J. P; Fernández L.B (2003). “Instalación piloto de pavimentos permeables para la gestión de aguas lluvias: descripción y resultados experimentales”. XVI Congreso Chileno de Ingeniería Hidráulica, Santiago, Chile.
- Schenk, C.; Roquier, B.; Soutter, M.; e Mermoud, A. (2009). “A system model for water management.” *Environmental Management* **43**, 458-469.
- Scholz, M. e Graboewiecki P. (2007). “Review of Permeable Pavement Systems”. *Building and Environment*, Ed Elsevier, nr 42, 3830 - 3836. Edimburgo – Escócia.
- Senço, W. (1997). *Manual de Técnicas de Pavimentação*. Vol 1. 1ª Ed. São Paulo, SP. Ed Pini, 746p.
- Silva, R. T.; Porto, M. F. A. (2003). “Gestão urbana e gestão das águas: caminhos da integração” *Estudos Avançados* **17**(47), 129-145.
- Soares, S. R. A.; Bernardes, R. S.; Cordeiro Netto, O. M.. (2002). “Relações entre saneamento, saúde pública e meio ambiente: elementos para formulação de um modelo de planejamento em saneamento.” *Cad. Saúde Pública* 18(6), 1713-1724.
- Souza, S. A. (2008). *Avaliação da Capacidade de Escoamento da Água em Mistura Asfáltica drenante: Proposta de Ensaio de Laboratório*. Dissertação de Mestrado COPPE – UFRJ. Rio de Janeiro.
- Sousa Júnior, S. F. (2011). *Desenvolvimento e Avaliação de um Simulador de Chuva Para Estudos Ambientais*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO, 195f.
- Tassin, B., Chebbo, G. (2000). “Qualité des rejets urbains de temps de pluie”. In: Notas de aula da École Nationale des Ponts et Chaussées. 38 p.
- Tucci, C. E. M. (2003).” Inundações e Drenagem Urbana”. In: Tucci, C. E. M. e Bertoni, J. C. *Inundações Urbanas na América Do Sul*. ABRH - World Meteorological Organization – Global water partnership. Porto Alegre, RS, 45-150
- Tucci, C. E. M. (2005). *Gestão de águas pluviais urbanas*. Ministério das Cidades/ Global Partnership/World Bank/Unesco, Brasília, DF, 194p.

- Tucci, C. E. M. (2006). "Processos hidrológicos naturais e antrópicos." In: Tucci, C. E. M.; Mendes, C. A. *Avaliação Ambiental Integrada de Bacia Hidrográfica*. Ministério do Meio Ambiente- MMA/SQA, Brasília, DF, 169-324. Disponível em <http://galileu.iph.ufrgs.br/aguasurbanas/Contents/Cursos/AAIB/PDF/AAIB_Apresentacao.pdf> Acesso em 30Mar2010.
- Tucci, C. E. M. (2008). *Águas Urbanas*. Revista Estudos Avançados. Instituto de Estudos Avançados da Universidade de São Paulo, nr 63, São Paulo, SP.
- UNFPA – United Nations (1999). *6 Billion – A Time of Choices*. Sítio eletrônico. Disponível em <<http://www.unfpa.org/swp/1999/index.htm>>. Acesso em 15 de maio de 2013.
- Virgiliis, A. L. C. (2009). *Procedimentos de projeto e execução de pavimentos permeáveis visando retenção e amortecimento de picos de cheias*. Dissertação de mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, SP, 191p.
- Zmitrowicz, W.; Neto, G. A.. (1997). *"Infraestrutura urbana"* São Paulo: Escola Politécnica da USP - EPUSP, 36 p.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS CITADAS POR OUTROS AUTORES

- ACI – American Concrete Institute. (2002). *Guide for Selecting Proportions for No-Slump Concrete - ACI211.3R*, Michigan, EUA, 26p.
- Almeida Neto, P.; Ohnuma Júnior, A. A; Cunha, A. P. S. R.; Leite, M, R. e Mediondo, E. M. (2005). *Estudo hidrológico de Cobertura Verde Leve como Alternativa para Controle do Escoamento em Lotes Domiciliares*. In XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. João Pessoa, 20 a 24 de novembro de 2005.
- Azzout, Y.; Barraud, S.; Cres, F. N.; Alfakih, E. (1994). *Techniques alternatives en assainissement pluvial: choix, conception, realization et entretien*. Technique et Documentation. Lavoisier. Paris, França, 372 p.
- Dierkes, C., Kuhlman, L., Kandasamy, J. Angelis, G. (2002). “Pollution Retention Capability and Maintenance of Permeable Pavement”. *9th Conferência Internacional de drenagem Urbana*. Portland, Oregon. EUA.
- Leopold, L.B.(1968). *Hydrology for Urban Planning - A Guide Book on the Hydrologic Effects on Urban Land Use*. USGS circ. 554, 18p
- OECD (1986). *Control of Water Pollution from Urban Runoff*. Organization for Economic Cooperation and Development, Paris.
- Priscolli, J. (2001). *Flood Management experiences in USA*. Apresentação em workshop em Santiago do Chile. SAMTAC.
- Urbonas, B.; Stahre, P. (1993). *Stormwater Best Management Practices and Detention*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey. 450p.

ANEXOS

ANEXO A – CARACTERIZAÇÃO DO SOLO



GEOTECNIA E MEIO AMBIENTE
Departamento de Ensaio de Campo e Laboratório
ENSAIO DE GRANULOMETRIA

Amostra: 15	Data: 25/07/2011
Furo: 15	Cota: - 1,0 m
Operador: Djalma	

Umidade			Massa específica dos grãos # 2mm				
Capsula N°	43	44	45	Picnômetro N°	43	44	45
tara (g)	13,64	13,02	13,71	Temperatura (°C)	26,0	26,0	26,0
tara + SH (g)	36,09	39,73	40,02	Pic. + água (g)	640,21	628,29	630,76
tara + SS (g)	35,31	38,84	39,21	Pic.+água+solo(g)	670,91	658,83	661,12
Umidade (%)	3,60	3,45	3,18	G (g/cm ³)	2,730	2,706	2,679
W (%):			3,4	G (g/cm³)			2,704

Massa da amostra seca ao ar M_s (g) =	1000,0	Massa total da amostra seca M_t (g) =	967,1
---	--------	---	-------

Peneiramento Grosso				
Peneira	Abertura(mm)	Solo retido(g)	Solo ret. acum.(g)	% material passa
2"	50,8	0,00	0,00	100,0
1 1/2"	38,1	0,00	0,00	100,0
1"	25,4	0,00	0,00	100,0
3/4"	19,1	0,00	0,00	100,0
3/8"	9,5	0,00	0,00	100,0
4	4,76	0,00	0,00	100,0
10	2,00	0,30	0,30	100,0

Peneiramento Fino				
Peneira	Abertura(mm)	Solo retido(g)	Solo ret. acum.(g)	% material passa
16	1,19	0,918	0,92	98,6
30	0,59	1,374	2,29	96,6
40	0,42	2,920	5,21	92,3
60	0,25	3,450	8,66	87,2
100	0,149	4,490	13,15	80,5
200	0,074	10,410	23,56	65,2

SEDIMENTAÇÃO							
Massa do material úmido submetido à sedimentação M_h (g) =					70,00	Densímetro N° : 004	
tempo	tempo (s)	temp. (°C)	L (g/cm ³)	Ld (g/cm ³)	a (cm)	QS (%)	d (mm)
30 s	30	27,0	1,030	1,0043	9,5	60,3	0,0539
1 min.	60	27,0	1,027	1,0043	10,3	53,3	0,0397
2 min.	120	27,0	1,025	1,0043	10,8	48,6	0,0288
4 min.	240	26,8	1,024	1,0043	9,9	46,1	0,0195
8 min.	480	26,5	1,023	1,0044	10,1	43,6	0,0140
15 min.	900	26,2	1,021	1,0045	10,7	38,8	0,0106
30 min.	1800	26,0	1,020	1,0045	11,0	36,3	0,0076
1 h	3600	26,0	1,019	1,0045	11,2	34,0	0,0054
2 h	7200	26,0	1,018	1,0045	11,5	31,6	0,0039
4 h	14400	26,0	1,018	1,0045	11,5	31,6	0,0027
8 h	28800	26,0	1,018	1,0045	11,5	31,6	0,0019
24 h	86400	26,0	1,018	1,0045	11,5	31,6	0,0011

Figura A1 – Relatório de ensaio de granulometria do solo natural

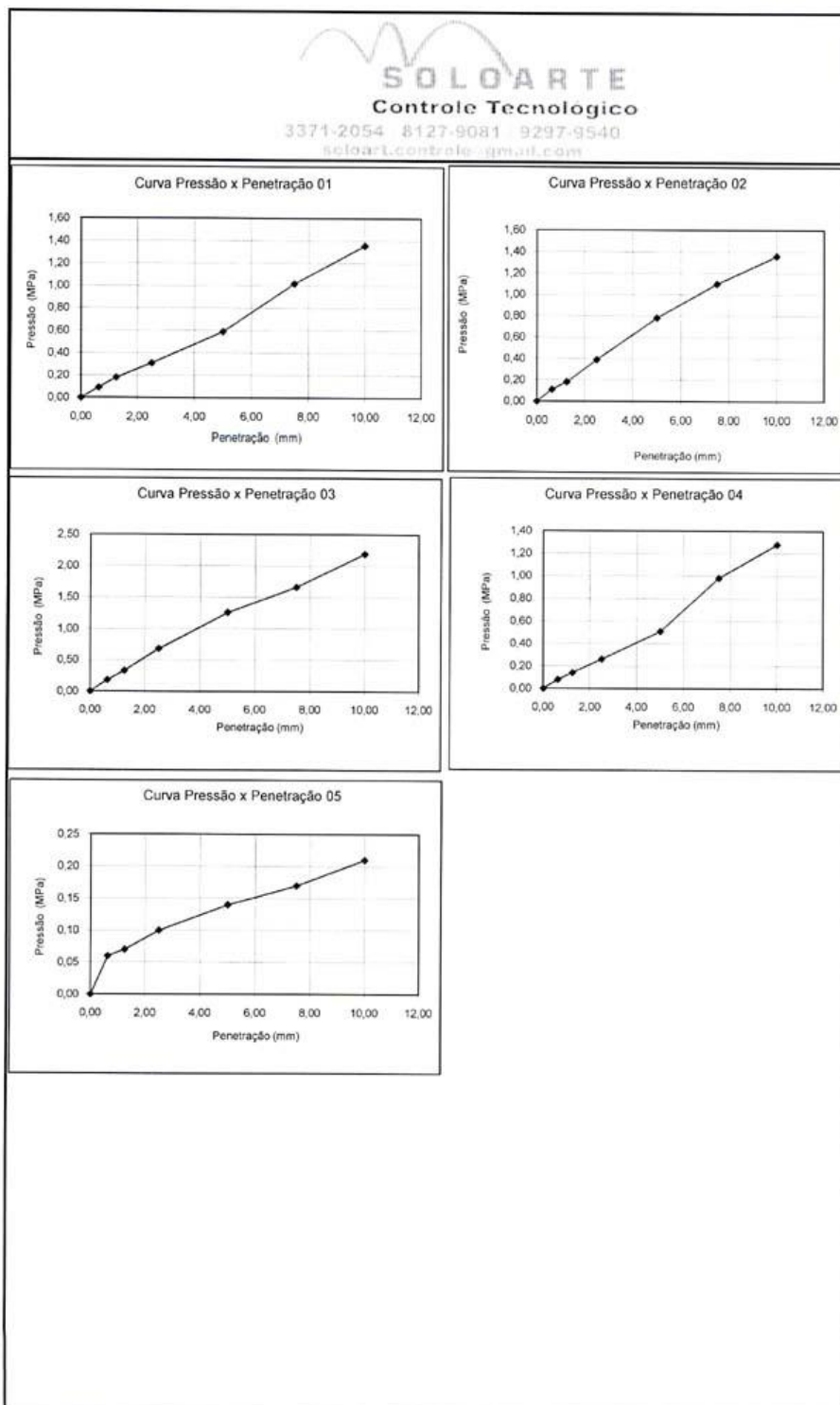


Figura A3 – Gráficos do ensaio de penetração


 SOLOARTE Controle Tecnológico 3371-2054 / 8127-9081 / 9297-9540 soloart.control@gmail.com					
ÍNDICE DE SUPORTE CALIFORNIA - CBR					
LOCAL: ENGENCAMP ENGENHARIA ARGILA VERMELHA OG DO EXÉRCITO		Pressão padrão p/ penetração de 2,54 mm:	6,90 MPa		
		Pressão padrão p/ penetração de 5,08 mm:	10,35 MPa		
ENERGIA: NORMAL		Diâmetro da base do pistão:	4,96 cm		
Laboratório: Solos	AMOSTRA LOCAL I	Área da base do pistão:	19,32 cm ²		
Data: 23/5/2011		Constante da prensa:	0,01 MPa/div		
Penetração 01	Leitura (div)	Pressão calculada (MPa)	CBR (%)		
0,00	0,00	0,00			
0,63	9,00	0,09			
1,25	18,00	0,18			
2,50	31,00	0,31	4,49		
5,00	59,00	0,59	5,70		
7,50	102,00	1,02			
10,00	136,00	1,36			
Penetração 02	Leitura (div)	Pressão calculada (MPa)	CBR (%)		
0,00	0,00	0,00			
0,63	11,00	0,11			
1,25	18,00	0,18			
2,50	39,00	0,39	5,65		
5,00	78,00	0,78	7,54		
7,50	110,00	1,10			
10,00	136,00	1,36			
Penetração 03	Leitura (div)	Pressão calculada (MPa)	CBR (%)		
0,00	0,00	0,00			
0,63	18,00	0,18			
1,25	33,00	0,33			
2,50	68,00	0,68	9,86		
5,00	126,00	1,26	12,17		
7,50	166,00	1,66			
10,00	219,00	2,19			
Penetração 04	Leitura (div)	Pressão calculada (MPa)	CBR (%)		
0,00	0,00	0,00			
0,63	8,00	0,08			
1,25	14,00	0,14			
2,50	26,00	0,26	3,77		
5,00	51,00	0,51	4,93		
7,50	98,00	0,98			
10,00	128,00	1,28			
Penetração 05	Leitura (div)	Pressão calculada (MPa)	CBR (%)		
0,00	0,00	0,00			
0,63	6,00	0,06			
1,25	7,00	0,07			
2,50	10,00	0,10	1,45		
5,00	14,00	0,14	1,35		
7,50	17,00	0,17			
10,00	21,00	0,21			
Umidade (%)	C.B.R. (%)	Umidade (%)	Densidade Kg/m³		
19,12	5,70	19,12	1432		
21,37	7,54	21,37	1489		
23,47	12,17	23,47	1522		
25,44	4,93	25,44	1437		
27,48	1,45	27,48	1357		
ENSAIO DE EXPANSÃO					
Molde N°	54	31	47	39	13
Leitura Inicial	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Leitura Final	1,07	1,01	1,00	0,96	0,92
L.Final - L.Inicial	0,07	0,01	0,00	-0,04	-0,08
Altura cilindro	12,60	12,60	12,60	12,60	12,60
(LF-LI) / Altura (%)	0,06	0,01	0,00	-0,03	-0,06
Média (%)	0,01				

Figura A4 – Relatório de ensaio de índice de suporte califórnia do solo

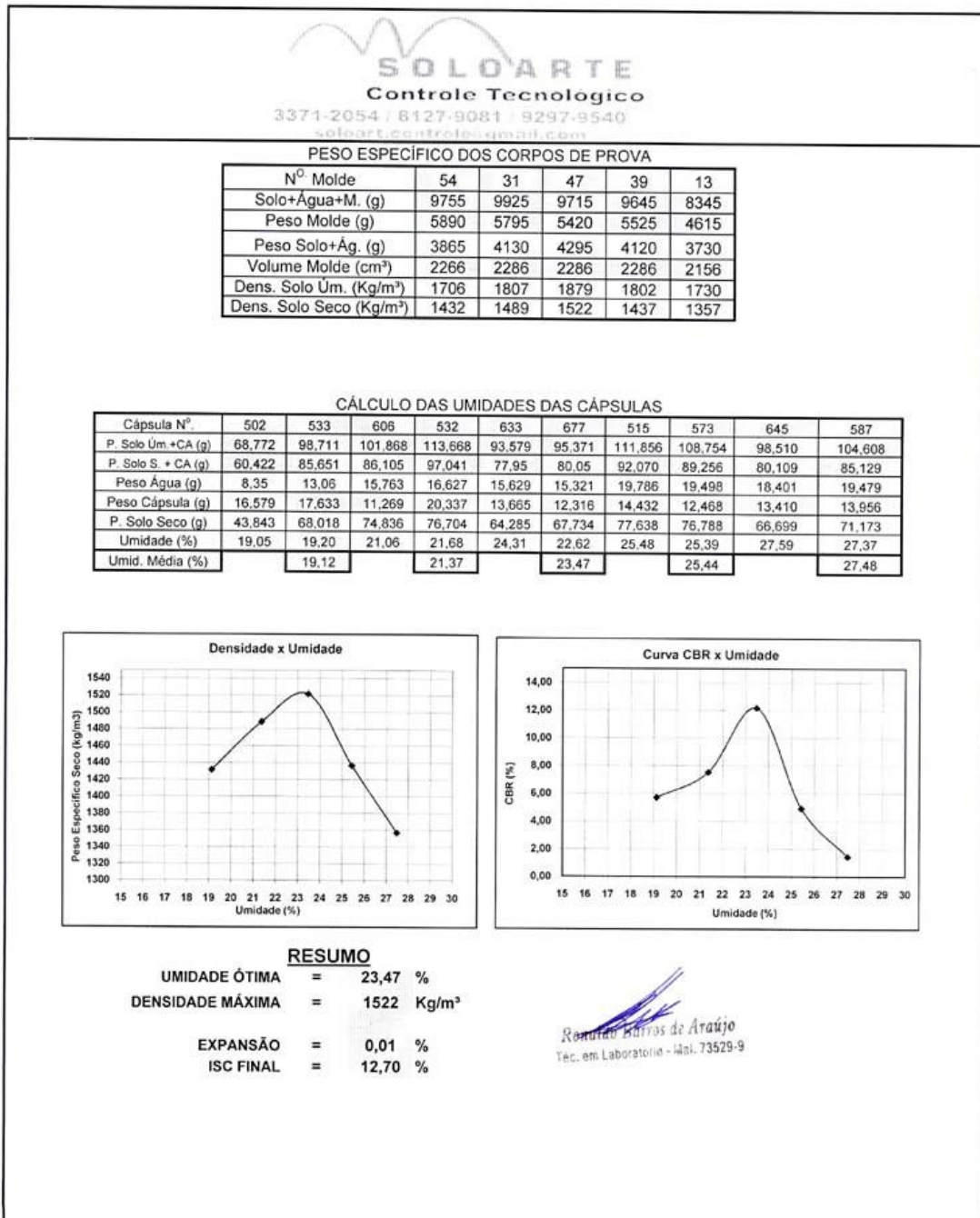


Figura A5 – Relatório de ensaio de umidade ótima do solo

ANEXO B – GRANULOMETRIA DAS BRITAS

**Serviço Nacional de
Aprendizagem Industrial**

Departamento Regional
do Distrito Federal



Relatório de Ensaio
Nº 13278/11
NBR 7211

Agregado para concreto

Empresa CONSTRUTORA E INCORPORADORA CONCRETIZA LTDA	Obra CRO11-SETOR MILITAR URBANO
Data de amostragem 25/08/2011	Data do ensaio 09/09/2011
Material BRITA 3.	
Nome do Armazenador OBRA	Procedência OBRA

Peneiras	Amostra n.º 01		Amostra n.º 02		Porcentagem retida média (%)	Porcentagem retida média acumulada (%)	Cálculo do módulo de finura
	Abertura (mm)	Massa retida (g)	Porcentagem retida (%)	Massa retida (g)			
76	-	-	-	-	-	-	-
64	-	-	-	-	-	-	
50	-	-	-	-	-	-	
38	592	6	785	7,9	7	7	7
32	-	-	-	-	-	-	
25	6818	66,5	6912	69,2	68	75	
19	2198	23,4	2050	20,6	22	97	97
12,5	374	3,9	248	2,8	3	100	
9,5	-	-	-	-	-	100	100
6,3	-	-	-	-	-	100	
4,8	-	-	-	-	-	100	100
2,4	-	-	-	-	-	100	100
1,2	-	-	-	-	-	100	100
0,60	-	-	-	-	-	100	100
0,30	-	-	-	-	-	100	100
0,15	-	-	-	-	-	100	100
Pó	18	0,2	5	0,1	100	100	
Total	10000	100	10000	100	100	100	804

Módulo de finura 8,04	Diâmetro máximo característico 50 mm	Massa específica -g/cm³
Material pulverulento -%	Tonéis de argila - %	Abrásio "Los Angeles" - %
Impurezas orgânicas hidrúscas Mais clara 300 ppm	Massa úmida Úmida = - kg/dm³ com h = - %	Seca = 1,28 g/cm³

Observações

Brasília, 12 de setembro de 2011.

Engenheiro Responsável Técnico

Laboratório de Construção Civil
Registro CREA/DF Nº 8506/RF
Email: icc.senai@sistemaibra.org.br

Área Especial N.º 2 - Setor "C" Norte
Taguatinga Norte - DF
Fones: 3351 2205 / 3353 8736

Engenheiros Responsáveis:
João Marcelo Linhares Feijão - CREA 11889 D/DF

Figura B1 – Relatório de ensaio de granulometria da brita do colchão drenante

Agregado para concreto

Empresa	CONSTRUTORA E INCORPORADORA CONCRETIZA		Obra	CRO	
Data de amostragem	13/09/2011	Data do ensaio	15/09/2011	Material	BRITA "0"
Nome do fornecedor	-		Procedência	-	

Peneiras	Amostra n.º 01		Amostra n.º 02		Porcentagem retida média (%)	Porcentagem retida média acumulada (%)	Cálculo do módulo de finura
	Abertura (mm)	Massa retida (g)	Porcentagem retida (%)	Massa retida (g)			
64	-	-	-	-	-	-	
50	-	-	-	-	-	-	
38	-	-	-	-	-	-	
32	-	-	-	-	-	-	
25	-	-	-	-	-	-	
19	-	-	-	-	-	-	
12,5	-	-	-	-	-	-	
9,5	73	2,3	76	2,4	2	2	2
6,3	1250	38,6	1204	37,4	38	40	
4,8	608	18,8	62,6	19,5	19	59	59
2,4	1184	36,6	1185	36,8	37	96	96
1,2	91	2,8	92	2,9	3	99	99
0,60	3	0,1	3	0,1	-	99	99
0,30	1	-	1	-	-	99	99
0,15	1	-	1	-	-	99	99
Pó	26	0,8	30	0,9	1	100	
Total	3237	100	3220	100	100	100	553

Módulo de finura	5,53	Diâmetro máximo característico	9,5 mm	Massa específica	2,70 g/cm³
Material pulverulento	1,2 %	Torrões de argila	X %	Abrasão "Los Angeles"	XX %
Impurezas orgânicas húmicas	X 300 ppm	Massa unitária	Úmida = X g/cm³ com h = XX %	Seca = X g/cm³	

Observações

Brasília, 21 de setembro de 2011.


Engenheiro Responsável Técnico

Laboratório da Construção Civil
Registro CREA/DF Nº 8506/RF
Email lcc.senai@sistemafibra.org.br

Área Especial N.º 2 - Setor "C" Norte
Taguatinga Norte - DF
Fones: 3351 2205 / 3353 8736

Engenheiros Responsáveis:
João Marcelo Linhares Feijão - CREA 11889 D/DF

Figura B2 – Relatório de ensaio de granulometria da brita do concreto

ANEXO C – CONSTRUÇÃO E CALIBRAÇÃO DO SIMULADOR DE CHUVAS

Para viabilizar o desenvolvimento do experimento utilizado na presente pesquisa, fez-se necessário construir um dispositivo capaz de promover chuvas de forma controlada no tempo, no espaço e com possibilidade de gerar chuvas com diferentes intensidades.

Por não ter sido encontrado um simulador de chuvas com as dimensões necessárias pelo estudo (2,5m X 5,0m), houve a necessidade do desenvolvimento do dispositivo aqui apresentado.

O ineditismo da atividade acabou por provocar algumas tentativas frustradas até a obtenção de um modelo que garantisse o sucesso da empreitada. Nesse sentido, é possível observar, nas figuras a seguir (C1, C2, C3 e C4.), as várias configurações tentadas durante os trabalhos.



Figura C1 – Simulador de chuva (1ª versão) Figura C2 – Simulador de chuva (2ª versão)



Figura C3 – Simulador de chuva (3ª versão) Figura C4 – Simulador de chuva (4ª versão)

O principal óbice encontrado nessa etapa residiu na contenção à ação dos ventos. O vento intervinha de duas maneiras: ora empurrando ou dispersando a névoa, prejudicando a uniformidade de sua distribuição, ora levando todo o aparato ao chão. Por essa razão, as últimas versões se serviram de estruturas metálicas mais pesadas, intertravamento de madeira e cobertura, como apresentado na figura C5.



Figura C5 – Estrutura do simulador de chuvas

O sistema completo de simulação foi composto de:

- um ponto de fornecimento de água tratada pela CAESB, em virtude da necessidade da garantia do não entupimento dos pequenos orifícios dos microaspersores.
- um reservatório de água de 500L em fibra de vidro, que teve o objetivo de garantir constância no fornecimento de água e eliminar a influência da pressão da rede sobre a bomba e, conseqüentemente, sobre a vazão precipitada.

- uma motobomba de 1/4CV, que era responsável pela pressurização do sistema, de forma a garantir adequado funcionamento dos microaspersores.
- Conjunto de registros de manobra, encarregado de impor perdas de carga ao sistema reduzindo a vazão da precipitação. Com esse dispositivo, foi possível obter as simulações de intensidades variadas.
- um manômetro capaz de medir pressões de até 10mca. Esse serviu como medidor indireto da intensidade da chuva, que foi variada em função da manobra dos registros.
- 10m de mangueira flexível que teve a finalidade conduzir a água até a entrada do sistema de distribuição e aspersão.
- Tubos e conexões de PVC DN20.
- 110 exemplares de microaspersores da marca Agrojet, responsáveis pela dispersão da água em uma névoa uniformemente distribuída sobre a área ensaiada. Para tal, foram utilizados dois modelos, MA30 e NA1 (figura C6) que, segundo dados fornecidos pelo fabricante, apresentavam vazões de 27,28L/h e 14,8L/h, respectivamente, quando submetidos a pressões de 20mca. Eles foram dispostos a 50cm do solo com o objetivo de melhor dispersão da névoa; e pendurados por hastes de 1m de comprimento com vistas a reduzir a interferência da perda de gotas retidas na estrutura de sustentação e no teto do dispositivo.



Figura C6 – Microaspersor MA30 (laranja) e nebulizador NA1 (amarelo)

Com o uso de dois modelos de microaspersores com características diferentes, foi possível bem ajustar o posicionamento dos microaspersores de forma a se obter uma chuva uniformemente distribuída na vaga de ensaio.

Construído o dispositivo, iniciou-se a verificação da vazão associada a cada pressão indicada no manômetro do sistema. Para tal, foram distribuídos, uniformemente, 72 recipientes com área de 550cm² cada um, o que atingiu 32% da área estudada, como se observa na figura C7.

Com esse procedimento, foi possível coletar o volume de chuva precipitada em cada quinhão de área que, extrapolado, forneceu o volume de chuvas associado a cada pressão manométrica a que o sistema foi submetido.

Com o dispositivo preparado, foram aplicadas diversas chuvas a pressões constantes e, por fim, cada recipiente teve o volume captado medido em uma proveta (figura C8).



Figura C7 – Distribuição dos 72 recipientes coletores de chuva



Figura C8 – Medição do volume coletado por cada recipiente.

Nessa etapa, também, foi estudada uma configuração de microaspersores que conferisse distribuição mais uniforme da chuva.

Visando reduzir o efeito de borda, a área de atuação do simulador abrangeu área maior que previsto para o ensaio. Contudo, os volumes coletados nessas regiões foram isolados e descartados com o uso de barreiras físicas, conforme descrito no item 4.3.4.3, deste trabalho e nas figuras C8 e C9.



Figura C9 – Barreira físicas, lateral e final da vaga



Figura C10 – Dispositivo para evitar a admissão de chuva extravaga

Admitindo-se dos dados fornecidos pelo fabricante dos microaspersores, é possível constatar uma correlação linear entre pressão aplicada a cada um dos dois modelos de microaspersor e suas vazões (figuras C10 e C11), premissa essa admitida para o dimensionamento hidráulico do simulador e a formulação das relações entre pressão manométrica do sistema e intensidade da chuva aplicada.

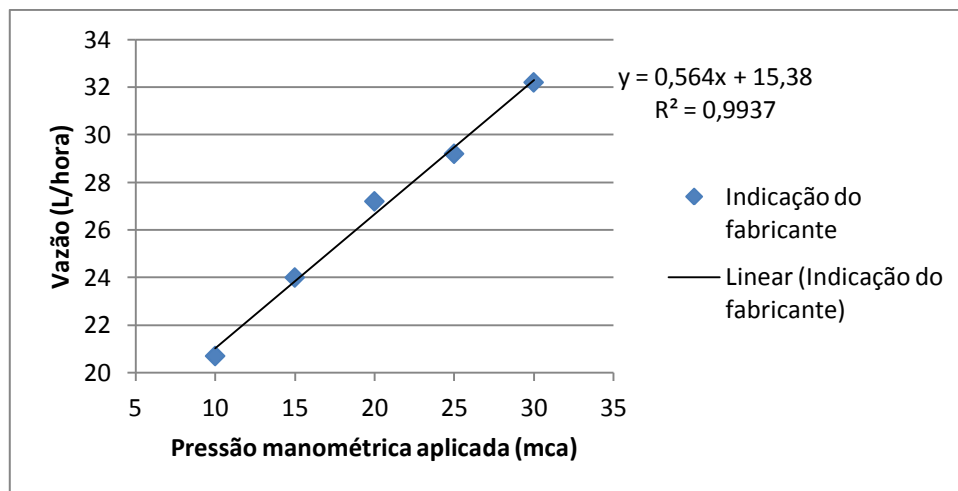


Figura C11 – Curva de desempenho do microaspersor MA-30 (dados do fabricante)

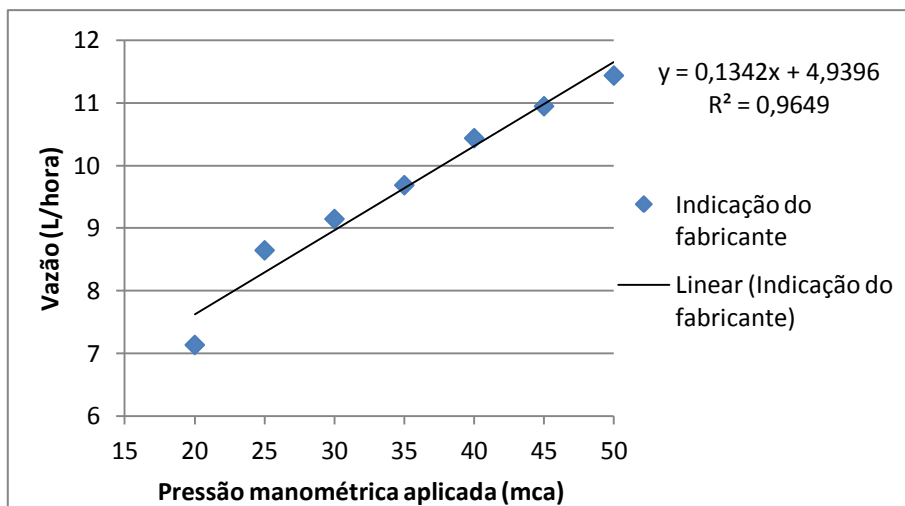


Figura C12 – Curva de desempenho do nebulizador NA-1 (dados do fabricante)

A etapa seguinte se apoiou na utilização equação C1, que corresponde à curva Intensidade-Duração-Frequência (IDF) característica de Brasília (mesma equação 4.3, apresentada no corpo da presente pesquisa), apresentada pela Companhia de Saneamento Ambiental de Brasília (CAESB, 1996).

$$\text{Equação C.1} \quad i = \frac{21,7 \cdot T_r^{0,16}}{(t + 11)^{0,815}} \quad (\text{C.1})$$

Como produto dessa etapa, pôde-se obter os valores de intensidade de chuva e altura de precipitação apresentados na tabela C.1. (mesma tabela 4.7, apresentada no corpo da presente pesquisa). A partir das intensidades de chuva, foi então possível verificar o volume de água a ser aplicado nos eventos chuvosos.

Tabela C.1 – Chuvas simuladas

DURAÇÃO (min)	TEMPO DE RECORRÊNCIA (ANOS)	INTENSIDADE (mm/min)	PRECIPITAÇÃO (mm)
15	5	1,97	29,59
	15	2,35	35,28
120	5	0,53	63,37
	15	0,63	75,55

Para que fossem obtidas as diferentes intensidades de chuva requeridas pela metodologia do trabalho, utilizou-se de um sistema de manobra da pressão da chuva fornecida ao sistema, que está apresentado na figura C13. Assim, a inserção de perda de carga ao sistema, pelo fechamento parcial dos registros, promovia chuvas menos intensas.



Figura C13 – Sistema de controle da intensidade de chuva (bomba, manômetro e registros)

Percebeu-se uma dificuldade adicional durante a coleta de dados, quando se percebeu a grande diferença entre as vazões a serem aplicadas ao experimento durante as chuvas curtas (entre 25 e 30L/min) e para as chuvas longas (6,6 e 8,0L/min), implicando pressões manométricas muito diferentes, o que caracterizou a impossibilidade da utilização de um mesmo dispositivo atender as chuvas de 15 e de 120 minutos.

Decidiu-se, assim, pela necessidade de construir dois simuladores distintos, pois pequenas vazões implicavam pressões muito baixas, insuficientes para atingir a pressão mínima de funcionamento dos microaspersores e promover a distribuição uniforme da chuva, enquanto que pressões muito altas produziam jatos que atingiam a estrutura e a cobertura de lona, comprometendo a uniformidade da distribuição da chuva.

Foram, então, estabelecidas duas configurações do sistema, de forma a atender essas distintas demandas. Assim, o simulador das chuvas curtas passou a possuir 110 microaspersores do tipo MA30 o que permitiu, ao ser aplicada uma pressão manométrica de 7,6mca, obter a distribuição da chuva por meio dos volumes d'água captados pelos recipientes ilustrados na figura C7, que foram reunidos e apresentados na tabela C2, a seguir.

Tabela C.2 – Distribuição de chuva curta a 7,6mca

FILEIRAS	INTENSIDADES (mm/min)					
	1	2	3	4	5	6
1	0,208	0,457	0,634	0,521	0,045	0,045
2	1,263	2,227	4,889	2,816	2,277	1,317
3	0,783	2,295	2,349	3,757	3,766	0,330
4	2,526	2,884	4,776	4,432	2,200	0,326
5	1,616	2,979	3,223	2,517	3,418	0,733
6	1,557	1,693	2,983	2,259	3,785	0,702
7	3,024	1,209	1,797	2,268	4,210	0,303
8	1,978	1,689	3,345	1,738	6,732	1,607
9	1,295	3,712	2,019	2,064	5,324	3,015
10	0,978	4,373	3,092	2,042	3,364	6,460
11	2,164	2,024	2,309	1,870	4,513	1,136
12	0,158	0,344	0,249	0,235	0,294	0,181

Na configuração para as chuvas longas, foram dispostos 40 microaspersores do tipo MA30 e 20 nebulizadores do tipo NA1 que, quando submetido a uma pressão de 9,6mca, apresentaram os valores apresentados na tabela C3 em termos de distribuição da precipitação.

Tabela C.3 – Distribuição de chuva longa a 7,6mca

FILEIRAS	INTENSIDADES (mm/min)					
	1	2	3	4	5	6
1	0,087	0,292	0,098	0,254	0,000	0,009
2	0,018	0,042	1,516	1,760	0,366	0,118
3	0,147	2,273	0,442	1,211	0,415	0,067
4	0,290	2,231	0,281	0,936	1,190	0,018
5	0,101	0,846	0,109	0,453	0,188	0,000
6	0,005	0,574	0,246	0,976	0,536	0,000
7	0,005	0,833	1,621	0,627	1,048	0,005
8	0,000	0,210	1,892	1,336	1,438	0,027
9	0,000	0,474	1,818	0,748	1,331	0,101
10	0,000	0,382	3,468	1,076	1,689	0,639
11	0,000	0,360	1,869	0,847	0,654	0,103
12	0,000	0,118	0,348	0,449	0,000	0,045

Assim, como ilustrado por meio da figura C8, foram simuladas cinco chuvas a pressões diferentes de forma a se obter a correlação entre pressão manométrica e vazão de saída.

Ao final do processo, foi possível estabelecer a relação linear entre a pressão manométrica do sistema e a vazão bombeada que, forneceu gráficos distintos para as duas durações de

chuvas, sendo a figura C14 referente às chuvas de 15 minutos e a figura C15 para as de 120 minutos.

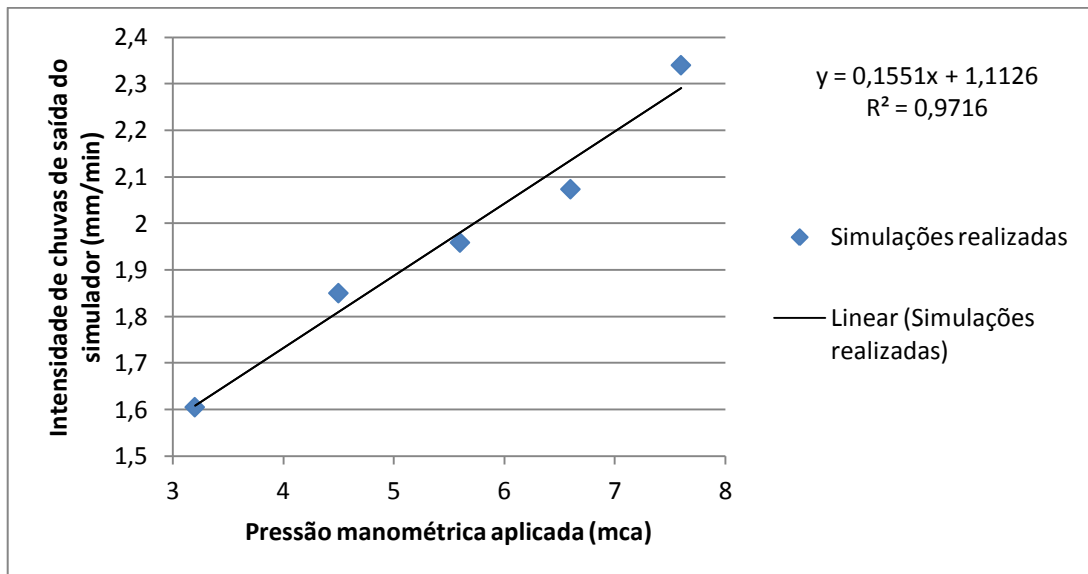


Figura C14 – Gráfico e equação de correlação para chuvas curtas

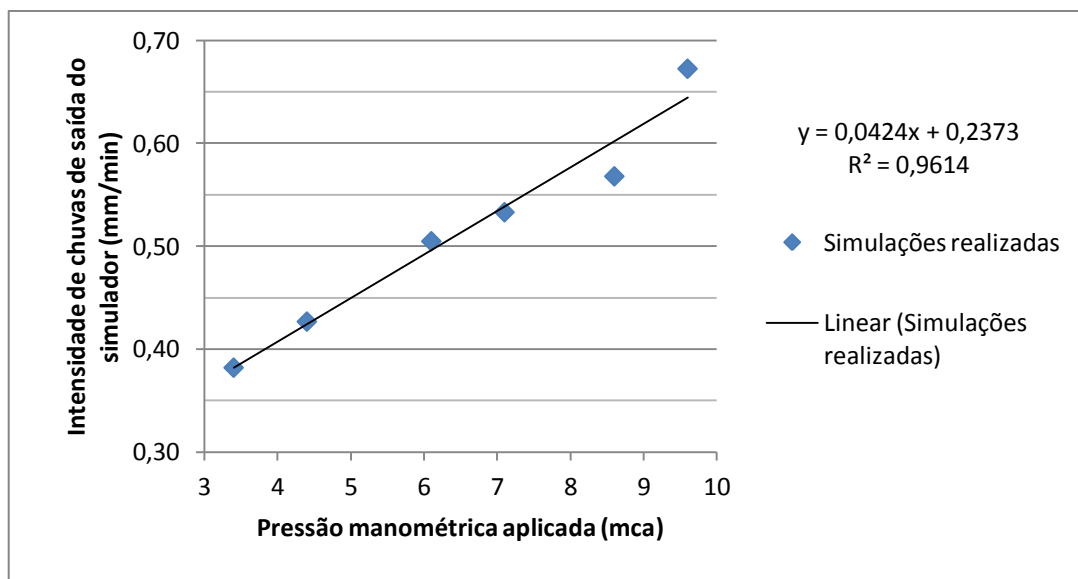


Figura C15 – Gráfico e equação de correlação para chuvas longas

Resultante de regressão linear, as equações C.2 e C.3 foram utilizadas para dimensionar a pressão de serviço para cada uma das intensidades de chuva.

$$y = 0,1551 \cdot x + 1,1126 \quad (\text{C.2})$$

$$y = 0,0424 \cdot x + 0,2373 \quad (\text{C.3})$$

Onde: x = pressão indicada no manômetro de saída da motobomba.

y = intensidade de chuva (mm/min) requerida.

Por fim, aplicando as equações C.2 para as chuvas curtas e C.3 para as chuvas longas, às intensidades de chuva apontadas pela equação 4.3, obtiveram-se os valores apresentados na tabela C.4. que foram utilizados nas chuvas do presente trabalho.

Tabela C.4 – Tabulação do percentual de água coletada no decorrer do tempo

DURAÇÃO (minutos)	TEMPO DE RECORRÊNCIA (anos)	INTENSIDADE DA CHUVA (mm/min)	PRESSÃO DE SERVIÇO (mca)
15	5	1,973	5,5
	15	2,352	8,0
120	5	0,528	6,9
	15	0,630	9,3

ANEXO D – ÍNDICE DE VAZIOS

**Serviço Nacional de
Aprendizagem Industrial**

Departamento Regional
do Distrito Federal



Relatório de Ensaio
N.º 14303/11
NBR 9778

Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por imersão – Índice de vazios e massa específica.

Empresa Construtora e Incorporadora Concretiza Ltda		Obra CRO 11 - Setor Militar Urbano	
Local do ensaio LCC	Data da concretagem	Data do ensaio 20/09/2011	
Central n. informada	Tipo de corpo de prova Extraído	Forma e dimensões do CP cilin. 10 x 14	Idade do CP n. informada
Método de cura até ocasião do ensaio ambiente			
Indicação de eventuais anomalias Aspecto bastante poroso.			

Secagem em estufa à temperatura (105 ± 5)°C

Massa inicial	Massa após 24 h	Massa após 48 h	Massa após 72 h	Massa após 96 h
CP 2 -V1E7 2472	2396	2391	-	-
CP 3 -V2E7 2477	2390	2385	-	-
CP 4 -V3E3 2568	2480	2474	-	-

Saturação em água à temperatura (23 ± 2)°C

Massa inicial	Massa após 24 h	Massa após 48 h	Massa após 72 h	Massa após 96 h
CP 2 -V1E7 2391	2576	2579	2580	-
CP 3 -V2E7 2385	2531	2538	2542	-
CP 4 -V3E3 2474	2623	2630	2631	-

Resultados

CP	Absoção após imersão (23 ± 2)°C (%)	Absoção após imersão e fervura (%)	Índice de vazios após saturação em água (%)	Índice de vazios após saturação e fervura (%)	Massa específica da amostra seca (g/cm ³)	Massa específica após saturação (g/cm ³)	Massa específica após saturação e fervura (g/cm ³)	Massa específica real (g/cm ³)
01	7,9	8,1	17,3	17,6	2,19	2,37	2,36	2,42
02	6,6	6,9	15,0	15,7	2,28	2,43	2,42	2,69
03	6,3	6,8	14,8	18,6	2,34	2,49	2,47	2,75

Observações:

Brasília, 4 de outubro de 2011.


Engenheiro Responsável Técnico

Laboratório da Construção Civil
Registro CREA/DF N.º 8506/RF
Email: lcc.senai@sistemafibra.org.br

Área Especial N.º 2 - Setor "C" Norte
Taguatinga Norte - DF
Fones: 3351 22 05 / 3353 8736

Engenheiro Responsável:
João Marcelo Linhares Feijão - CREA 11889 D/DF

Figura D1 – Relatório de ensaio de Volume de Vazios (1)

Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por imersão – Índice de vazios e massa específica.

Empresa Construtora e Incorporadora Concretiza Ltda		Obra CRO 11 - Setor Militar Urbano	
Local do ensaio LCC	Data da concretagem	Data do ensaio 20/09/2011	
Central n. informada	Tipo de corpo de prova Extraído	Forma e dimensões do CP cilin. 10 x 14	Idade do CP n. informada
Método de cura até ocasião do ensaio ambiente			
Indicação de eventuais anomalias Aspecto bastante poroso.			

Secagem em estufa à temperatura (105 ± 5)°C

Massa inicial	Massa após 24 h	Massa após 48 h	Massa após 72 h	Massa após 96 h
CP 6 –V1E3 2609	2532	2530	-	-
CP 9 –V1E9 2204	2140	2136	-	-
CP 11–V2E9 2732	2650	2645	-	-

Saturação em água à temperatura (23 ± 2)°C

Massa inicial	Massa após 24 h	Massa após 48 h	Massa após 72 h	Massa após 96 h
CP 6 –V1E3 2530	2724	2728	2731	-
CP 9 –V1E9 2136	2298	2302	2304	-
CP 11–V2E9 2645	2809	2815	2818	-

Resultados

CP	Absoção após imersão (23 ± 2)°C (%)	Absoção após imersão e fervura (%)	Índice de vazios após saturação em água (%)	Índice de vazios após saturação e fervura (%)	Massa específica da amostra seca (g/cm ³)	Massa específica após saturação (g/cm ³)	Massa específica após saturação e fervura (g/cm ³)	Massa específica real (g/cm ³)
01	7,9	6,8	17,3	15,2	2,18	2,36	2,39	2,64
02	7,9	7,4	17,5	16,7	2,22	2,40	2,41	2,69
03	6,5	6,4	15,2	16,7	2,14	2,48	2,48	2,74

Observações:

Brasília, 29 de setembro de 2011.


Engenheiro Responsável Técnico

Laboratório da Construção Civil
Registro CREA/DF N.º 8506/RF
Email: lcc.senai@sistemafibra.org.br

Área Especial N.º 2 - Setor "C" Norte
Taguatinga Norte - DF
Fones: 3351 22 05 / 3353 8736

Engenheiro Responsável:
João Marcelo Linhares Feijão - CREA 11889 D/DF

Figura D2 – Relatório de Ensaio de Volume de Vazios (2)

**Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água
por imersão – Índice de vazios e massa específica.**

Empresa Construtora e Incorporadora Concretiza Ltda		Obra CRO 11 - Setor Militar Urbano	
Local do ensaio LCC	Data da concretagem	Data do ensaio 20/09/2011	
Central n. informada	Tipo de corpo de prova Extraído	Forma e dimensões do CP cilin. 10 x 14	Idade do CP n. informada
Método de cura até ocasião do ensaio ambiente			
Indicação de eventuais anomalias Aspecto bastante poroso.			

Secagem em estufa à temperatura (105 ± 5)°C

Massa inicial	Massa após 24 h	Massa após 48 h	Massa após 72 h	Massa após 96 h
CP 12 -V2E3 2335	2263	2260	-	-
CP 15 -V1E5 2429	2352	2349	-	-
CP16 -V3E9 2325	2250	2275	-	-

Saturação em água à temperatura (23 ± 2)°C


Massa inicial	Massa após 24 h	Massa após 48 h	Massa após 72 h	Massa após 96 h
CP 12 -V2E3 2260	2426	2430	2432	-
CP 15 -V1E5 2349	2528	2533	2537	-
CP16 - V3E9 2245	2429	2435	2438	-

Resultados

CP	Absoção após imersão (23 ± 2)°C (%)	Absoção após imersão e fervura (%)	Índice de vazios após saturação em água (%)	Índice de vazios após saturação e fervura (%)	Massa específica da amostra seca (g/cm ³)	Massa específica após saturação (g/cm ³)	Massa específica após saturação e fervura (g/cm ³)	Massa específica real (g/cm ³)
01	7,6	6,9	17,4	16,1	2,29	2,46	2,48	2,77
02	8,0	7,4	17,6	16,5	2,20	2,37	2,39	2,66
03	8,6	9,0	18,7	19,4	2,17	2,36	2,43	2,67

Observações:

Brasília, 29 de setembro de 2011.


Engenheiro Responsável Técnico

Laboratório da Construção Civil
Registro CREA/DF N.º 8506/RF
Email: lcc.senai@sistemafibra.org.br

Área Especial N.º 2 - Setor "C" Norte
Taguatinga Norte - DF
Fones: 3351 22 05 / 3353 8736

Engenheiro Responsável:
João Marcelo Linhares Feijão - CREA 11889 D/DF

Figura D3 – Relatório de Ensaio de Volume de Vazios (3)

Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por imersão – Índice de vazios e massa específica.

Empresa Construtora e Incorporadora Concretiza Ltda		Obra CRO 11 - Setor Militar Urbano	
Local do ensaio LCC	Data da concretagem	Data do ensaio 20/09/2011	
Central n. informada	Tipo de corpo de prova Extraído	Forma e dimensões do CP cilin. 10 x 14	Idade do CP n. informada
Método de cura até ocasião do ensaio ambiente			
Indicação de eventuais anomalias Aspecto bastante poroso.			

Secagem em estufa à temperatura (105 ± 5)°C

Massa inicial	Massa após 24 h	Massa após 48 h	Massa após 72 h	Massa após 96 h
CP 17 -V3E5 2371	2280	2275	-	-
CP 19 -V3E7 2088	2007	2002	-	-
CP 20 -V3E1 2748	2630	2626	-	-

Saturação em água à temperatura (23 ± 2)°C

Massa inicial	Massa após 24 h	Massa após 48 h	Massa após 72 h	Massa após 96 h
CP 17 -V3E5 2275	2442	2449	2451	-
CP 19 -V3E7 2002	2148	2152	2155	-
CP 20 -V3E1 2626	2831	2839	2840	-

Resultados

CP	Absoção após imersão (23 ± 2)°C (%)	Absoção após imersão e fervura (%)	Índice de vazios após saturação em água (%)	Índice de vazios após saturação e fervura (%)	Massa específica da amostra seca (g/cm3)	Massa específica após saturação (g/cm3)	Massa específica após saturação e fervura (g/cm3)	Massa específica real (g/cm3)
01	7,7	8,2	17,5	18,4	2,27	2,44	2,43	2,75
02	7,6	9,1	2,48	20,4	2,31	2,48	2,43	2,80
03	8,1	8,8	18,2	19,3	2,23	2,42	2,42	2,73

Observações:

Brasília, 29 de setembro de 2011.


Engenheiro Responsável Técnico

Laboratório da Construção Civil
Registro CREA/DF N.º 8506/RF
Email: lcc.senai@sistemafibra.org.br

Área Especial N.º 2 - Setor "C" Norte
Taguatinga Norte - DF
Fones: 3351 22 05 / 3353 8736

Engenheiro Responsável:
João Marcelo Linhares Feijão - CREA 11889 D/DF

Figura D4 – Relatório de Ensaio de Volume de Vazios (4)

Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por imersão – Índice de vazios e massa específica.

Empresa Construtora e Incorporadora Concretiza Ltda		Obra CRO 11 - Setor Militar Urbano	
Local do ensaio LCC	Data da concretagem	Data do ensaio 20/09/2011	
Central n. informada	Tipo de corpo de prova Extraído	Forma e dimensões do CP cilin. 10 x 14	Idade do CP n. informada
Método de cura até ocasião do ensaio ambiente			
Indicação de eventuais anomalias Aspecto bastante poroso.			

Secagem em estufa à temperatura (105 ± 5)°C

Massa inicial	Massa após 24 h	Massa após 48 h	Massa após 72 h	Massa após 96 h
CP 24 -V1E1 2363	2283	2280	-	-
CP 25 -V3E2 2387	2300	2295	-	-
CP 30 - 1626	1590	1589	-	-

Saturação em água à temperatura (23 ± 2)°C

Massa inicial	Massa após 24 h	Massa após 48 h	Massa após 72 h	Massa após 96 h
CP 24 -V1E1 2280	2465	2470	2472	-
CP 25 -V3E2 2295	2477	2481	2482	-
CP 30 1589	1690	1693	1694	-

Resultados

CP	Absoção após imersão (23 ± 2)°C (%)	Absoção após imersão e fervura (%)	Índice de vazios após saturação em água (%)	Índice de vazios após saturação e fervura (%)	Massa específica da amostra seca (g/cm ³)	Massa específica após saturação (g/cm ³)	Massa específica após saturação e fervura (g/cm ³)	Massa específica real (g/cm ³)
01	8,9	8,2	18,7	18,2	2,21	2,40	2,41	2,72
02	8,1	8,6	18,3	19,1	2,25	2,43	2,42	2,76
03	6,6	5,5	15,5	13,2	2,34	2,49	2,54	2,77

Observações:

Brasília, 29 de setembro de 2011.


Engenheiro Responsável Técnico

Laboratório da Construção Civil
Registro CREA/DF N.º 8506/RF
Email: lcc.senai@sistemafibra.org.br

Área Especial N.º 2 - Setor "C" Norte
Taguatinga Norte - DF
Fones: 3351 22 05 / 3353 8736

Engenheiro Responsável:
João Marcelo Linhares Feijão - CREA 11889 D/DF

Figura D5 – Relatório de Ensaio de Volume de Vazios (5)

ANEXO E – RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO

Serviço Nacional de
Aprendizagem Industrial

Departamento Regional
do Distrito Federal



Relatório de Ensaio
Nº14109/11
NBR 7680

Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estrutura de concreto

Empresa Construtora e Incorporadora Concretiza Ltda		Obra CRO 11 - Setor Militar Urbano	
Agregados: origem Areia: - Brita: -		Traço em massa do concreto Cimento: - kg Areia: - kg Brita 1: - kg Brita 2: - kg Água: - kg Aditivo: - kg	
Data de concretagem Não informada	Data da extração não informada	Data do ensaio 04/09/11	Cimento -
Tipo de estrutura <input type="checkbox"/> armada <input type="checkbox"/> protendida <input type="checkbox"/> pré-moldada		Condições de cura do concreto ambiente	Central de concreto não informada
Tipo de lançamento e adensamento -		Fck de projeto N.In MPa	
		Condição do corpo de prova no momento do ensaio. <input checked="" type="checkbox"/> Seco ao ar <input type="checkbox"/> Saturado superfície seca	

Corpo de prova	(d) Diâmetro do corpo de prova (cm)	(h) Altura do corpo de prova (cm)	Resistência a compressão (MPa)	Fator de correção (h/d) altura / diâmetro	Resistência a compressão corrigida (MPa)	Local de extração dos testemunhos
01	10,4	14,0	19,9	0,94	18,7	V2E2
05	10,4	14,4	13,1	0,95	12,4	V3E8
07	10,4	14,3	27,1	0,95	25,7	V2E8
08	10,4	15,0	10,9	0,95	10,4	V1E2
10	10,4	13,0	30,3	0,93	28,2	V2E4
-	-	-	-	-	-	-

Classe e data da última verificação da máquina de ensaio

Prensa Pavitest: Modelo I-3025-A,NO34;capacidade 100 Ton,calibrada em 13 de julho de 2011.
Prensa Pavitest: Universal-100Ton.(serie nº13896)calibrada em 13 de julho de 2011.

Observações

Conforme previsto na ABNT NBR 6118:2003,em 12,4,1 admite-se no caso de testemunhos extraídos da estrutura,dividir o coeficiente de ponderação das resistências no estado ultimo(ELU)por 1,1

Brasília, 4 de outubro de 2011.

João Marcelo L. Feijão
Engenheiro Civil – CREA 11889/D/DF
Responsável Técnico do laboratório

Laboratório da Construção Civil
Email:icc.senai@sistemafibra.org.br
Registro CREA/DF Nº 8506/RF

Área Especial N.º 2 - Setor "C" Norte
Taguatinga Norte - DF
Fones: 3351 2205 / 3353 8736

Engenheiro Responsável
João Marcelo Linhares Feijão CREA-11889 D/DF

Figura E1 – Relatório de Ensaio de Resistência à Compressão (1)

Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estrutura de concreto

Empresa: Construtora e Incorporadora Concretiza Ltda. Obra: CRO 11 - Setor Militar Urbano

Agregados: origem: Areia: - Brita: - Traço em massa do concreto: Cimento: - kg Brita 1: - kg Brita 2: - kg Água: - kg Aditivo: - kg

Data de concretagem: Não informada. Data da extração: não informada. Data do ensaio: 04/09/11. Central de concreto: não informada.

Tipo de estrutura: armada protendida pré-moldada. Condições de cura do concreto: ambiente. Fck de projeto: N.In MPa.

Tipo de lançamento e adensamento: - Condição do corpo de prova no momento do ensaio: Seco ao ar Saturado superfície seca

Corpo de prova	(d) Diâmetro do corpo de prova (cm)	(h) Altura do corpo de prova (cm)	Resistência a compressão (MPa)	Fator de correção (h/d) altura / diâmetro	Resistência a compressão corrigida (MPa)	Local da extração dos testemunhos
13	10,4	13,3	22,8	0,93	21,2	V3E6
14	10,4	15,8	32,6	0,96	31,3	V2E10
18	10,4	13,8	23,0	0,94	21,6	V3E10
21	10,4	15,5	21,9	0,96	21,0	V3E2
22	10,4	13,3	18,2	0,93	16,9	V1E6
23	10,4	14,2	11,8	0,94	11,1	V1E4

Classe e data de última verificação da máquina de ensaio
 Prensa Pavitest: Modelo I-3025-A, NO34; capacidade 100 Ton, calibrada em 13 de julho de 2011.
 Prensa Pavitest: Universal-100Ton. (serie nº13696) calibrada em 13 de julho de 2011.

Observações
 Conforme previsto na ABNT NBR 6118:2003, em 12,4,1 admite-se no caso de testemunhos extraídos da estrutura, dividir o coeficiente de ponderação das resistências no estado último (ELU) por 1,1

Brasília, 4 de outubro de 2011.


 João Marcelo L. Feijão
 Engenheiro Civil - CREA 11889/D/DF
 Responsável Técnico do laboratório

Figura E2 – Relatório de Ensaio de Resistência à Compressão (2)

Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estrutura de concreto

Empresa Construtora e Incorporadora Concretiza Ltda		Obra CRO 11 - Setor Militar Urbano		
Agregados: origem Areia: - Brita: -		Traço em massa do concreto Cimento: - kg Brita 1: - kg Brita 2: - kg Água: - kg Aditivo: - kg		
Data de concretagem Não informada	Data da extração não informada	Data do ensaio 04/09/11	Cimento -	Central de concreto não informada
Tipo de estrutura <input type="checkbox"/> armada <input type="checkbox"/> protendida <input type="checkbox"/> pré-moldada		Condições de cura do concreto ambiente		Fck de projeto N.In MPa
Tipo de lançamento e adensamento -		Condição do corpo de prova no momento do ensaio: <input checked="" type="checkbox"/> Seco ao ar <input type="checkbox"/> Saturado superfície seca		

Corpo de prova	(d) Diâmetro do corpo de prova (cm)	(h) Altura do corpo de prova (cm)	Resistência a compressão (MPa)	Fator de correção (h/d) altura / diâmetro	Resistência a compressão corrigida (MPa)	Local de extração dos testemunhos
26	10,4	13,1	13,7	0,93	12,7	V1E8
27	10,4	13,6	31,6	0,94	29,7	V2E6
28	10,4	13,8	26,7	0,94	25,1	V3E4
29	10,4	16,2	15,3	0,96	14,7	V1E10
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-

Classe e data da última verificação da máquina de ensaio

Pressa Pavitest: Modelo I-3025-A, NO34; capacidade 100 Ton, calibrada em 13 de julho de 2011.

Pressa Pavitest: Universal-100Ton, (serie nº13896) calibrada em 13 de julho de 2011.

Observações

Conforme previsto na ABNT NBR 6118:2003, em 12.4.1 admite-se no caso de testemunhos extraídos da estrutura, dividir o coeficiente de ponderação das resistências no estado último (ELU) por 1,1

Brasília, 26 de setembro de 2011.


João Marcelo L. Feijão
Engenheiro Civil - CREA 11889/D/DF
Responsável Técnico do laboratório

Figura E3 – Relatório de Ensaio de Resistência à Compressão (3)

ANEXO F – VAZÕES ESCOADAS NO PAVIMENTO

Tabela F.1 – Chuvas de 15 minutos de duração no pavimento novo

TEMPO (min)	SUPERFICIAL (L/min)		SUBSUPERFICIAL (L/min)		TEMPO (min)	SUPERFICIAL (L/min)		SUBSUPERFICIAL (L/min)	
	5 anos	15 anos	5 anos	15 anos		5 anos	15 anos	5 anos	15 anos
0	0,00	0,00	0,00	0,00	39	0,00	0,00	0,31	0,32
1	0,00	0,00	0,00	0,00	40	0,00	0,00	0,31	0,31
2	0,00	0,00	0,00	0,51	41	0,00	0,00	0,31	0,31
3	0,00	0,00	3,24	4,81	42	0,00	0,00	0,31	0,31
4	0,00	0,00	10,96	12,73	43	0,00	0,00	0,30	0,30
5	0,00	0,00	15,32	17,07	44	0,00	0,00	0,31	0,31
6	0,00	0,00	18,18	23,00	45	0,00	0,00	0,29	0,29
7	0,00	0,00	21,24	24,19	46	0,00	0,00	0,29	0,29
8	0,00	0,00	22,34	26,80	47	0,00	0,00	0,28	0,28
9	0,00	0,00	22,90	28,04	48	0,00	0,00	0,27	0,27
10	0,00	0,00	24,00	28,71	49	0,00	0,00	0,27	0,27
11	0,00	0,00	24,66	29,40	50	0,00	0,00	0,25	0,25
12	0,00	0,00	24,66	29,40	51	0,00	0,00	0,23	0,23
13	0,00	0,00	24,66	29,40	52	0,00	0,00	0,21	0,21
14	0,00	0,00	24,66	29,40	53	0,00	0,00	0,20	0,20
15	0,00	0,00	24,10	28,73	54	0,00	0,00	0,23	0,23
16	0,00	0,00	20,72	24,71	55	0,00	0,00	0,27	0,27
17	0,00	0,00	17,67	21,07	56	0,00	0,00	0,23	0,23
18	0,00	0,00	12,61	15,04	57	0,00	0,00	0,20	0,20
19	0,00	0,00	8,51	10,15	58	0,00	0,00	0,17	0,17
20	0,00	0,00	5,32	6,34	59	0,00	0,00	0,14	0,14
21	0,00	0,00	3,44	4,11	60	0,00	0,00	0,14	0,14
22	0,00	0,00	2,30	2,59	61	0,00	0,00	0,15	0,15
23	0,00	0,00	2,17	2,52	62	0,00	0,00	0,15	0,15
24	0,00	0,00	1,69	1,89	63	0,00	0,00	0,14	0,14
25	0,00	0,00	1,48	1,48	64	0,00	0,00	0,14	0,14
26	0,00	0,00	1,33	1,64	65	0,00	0,00	0,13	0,13
27	0,00	0,00	1,23	1,30	66	0,00	0,00	0,13	0,13
28	0,00	0,00	0,82	0,92	67	0,00	0,00	0,11	0,11
29	0,00	0,00	0,50	0,55	68	0,00	0,00	0,11	0,11
30	0,00	0,00	0,41	0,48	69	0,00	0,00	0,08	0,08
31	0,00	0,00	0,40	0,46	70	0,00	0,00	0,08	0,08
32	0,00	0,00	0,38	0,45	71	0,00	0,00	0,07	0,07
33	0,00	0,00	0,36	0,43	72	0,00	0,00	0,07	0,07
34	0,00	0,00	0,34	0,40	73	0,00	0,00	0,07	0,07
35	0,00	0,00	0,32	0,38	74	0,00	0,00	0,04	0,04
36	0,00	0,00	0,31	0,36	75	0,00	0,00	0,02	0,02
37	0,00	0,00	0,31	0,35	76	0,00	0,00	0,02	0,02
38	0,00	0,00	0,31	0,33	77	0,00	0,00	0,01	0,01

Tabela F.1 - Chuvas de 15 minutos de duração no pavimento novo (continuação)

TEMPO (min)	SUPERFICIAL (L/min)		SUBSUPERFICIAL (L/min)		TEMPO (min)	SUPERFICIAL (L/min)		SUBSUPERFICIAL (L/min)	
	5 anos	15 anos	5 anos	15 anos		5 anos	15 anos	5 anos	15 anos
78	0,00	0,00	0,01	0,01	85	0,00	0,00	0,01	0,01
79	0,00	0,00	0,01	0,01	86	0,00	0,00	0,01	0,01
80	0,00	0,00	0,01	0,01	87	0,00	0,00	0,01	0,01
81	0,00	0,00	0,01	0,01	88	0,00	0,00	0,01	0,01
82	0,00	0,00	0,01	0,01	89	0,00	0,00	0,01	0,01
83	0,00	0,00	0,01	0,01	90	0,00	0,00	0,01	0,01
84	0,00	0,00	0,01	0,01					

Tabela F.2 – Chuvas de 120 minutos de duração no pavimento novo

TEMPO (min)	SUPERFICIAL (L/min)		SUBSUPERFICIAL (L/min)		TEMPO (min)	SUPERFICIAL (L/min)		SUBSUPERFICIAL (L/min)	
	5 anos	15 anos	5 anos	15 anos		5 anos	15 anos	5 anos	15 anos
0	0,00	0,00	0,00	0,00	27	0,00	0,00	6,34	7,58
1	0,00	0,00	0,00	0,00	28	0,00	0,00	6,34	7,58
2	0,00	0,00	0,00	0,00	29	0,00	0,00	6,34	7,58
3	0,00	0,00	1,16	1,39	30	0,00	0,00	6,34	7,58
4	0,00	0,00	2,08	2,48	31	0,00	0,00	6,34	7,58
5	0,00	0,00	3,24	3,90	32	0,00	0,00	6,34	7,58
6	0,00	0,00	4,32	5,18	33	0,00	0,00	6,34	7,58
7	0,00	0,00	4,94	5,85	34	0,00	0,00	6,34	7,58
8	0,00	0,00	5,17	6,17	35	0,00	0,00	6,34	7,68
9	0,00	0,00	5,40	6,45	36	0,00	0,00	6,34	7,68
10	0,00	0,00	5,44	6,50	37	0,00	0,00	6,34	7,68
11	0,00	0,00	5,48	6,54	38	0,00	0,00	6,34	7,68
12	0,00	0,00	5,56	6,64	39	0,00	0,00	6,34	7,68
13	0,00	0,00	5,63	6,73	40	0,00	0,00	6,43	7,68
14	0,00	0,00	5,67	6,78	41	0,00	0,00	6,43	7,68
15	0,00	0,00	5,71	6,82	42	0,00	0,00	6,43	7,68
16	0,00	0,00	5,71	6,82	43	0,00	0,00	6,43	7,68
17	0,00	0,00	5,92	7,07	44	0,00	0,00	6,43	7,68
18	0,00	0,00	6,05	7,23	45	0,00	0,00	6,43	7,68
19	0,00	0,00	6,18	7,39	46	0,00	0,00	6,43	7,68
20	0,00	0,00	6,31	7,54	47	0,00	0,00	6,43	7,68
21	0,00	0,00	6,34	7,58	48	0,00	0,00	6,43	7,68
22	0,00	0,00	6,34	7,58	49	0,00	0,00	6,43	7,68
23	0,00	0,00	6,34	7,58	50	0,00	0,00	6,43	7,68
24	0,00	0,00	6,34	7,58	51	0,00	0,00	6,43	7,68
25	0,00	0,00	6,34	7,58	52	0,00	0,00	6,43	7,78
26	0,00	0,00	6,34	7,58	53	0,00	0,00	6,43	7,78

Tabela F.2 - Chuvas de 120 minutos de duração no pavimento novo (continuação – 2/3)

TEMPO (min)	SUPERFICIAL (L/min)		SUBSUPERFICIAL (L/min)		TEMPO (min)	SUPERFICIAL (L/min)		SUBSUPERFICIAL (L/min)	
	5 anos	15 anos	5 anos	15 anos		5 anos	15 anos	5 anos	15 anos
54	0,00	0,00	6,52	7,78	94	0,00	0,00	6,60	7,89
55	0,00	0,00	6,52	7,78	95	0,00	0,00	6,60	7,89
56	0,00	0,00	6,52	7,78	96	0,00	0,00	6,60	7,89
57	0,00	0,00	6,52	7,78	97	0,00	0,00	6,60	7,89
58	0,00	0,00	6,52	7,78	98	0,00	0,00	6,60	7,89
59	0,00	0,00	6,52	7,78	99	0,00	0,00	6,60	7,89
60	0,00	0,00	6,52	7,78	100	0,00	0,00	6,60	7,89
61	0,00	0,00	6,52	7,78	101	0,00	0,00	6,60	7,89
62	0,00	0,00	6,52	7,78	102	0,00	0,00	6,60	7,89
63	0,00	0,00	6,52	7,78	103	0,00	0,00	6,60	7,89
64	0,00	0,00	6,52	7,78	104	0,00	0,00	6,60	7,89
65	0,00	0,00	6,52	7,78	105	0,00	0,00	6,60	7,89
66	0,00	0,00	6,52	7,78	106	0,00	0,00	6,60	7,89
67	0,00	0,00	6,52	7,78	107	0,00	0,00	6,60	7,89
68	0,00	0,00	6,52	7,78	108	0,00	0,00	6,60	7,89
69	0,00	0,00	6,52	7,78	109	0,00	0,00	6,60	7,89
70	0,00	0,00	6,60	7,89	110	0,00	0,00	6,60	7,89
71	0,00	0,00	6,60	7,89	111	0,00	0,00	6,60	7,89
72	0,00	0,00	6,60	7,89	112	0,00	0,00	6,60	7,89
73	0,00	0,00	6,60	7,89	113	0,00	0,00	6,60	7,89
74	0,00	0,00	6,60	7,89	114	0,00	0,00	6,60	7,89
75	0,00	0,00	6,60	7,89	115	0,00	0,00	6,60	7,89
76	0,00	0,00	6,60	7,89	116	0,00	0,00	6,60	7,89
77	0,00	0,00	6,60	7,89	117	0,00	0,00	6,60	7,89
78	0,00	0,00	6,60	7,89	118	0,00	0,00	6,60	7,89
79	0,00	0,00	6,60	7,89	119	0,00	0,00	6,60	7,89
80	0,00	0,00	6,60	7,89	120	0,00	0,00	6,60	7,89
81	0,00	0,00	6,60	7,89	121	0,00	0,00	6,60	7,89
82	0,00	0,00	6,60	7,89	122	0,00	0,00	5,22	6,24
83	0,00	0,00	6,60	7,89	123	0,00	0,00	4,01	4,79
84	0,00	0,00	6,60	7,89	124	0,00	0,00	2,77	3,32
85	0,00	0,00	6,60	7,89	127	0,00	0,00	1,87	2,24
86	0,00	0,00	6,60	7,89	128	0,00	0,00	1,32	1,57
87	0,00	0,00	6,60	7,89	129	0,00	0,00	0,84	1,00
88	0,00	0,00	6,60	7,89	130	0,00	0,00	0,55	0,66
89	0,00	0,00	6,60	7,89	131	0,00	0,00	0,46	0,55
90	0,00	0,00	6,60	7,89	132	0,00	0,00	0,36	0,43
91	0,00	0,00	6,60	7,89	133	0,00	0,00	0,27	0,32
92	0,00	0,00	6,60	7,89	134	0,00	0,00	0,25	0,30
93	0,00	0,00	6,60	7,89	135	0,00	0,00	0,22	0,26

Tabela F.2 - Chuvas de 120 minutos de duração no pavimento novo (continuação – 3/3)

TEMPO (min)	SUPERFICIAL (L/min)		SUBSUPERFICIAL (L/min)		TEMPO (min)	SUPERFICIAL (L/min)		SUBSUPERFICIAL (L/min)	
	5 anos	15 anos	5 anos	15 anos		5 anos	15 anos	5 anos	15 anos
136	0,00	0,00	0,13	0,16	159	0,00	0,00	0,06	0,06
137	0,00	0,00	0,11	0,13	160	0,00	0,00	0,07	0,07
138	0,00	0,00	0,11	0,12	161	0,00	0,00	0,06	0,06
139	0,00	0,00	0,10	0,11	162	0,00	0,00	0,05	0,05
140	0,00	0,00	0,10	0,10	163	0,00	0,00	0,05	0,05
141	0,00	0,00	0,10	0,10	164	0,00	0,00	0,04	0,04
142	0,00	0,00	0,08	0,08	165	0,00	0,00	0,04	0,04
143	0,00	0,00	0,08	0,08	166	0,00	0,00	0,04	0,04
144	0,00	0,00	0,08	0,08	167	0,00	0,00	0,04	0,04
145	0,00	0,00	0,08	0,08	168	0,00	0,00	0,04	0,04
146	0,00	0,00	0,08	0,08	169	0,00	0,00	0,04	0,04
147	0,00	0,00	0,08	0,08	170	0,00	0,00	0,04	0,04
148	0,00	0,00	0,08	0,08	171	0,00	0,00	0,04	0,04
149	0,00	0,00	0,08	0,08	172	0,00	0,00	0,04	0,04
150	0,00	0,00	0,08	0,08	173	0,00	0,00	0,04	0,04
151	0,00	0,00	0,08	0,08	174	0,00	0,00	0,03	0,03
152	0,00	0,00	0,08	0,08	175	0,00	0,00	0,02	0,02
153	0,00	0,00	0,07	0,07	176	0,00	0,00	0,02	0,02
154	0,00	0,00	0,07	0,07	177	0,00	0,00	0,02	0,02
155	0,00	0,00	0,07	0,07	178	0,00	0,00	0,02	0,02
156	0,00	0,00	0,06	0,06	179	0,00	0,00	0,01	0,01
157	0,00	0,00	0,06	0,06	180	0,00	0,00	0,01	0,01
158	0,00	0,00	0,05	0,05					

Tabela F.3 – Chuvas de 15 minutos de duração no pavimento colmatado

TEMPO (min)	SUPERFICIAL (L/min)		SUBSUPERFICIAL (L/min)		TEMPO (min)	SUPERFICIAL (L/min)		SUBSUPERFICIAL (L/min)	
	5 anos	15 anos	5 anos	15 anos		5 anos	15 anos	5 anos	15 anos
0	0,00	0,00	0,00	0,00	12	24,66	29,40	0,00	0,00
1	0,00	0,53	0,00	0,00	13	24,66	29,40	0,00	0,00
2	22,98	25,86	0,00	0,00	14	24,66	29,40	0,00	0,00
3	24,66	29,40	0,00	0,00	15	22,98	28,40	0,01	0,01
4	24,66	29,40	0,00	0,00	16	12,67	11,20	0,01	0,01
5	24,66	29,40	0,00	0,00	17	2,76	5,92	0,02	0,01
6	24,66	29,40	0,00	0,00	18	1,27	1,83	0,02	0,02
7	24,66	29,40	0,00	0,00	19	0,77	0,48	0,02	0,02
8	24,66	29,40	0,00	0,00	20	0,41	0,18	0,02	0,02
9	24,66	29,40	0,00	0,00	21	0,18	0,10	0,02	0,02
10	24,66	29,40	0,00	0,00	22	0,10	0,10	0,02	0,02
11	24,66	29,40	0,00	0,00	23	0,10	0,10	0,02	0,02

Tabela F.3 - Chuvas de 15 minutos de duração no pavimento colmatado (continuação – 2/2)

TEMPO (min)	SUPERFICIAL (L/min)		SUBSUPERFICIAL (L/min)		TEMPO (min)	SUPERFICIAL (L/min)		SUBSUPERFICIAL (L/min)	
	5 anos	15 anos	5 anos	15 anos		5 anos	15 anos	5 anos	15 anos
24	0,10	0,10	0,02	0,02	37	0,02	0,02	0,01	0,01
25	0,10	0,10	0,02	0,02	38	0,02	0,02	0,01	0,01
26	0,10	0,05	0,02	0,02	39	0,02	0,02	0,00	0,01
27	0,05	0,05	0,02	0,02	40	0,02	0,02	0,00	0,01
28	0,05	0,05	0,02	0,02	41	0,01	0,01	0,00	0,01
29	0,05	0,05	0,02	0,02	42	0,01	0,01	0,00	0,00
30	0,05	0,05	0,02	0,02	43	0,01	0,01	0,00	0,00
31	0,05	0,02	0,02	0,02	44	0,01	0,01	0,00	0,00
32	0,02	0,02	0,01	0,01	45	0,01	0,01	0,00	0,00
33	0,02	0,02	0,01	0,01	46	0,00	0,01	0,00	0,00
34	0,02	0,02	0,01	0,01	47	0,00	0,01	0,00	0,00
35	0,02	0,02	0,01	0,01	48	0,00	0,01	0,00	0,00
36	0,02	0,02	0,01	0,01	49	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabela F.4 – Chuvas de 120 minutos de duração no pavimento colmatado

TEMPO (min)	SUPERFICIAL (L/min)		SUBSUPERFICIAL (L/min)		TEMPO (min)	SUPERFICIAL (L/min)		SUBSUPERFICIAL (L/min)	
	5 anos	15 anos	5 anos	15 anos		5 anos	15 anos	5 anos	15 anos
0	0,00	0,00	0,00	0,00	20	6,46	7,75	0,02	0,02
1	0,00	0,00	0,00	0,00	21	6,46	7,75	0,02	0,02
2	5,01	6,22	0,00	0,00	22	6,46	7,75	0,02	0,02
3	6,45	7,75	0,00	0,00	23	6,46	7,75	0,02	0,02
4	6,45	7,75	0,00	0,00	24	6,46	7,75	0,02	0,03
5	6,45	7,75	0,00	0,00	25	6,46	7,75	0,02	0,03
6	6,45	7,75	0,00	0,00	26	6,46	7,75	0,02	0,03
7	6,45	7,75	0,00	0,00	27	6,46	7,75	0,02	0,03
8	6,45	7,75	0,00	0,00	28	6,46	7,75	0,02	0,03
9	6,45	7,75	0,00	0,00	29	6,46	7,75	0,02	0,02
10	6,46	7,75	0,00	0,00	30	6,46	7,75	0,02	0,02
11	6,46	7,75	0,00	0,00	31	6,46	7,75	0,02	0,02
12	6,46	7,75	0,00	0,00	32	6,46	7,75	0,02	0,02
13	6,46	7,75	0,00	0,00	33	6,46	7,75	0,02	0,02
14	6,46	7,75	0,00	0,00	34	6,46	7,75	0,02	0,02
15	6,46	7,75	0,01	0,01	35	6,46	7,75	0,02	0,02
16	6,46	7,75	0,01	0,01	36	6,46	7,75	0,02	0,02
17	6,46	7,75	0,02	0,02	37	6,46	7,75	0,02	0,02
18	6,46	7,75	0,02	0,02	38	6,46	7,75	0,02	0,02
19	6,46	7,75	0,02	0,02	39	6,46	7,75	0,02	0,02

Tabela F.4 - Chuvas de 120 minutos de duração no pavimento colmatado (continuação –

2/3)

TEMPO (min)	SUPERFICIAL (L/min)		SUBSUPERFICIAL (L/min)		TEMPO (min)	SUPERFICIAL (L/min)		SUBSUPERFICIAL (L/min)	
	5 anos	15 anos	5 anos	15 anos		5 anos	15 anos	5 anos	15 anos
40	6,46	7,75	0,02	0,02	79	6,46	7,75	0,02	0,02
41	6,46	7,75	0,02	0,02	80	6,46	7,75	0,02	0,02
42	6,46	7,75	0,02	0,02	81	6,46	7,75	0,02	0,02
43	6,46	7,75	0,02	0,02	82	6,46	7,75	0,02	0,02
44	6,46	7,75	0,02	0,02	83	6,46	7,75	0,02	0,02
45	6,46	7,75	0,02	0,02	84	6,46	7,75	0,02	0,02
46	6,46	7,75	0,02	0,02	85	6,46	7,75	0,02	0,02
47	6,46	7,75	0,02	0,02	86	6,46	7,75	0,02	0,02
48	6,46	7,75	0,02	0,02	87	6,46	7,75	0,02	0,02
49	6,46	7,75	0,02	0,02	88	6,46	7,75	0,02	0,02
50	6,46	7,75	0,02	0,02	89	6,46	7,75	0,02	0,02
51	6,46	7,75	0,02	0,02	90	6,46	7,75	0,02	0,02
52	6,46	7,75	0,02	0,02	91	6,46	7,75	0,02	0,02
53	6,46	7,75	0,02	0,02	92	6,46	7,75	0,02	0,02
54	6,46	7,75	0,02	0,02	93	6,46	7,75	0,02	0,02
55	6,46	7,75	0,02	0,02	94	6,46	7,75	0,02	0,02
56	6,46	7,75	0,02	0,02	95	6,46	7,75	0,02	0,02
57	6,46	7,75	0,02	0,02	96	6,46	7,75	0,02	0,02
58	6,46	7,75	0,02	0,02	97	6,46	7,75	0,02	0,02
59	6,46	7,75	0,02	0,02	98	6,46	7,75	0,02	0,02
60	6,46	7,75	0,02	0,02	99	6,46	7,75	0,02	0,02
61	6,46	7,75	0,02	0,02	100	6,46	7,75	0,02	0,02
62	6,46	7,75	0,02	0,02	101	6,46	7,75	0,02	0,02
63	6,46	7,75	0,02	0,02	102	6,46	7,75	0,02	0,02
64	6,46	7,75	0,02	0,02	103	6,46	7,75	0,02	0,02
65	6,46	7,75	0,02	0,02	104	6,46	7,75	0,02	0,02
66	6,46	7,75	0,02	0,02	105	6,46	7,75	0,02	0,02
67	6,46	7,75	0,02	0,02	106	6,46	7,75	0,02	0,02
68	6,46	7,75	0,02	0,02	107	6,46	7,75	0,02	0,02
69	6,46	7,75	0,02	0,02	108	6,46	7,75	0,02	0,02
70	6,46	7,75	0,02	0,02	109	6,46	7,75	0,02	0,02
71	6,46	7,75	0,02	0,02	110	6,46	7,75	0,02	0,02
72	6,46	7,75	0,02	0,02	111	6,46	7,75	0,02	0,02
73	6,46	7,75	0,02	0,02	112	6,46	7,75	0,02	0,02
74	6,46	7,75	0,02	0,02	113	6,46	7,75	0,02	0,02
75	6,46	7,75	0,02	0,02	114	6,46	7,75	0,02	0,02
76	6,46	7,75	0,02	0,02	115	6,46	7,75	0,02	0,02
77	6,46	7,75	0,02	0,02	116	6,46	7,75	0,02	0,02
78	6,46	7,75	0,02	0,02	117	6,46	7,75	0,02	0,02

Tabela F.4 - Chuvas de 120 minutos de duração no pavimento colmatado (continuação –
3/3)

TEMPO (min)	SUPERFICIAL (L/min)		SUBSUPERFICIAL (L/min)		TEMPO (min)	SUPERFICIAL (L/min)		SUBSUPERFICIAL (L/min)	
	5 anos	15 anos	5 anos	15 anos		5 anos	15 anos	5 anos	15 anos
118	6,46	7,75	0,02	0,02	140	0,01	0,01	0,01	0,01
119	6,46	7,75	0,02	0,02	141	0,01	0,01	0,01	0,01
120	6,46	7,75	0,02	0,02	142	0,01	0,01	0,01	0,01
121	6,01	4,51	0,02	0,02	143	0,00	0,01	0,01	0,01
122	3,75	1,78	0,02	0,02	144	0,00	0,01	0,01	0,01
123	1,48	0,87	0,02	0,02	145	0,00	0,01	0,01	0,01
124	0,72	0,40	0,02	0,02	146	0,00	0,01	0,01	0,01
125	0,33	0,24	0,02	0,02	147	0,00	0,00	0,01	0,01
126	0,20	0,13	0,02	0,02	148	0,00	0,00	0,01	0,01
127	0,11	0,06	0,02	0,02	149	0,00	0,00	0,01	0,01
128	0,05	0,03	0,02	0,02	150	0,00	0,00	0,01	0,01
129	0,03	0,03	0,02	0,02	151	0,00	0,00	0,01	0,01
130	0,03	0,03	0,02	0,02	152	0,00	0,00	0,01	0,01
131	0,03	0,02	0,02	0,02	153	0,00	0,00	0,01	0,01
132	0,02	0,02	0,01	0,01	154	0,00	0,00	0,01	0,01
133	0,02	0,02	0,01	0,01	155	0,00	0,00	0,01	0,01
134	0,02	0,02	0,01	0,01	156	0,00	0,00	0,00	0,00
135	0,02	0,02	0,01	0,01	157	0,00	0,00	0,00	0,00
136	0,01	0,01	0,01	0,01	158	0,00	0,00	0,00	0,00
137	0,01	0,01	0,01	0,01	159	0,00	0,00	0,00	0,00
138	0,01	0,01	0,01	0,01	160	0,00	0,00	0,00	0,00
139	0,01	0,01	0,01	0,01					

Tabela F.5 – Chuvas de 15 minutos de duração no pavimento recuperado

TEMPO (min)	SUPERFICIAL (L/min)		SUBSUPERFICIAL (L/min)		TEMPO (min)	SUPERFICIAL (L/min)		SUBSUPERFICIAL (L/min)	
	5 anos	15 anos	5 anos	15 anos		5 anos	15 anos	5 anos	15 anos
0	0,00	0,00	0,00	0,00	12	9,16	12,35	15,39	17,05
1	0,00	0,67	0,00	0,00	13	9,16	12,35	15,39	17,05
2	3,65	7,02	0,00	0,00	14	9,16	12,35	15,39	17,05
3	6,74	11,15	0,00	0,00	15	9,16	12,35	15,39	17,05
4	9,16	11,53	0,00	0,00	16	2,72	8,94	15,39	16,79
5	9,16	11,53	2,31	0,93	17	0,65	3,87	15,39	15,19
6	9,16	12,35	7,74	4,46	18	0,32	0,77	15,39	14,21
7	9,16	12,35	11,24	7,85	19	0,22	0,40	10,02	9,26
8	9,16	12,35	12,72	10,73	20	0,15	0,26	5,74	6,05
9	9,16	12,35	15,03	14,74	21	0,15	0,20	3,37	4,48
10	9,16	12,35	15,39	17,05	22	0,13	0,14	2,72	2,72
11	9,16	12,35	15,39	17,05	23	0,09	0,14	2,42	2,60

Tabela F.5 - Chuvas de 15 minutos de duração no pavimento recuperado (continuação –

2/2)

TEMPO (min)	SUPERFICIAL (L/min)		SUBSUPERFICIAL (L/min)		TEMPO (min)	SUPERFICIAL (L/min)		SUBSUPERFICIAL (L/min)	
	5 anos	15 anos	5 anos	15 anos		5 anos	15 anos	5 anos	15 anos
24	0,09	0,10	2,31	2,22	58	0,00	0,00	0,14	0,18
25	0,08	0,10	2,01	2,03	59	0,00	0,00	0,14	0,18
26	0,07	0,10	1,81	1,82	60	0,00	0,00	0,14	0,17
27	0,05	0,08	1,52	1,36	61	0,00	0,00	0,14	0,17
28	0,04	0,08	0,81	0,99	62	0,00	0,00	0,14	0,17
29	0,04	0,05	0,54	0,84	63	0,00	0,00	0,14	0,15
30	0,04	0,05	0,30	0,68	64	0,00	0,00	0,14	0,14
31	0,04	0,05	0,28	0,67	65	0,00	0,00	0,12	0,14
32	0,04	0,05	0,28	0,67	66	0,00	0,00	0,12	0,14
33	0,04	0,03	0,28	0,67	67	0,00	0,00	0,12	0,14
34	0,02	0,03	0,28	0,67	68	0,00	0,00	0,12	0,14
35	0,02	0,02	0,28	0,67	69	0,00	0,00	0,12	0,10
36	0,02	0,02	0,28	0,67	70	0,00	0,00	0,10	0,10
37	0,02	0,01	0,28	0,67	71	0,00	0,00	0,10	0,09
38	0,02	0,01	0,28	0,67	72	0,00	0,00	0,10	0,09
39	0,01	0,01	0,28	0,67	73	0,00	0,00	0,08	0,08
40	0,01	0,01	0,28	0,67	74	0,00	0,00	0,05	0,06
41	0,01	0,00	0,28	0,67	75	0,00	0,00	0,05	0,05
42	0,01	0,00	0,28	0,67	76	0,00	0,00	0,05	0,05
43	0,00	0,00	0,28	0,61	77	0,00	0,00	0,05	0,04
44	0,00	0,00	0,28	0,61	78	0,00	0,00	0,02	0,04
45	0,00	0,00	0,28	0,61	79	0,00	0,00	0,02	0,03
46	0,00	0,00	0,28	0,54	80	0,00	0,00	0,02	0,03
47	0,00	0,00	0,26	0,53	81	0,00	0,00	0,02	0,06
48	0,00	0,00	0,26	0,53	82	0,00	0,00	0,02	0,02
49	0,00	0,00	0,26	0,43	83	0,00	0,00	0,02	0,02
50	0,00	0,00	0,22	0,41	84	0,00	0,00	0,02	0,02
51	0,00	0,00	0,22	0,41	85	0,00	0,00	0,02	0,02
52	0,00	0,00	0,19	0,30	86	0,00	0,00	0,02	0,02
53	0,00	0,00	0,19	0,26	87	0,00	0,00	0,02	0,02
54	0,00	0,00	0,19	0,26	88	0,00	0,00	0,02	0,02
55	0,00	0,00	0,19	0,26	89	0,00	0,00	0,02	0,02
56	0,00	0,00	0,19	0,23	90	0,00	0,00	0,01	0,01
57	0,00	0,00	0,19	0,23					

Tabela F.6 – Chuvas de 120 minutos de duração no pavimento recuperado

TEMPO (min)	SUPERFICIAL (L/min)		SUBSUPERFICIAL (L/min)		TEMPO (min)	SUPERFICIAL (L/min)		SUBSUPERFICIAL (L/min)	
	5 anos	15 anos	5 anos	15 anos		5 anos	15 anos	5 anos	15 anos
0	0,00	0,00	0,00	0,00	50	0,00	0,00	6,52	7,78
1	0,00	0,00	0,00	0,00	51	0,00	0,00	6,52	7,87
2	0,00	0,00	0,00	0,00	52	0,00	0,00	6,52	7,87
3	0,00	0,00	0,00	0,00	53	0,00	0,00	6,52	7,87
4	0,00	0,00	0,00	0,00	54	0,00	0,00	6,52	7,87
5	0,00	0,00	2,13	2,31	55	0,00	0,00	6,52	7,87
6	0,00	0,00	5,37	5,20	56	0,00	0,00	6,52	7,87
7	0,00	0,00	6,08	6,45	57	0,00	0,00	6,52	7,87
8	0,00	0,00	6,08	7,58	58	0,00	0,00	6,52	7,87
9	0,00	0,00	6,08	7,58	59	0,00	0,00	6,52	7,87
10	0,00	0,00	6,08	7,58	60	0,00	0,00	6,52	7,87
11	0,00	0,00	6,08	7,58	61	0,00	0,00	6,52	7,87
12	0,00	0,00	6,42	7,58	62	0,00	0,00	6,52	7,87
13	0,00	0,00	6,42	7,58	63	0,00	0,00	6,52	7,87
14	0,00	0,00	6,42	7,58	64	0,00	0,00	6,52	7,87
15	0,00	0,00	6,42	7,58	65	0,00	0,00	6,52	7,87
16	0,00	0,00	6,42	7,58	66	0,00	0,00	6,52	7,87
17	0,00	0,00	6,42	7,58	67	0,00	0,00	6,52	7,87
18	0,00	0,00	6,42	7,58	68	0,00	0,00	6,52	7,87
19	0,00	0,00	6,42	7,58	69	0,00	0,00	6,52	7,87
20	0,00	0,00	6,42	7,58	70	0,00	0,00	6,52	7,87
21	0,00	0,00	6,42	7,58	71	0,00	0,00	6,52	7,87
22	0,00	0,00	6,42	7,58	72	0,00	0,00	6,52	7,87
23	0,00	0,00	6,42	7,58	73	0,00	0,00	6,52	7,87
24	0,00	0,00	6,52	7,58	74	0,00	0,00	6,52	7,87
25	0,00	0,00	6,52	7,68	75	0,00	0,00	6,52	7,87
26	0,00	0,00	6,52	7,68	76	0,00	0,00	6,52	7,87
27	0,00	0,00	6,52	7,68	77	0,00	0,00	6,52	7,87
28	0,00	0,00	6,52	7,68	78	0,00	0,00	6,52	7,87
29	0,00	0,00	6,52	7,68	79	0,00	0,00	6,52	7,87
30	0,00	0,00	6,52	7,68	80	0,00	0,00	6,52	7,87
40	0,00	0,00	6,52	7,78	81	0,00	0,00	6,52	7,87
41	0,00	0,00	6,52	7,78	82	0,00	0,00	6,52	7,87
42	0,00	0,00	6,52	7,78	83	0,00	0,00	6,52	7,87
43	0,00	0,00	6,52	7,78	84	0,00	0,00	6,52	7,87
44	0,00	0,00	6,52	7,78	85	0,00	0,00	6,52	7,87
45	0,00	0,00	6,52	7,78	86	0,00	0,00	6,52	7,87
46	0,00	0,00	6,52	7,78	87	0,00	0,00	6,52	7,87
47	0,00	0,00	6,52	7,78	89	0,00	0,00	6,52	7,87
48	0,00	0,00	6,52	7,78	90	0,00	0,00	6,52	7,87
49	0,00	0,00	6,52	7,78	91	0,00	0,00	6,52	7,87

Tabela F.6 - Chuvas de 120 minutos de duração no pavimento recuperado (continuação –
2/3)

TEMPO (min)	SUPERFICIAL (L/min)		SUBSUPERFICIAL (L/min)		TEMPO (min)	SUPERFICIAL (L/min)		SUBSUPERFICIAL (L/min)	
	5 anos	15 anos	5 anos	15 anos		5 anos	15 anos	5 anos	15 anos
92	0,00	0,00	6,52	7,87	131	0,00	0,00	0,09	0,09
93	0,00	0,00	6,52	7,87	132	0,00	0,00	0,09	0,09
94	0,00	0,00	6,52	7,87	133	0,00	0,00	0,09	0,09
95	0,00	0,00	6,52	7,87	134	0,00	0,00	0,09	0,09
96	0,00	0,00	6,52	7,87	135	0,00	0,00	0,09	0,09
97	0,00	0,00	6,52	7,87	136	0,00	0,00	0,09	0,09
98	0,00	0,00	6,52	7,87	137	0,00	0,00	0,09	0,09
99	0,00	0,00	6,52	7,87	138	0,00	0,00	0,04	0,04
100	0,00	0,00	6,52	7,87	139	0,00	0,00	0,04	0,04
101	0,00	0,00	6,52	7,87	140	0,00	0,00	0,04	0,04
102	0,00	0,00	6,52	7,87	141	0,00	0,00	0,04	0,04
103	0,00	0,00	6,52	7,87	142	0,00	0,00	0,04	0,04
104	0,00	0,00	6,52	7,87	143	0,00	0,00	0,04	0,04
105	0,00	0,00	6,52	7,87	144	0,00	0,00	0,04	0,04
106	0,00	0,00	6,52	7,87	145	0,00	0,00	0,04	0,04
107	0,00	0,00	6,52	7,87	146	0,00	0,00	0,04	0,04
108	0,00	0,00	6,52	7,87	147	0,00	0,00	0,04	0,04
109	0,00	0,00	6,52	7,87	148	0,00	0,00	0,04	0,04
110	0,00	0,00	6,52	7,87	149	0,00	0,00	0,04	0,04
111	0,00	0,00	6,52	7,87	150	0,00	0,00	0,04	0,04
112	0,00	0,00	6,52	7,87	151	0,00	0,00	0,02	0,02
113	0,00	0,00	6,52	7,87	152	0,00	0,00	0,02	0,02
114	0,00	0,00	6,52	7,87	153	0,00	0,00	0,02	0,02
115	0,00	0,00	6,52	7,87	154	0,00	0,00	0,02	0,02
116	0,00	0,00	6,52	7,87	155	0,00	0,00	0,02	0,02
117	0,00	0,00	6,52	7,87	156	0,00	0,00	0,02	0,02
118	0,00	0,00	6,52	7,87	157	0,00	0,00	0,02	0,02
119	0,00	0,00	6,52	7,87	158	0,00	0,00	0,02	0,02
120	0,00	0,00	6,52	7,87	159	0,00	0,00	0,02	0,02
121	0,00	0,00	6,52	7,87	160	0,00	0,00	0,02	0,02
122	0,00	0,00	6,52	7,87	161	0,00	0,00	0,02	0,02
123	0,00	0,00	4,18	5,75	162	0,00	0,00	0,02	0,02
124	0,00	0,00	2,31	3,64	163	0,00	0,00	0,02	0,02
125	0,00	0,00	1,07	1,62	164	0,00	0,00	0,02	0,02
126	0,00	0,00	0,48	0,48	165	0,00	0,00	0,02	0,02
127	0,00	0,00	0,15	0,09	166	0,00	0,00	0,02	0,02
128	0,00	0,00	0,09	0,09	167	0,00	0,00	0,02	0,02
129	0,00	0,00	0,09	0,09	168	0,00	0,00	0,02	0,02
130	0,00	0,00	0,09	0,09	169	0,00	0,00	0,02	0,02

Tabela F.6 - Chuvas de 120 minutos de duração no pavimento recuperado (continuação – 3/3)

TEMPO (min)	SUPERFICIAL (L/min)		SUBSUPERFICIAL (L/min)		TEMPO (min)	SUPERFICIAL (L/min)		SUBSUPERFICIAL (L/min)	
	5 anos	15 anos	5 anos	15 anos		5 anos	15 anos	5 anos	15 anos
170	0,00	0,00	0,02	0,02	176	0,00	0,00	0,01	0,02
171	0,00	0,00	0,02	0,02	177	0,00	0,00	0,01	0,01
172	0,00	0,00	0,02	0,02	178	0,00	0,00	0,01	0,01
173	0,00	0,00	0,02	0,02	179	0,00	0,00	0,01	0,01
174	0,00	0,00	0,02	0,02	180	0,00	0,00	0,01	0,01
175	0,00	0,00	0,01	0,02					

Tabela F.7 – Chuvas de 15 minutos de duração no pavimento recuperado das vagas 1, 2 e 3

Tempo (min)	VAGA 1 (L/min)		VAGA 2 (L/min)		VAGA 3 (L/min)	
	Superficial	Subsuperficial	Superficial	Subsuperficial	Superficial	Subsuperficial
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	7,48	0,00	0,48	0,00	0,09	0,00
3	10,45	0,00	15,52	0,00	7,50	0,00
4	11,57	0,00	15,52	0,00	7,50	0,00
5	11,57	2,40	15,52	0,00	7,50	0,40
6	14,03	8,36	15,52	2,31	7,50	2,71
7	14,04	11,66	15,52	4,75	7,50	7,14
8	14,04	13,03	15,52	6,74	7,50	12,43
9	14,04	15,18	15,52	12,03	7,50	17,02
10	14,04	15,36	15,52	13,87	7,50	21,90
11	14,04	15,36	15,52	13,87	7,50	21,90
12	14,04	15,36	15,52	13,87	7,50	21,90
13	14,04	15,36	15,52	13,87	7,50	21,90
14	14,04	15,36	15,52	13,87	7,50	21,90
15	14,04	15,36	15,52	13,87	7,50	21,90
16	3,79	15,36	15,52	13,09	7,50	21,90
17	0,90	15,36	8,75	8,30	1,95	21,90
18	0,33	15,36	1,33	5,37	0,65	21,90
19	0,21	11,57	0,65	2,72	0,34	13,49
20	0,21	6,74	0,34	2,72	0,23	8,70
21	0,21	5,37	0,23	2,31	0,15	5,77
22	0,12	2,72	0,15	2,31	0,15	3,12
23	0,12	2,72	0,15	1,95	0,15	3,12
24	0,12	2,31	0,09	1,62	0,09	2,71
25	0,12	2,41	0,09	1,17	0,09	2,51
26	0,12	2,31	0,09	0,84	0,09	2,31
27	0,06	1,62	0,09	0,84	0,09	1,62

Tabela F.7 - - Chuvas de 15 minutos de duração no pavimento recuperado das vagas 1, 2 e 3 (continuação - 2/3)

Tempo (min)	VAGA 1 (L/min)		VAGA 2 (L/min)		VAGA 3 (L/min)	
	Superficial	Subsuperficial	Superficial	Subsuperficial	Superficial	Subsuperficial
28	0,06	1,07	0,09	0,84	0,09	1,07
29	0,06	0,84	0,04	0,84	0,04	0,84
30	0,06	0,35	0,04	0,84	0,04	0,84
31	0,06	0,33	0,04	0,84	0,04	0,84
32	0,06	0,33	0,04	0,84	0,04	0,84
33	0,02	0,33	0,04	0,84	0,04	0,84
34	0,02	0,33	0,04	0,84	0,04	0,84
35	0,02	0,33	0,02	0,84	0,02	0,84
36	0,02	0,33	0,02	0,84	0,02	0,84
37	0,01	0,33	0,02	0,84	0,02	0,84
38	0,01	0,33	0,02	0,84	0,02	0,84
39	0,01	0,33	0,02	0,84	0,02	0,84
40	0,01	0,33	0,00	0,84	0,00	0,84
41	0,00	0,33	0,00	0,84	0,00	0,84
42	0,00	0,33	0,00	0,84	0,00	0,84
43	0,00	0,33	0,00	0,65	0,00	0,84
44	0,00	0,33	0,00	0,65	0,00	0,84
45	0,00	0,33	0,00	0,65	0,00	0,84
46	0,00	0,33	0,00	0,65	0,00	0,65
47	0,00	0,29	0,00	0,65	0,00	0,65
48	0,00	0,29	0,00	0,65	0,00	0,65
49	0,00	0,29	0,00	0,34	0,00	0,65
50	0,00	0,25	0,00	0,34	0,00	0,65
51	0,00	0,25	0,00	0,34	0,00	0,65
52	0,00	0,21	0,00	0,34	0,00	0,34
53	0,00	0,21	0,00	0,23	0,00	0,34
54	0,00	0,21	0,00	0,23	0,00	0,34
55	0,00	0,21	0,00	0,23	0,00	0,34
56	0,00	0,21	0,00	0,23	0,00	0,23
57	0,00	0,21	0,00	0,23	0,00	0,23
58	0,00	0,15	0,00	0,18	0,00	0,21
59	0,00	0,15	0,00	0,18	0,00	0,21
60	0,00	0,15	0,00	0,16	0,00	0,20
61	0,00	0,16	0,00	0,16	0,00	0,19
62	0,00	0,15	0,00	0,16	0,00	0,19
63	0,00	0,14	0,00	0,14	0,00	0,17

Tabela F.7 - – Chuvas de 15 minutos de duração no pavimento recuperado das vagas 1, 2 e

3 (continuação – 3/3)

Tempo (min)	VAGA 1 (L/min)		VAGA 2 (L/min)		VAGA 3 (L/min)	
	Superficial	Subsuperficial	Superficial	Subsuperficial	Superficial	Subsuperficial
64	0,00	0,14	0,00	0,14	0,00	0,15
65	0,00	0,14	0,00	0,14	0,00	0,15
66	0,00	0,14	0,00	0,14	0,00	0,15
67	0,00	0,14	0,00	0,14	0,00	0,13
68	0,00	0,14	0,00	0,14	0,00	0,13
69	0,00	0,08	0,00	0,12	0,00	0,11
70	0,00	0,08	0,00	0,10	0,00	0,11
71	0,00	0,08	0,00	0,10	0,00	0,09
72	0,00	0,08	0,00	0,10	0,00	0,09
73	0,00	0,08	0,00	0,08	0,00	0,09
74	0,00	0,02	0,00	0,06	0,00	0,09
75	0,00	0,02	0,00	0,06	0,00	0,07
76	0,00	0,02	0,00	0,05	0,00	0,07
77	0,00	0,02	0,00	0,05	0,00	0,05
78	0,00	0,02	0,00	0,05	0,00	0,05
79	0,00	0,02	0,00	0,03	0,00	0,04
80	0,00	0,02	0,00	0,03	0,00	0,04
81	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	0,15
82	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	0,02
83	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	0,02
84	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	0,02
85	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	0,02
86	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	0,02
87	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	0,02
88	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	0,02
89	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	0,02
90	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,02