

SUMÁRIO

I. INTRODUÇÃO	01
I.1. Considerações gerais	01
I.2. Planos Diretores de Drenagem e o Desenvolvimento Urbano Sustentável	03
I.3. Fundamentos do Plano Diretor de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais de Natal	05
II. SISTEMA DE DRENAGEM DE NATAL	06
II.1. Área de estudo	06
II.2. Considerações gerais	07
II.3. Bacias de Drenagem	08
II.4. Caracterização morfológica das bacias hidrográficas das Zonas Leste, Oeste e Sul do município de Natal/RN	13
III. BASES CONCEITUAIS EM DRENAGEM URBANA	44
III.1. SISTEMAS DE DRENAGEM: MICRO E MACRODRENAGEM	44
III.2. ELEMENTOS DE PROJETO	45
III.3. RISCOS E INCERTEZAS	50
IV. PRECIPITAÇÕES E DEFLÚVIOS SUPERFICIAIS	52
IV.1. Chuvas intensas	52
IV.2. Hietogramas de Chuvas Máximas	56
IV.3. Chuvas Intensas em Natal	57
IV.4. Hidrogramas de Cheia	70
IV.4.1. Sistema de Microdrenagem	70
IV.4.2. Sistema de Macrodrenagem	76
IV.5. As Sub-bacias de Drenagem de Natal	79
IV.6. Hidrogramas de cheias simuladas para Natal	82
IV.7. Características hidrológicas nos exutórios das sub-bacias de Natal	92

V. INFILTRAÇÃO DA ÁGUA DE DRENAGEM PLUVIAL NO SOLO	96
V.1. Considerações iniciais	96
V.2. Capacidade de infiltração	96
V.3. Ensaios de infiltração em Natal	97
V.4. Taxas de infiltração na Zona Norte	98
V.5. Permeabilidade da área de recarga efetiva do aquífero de Natal	98
V.6. Capacidade de infiltração superficial de referência nas bacias de drenagem de Natal	103
V.7. Avaliação dos impactos da recarga do aquífero induzida pelo sistema de drenagem da cidade de Natal	105
V.8. Reservatórios de retenção e infiltração	108
VI. MEDIDAS ESTRUTURAIS (MICRODRENAGEM)	114
VI.1. Considerações gerais	114
VI.2. Elementos estruturais hidráulicos	115
VII. MEDIDAS ESTRUTURAIS (MACRODRENAGEM)	152
VII.1. Introdução	152
VII.2. Infraestrutura de Macro Drenagem de Natal	153
VII.3. Infraestrutura de Macro Drenagem Proposta	161
VIII. MEDIDAS COMPENSATÓRIAS E NÃO ESTRUTURAIS	162
VIII.1. INTRODUÇÃO	162
VIII.1.1.Contexto	162
VIII.1.2.Controle de inundações	163
VIII.1.3.Princípios de controle	163
VIII.1.4.Classificação das medidas não estruturais	164
VIII.2. MEDIDAS NÃO ESTRUTURAIS DE GESTÃO DO SISTEMA DE DRENAGEM	166
VIII.3. MEDIDAS NÃO ESTRUTURAIS DE CONTROLE DO ESCOAMENTO NA FONTE	168
VIII.3.1. Dispositivos de infiltração	169

VIII.3.2. Caracterização dos dispositivos de infiltração	170
VIII.3.2.1. Planos e valos de infiltração	170
VIII.3.2.2. Pavimento permeável	171
VIII.3.2.3. Micro-reservatórios superficiais	174
VIII.3.3. Dimensionamento do dispositivo extravasor	195
VIII.3.4. Coeficiente de fragilidade da sub-bacia	196
VIII.4. ROTEIRO DE CÁLCULO DE RESERVATÓRIOS DE DETENÇÃO E INFILTRAÇÃO EM BACIAS FECHADAS E ABERTAS	203
VIII.4.1. Pré-dimensionamento	203
VIII.4.2. Balanço hidrológico de 30 dias para o poço de infiltração	203
VIII.5. ÁREAS QUE PODEM SER NECESSÁRIAS AO SISTEMA DE DRENAGEM DE NATAL SUJEITOS AO DIREITO DE PREEMPÇÃO	206
VIII. 6. RECOMENDAÇÕES	211
IX.SANEAMENTO E DRENAGEM	213
IX.1. Caracterização Geral da Área de Interesse do Plano	213
IX.2. Sistemas Existentes de Abastecimento de Água e de Esgotamento Sanitário	213
X. LEGISLAÇÃO E ASPECTOS JURÍDICOS	234
XI. CONCLUSÕES	248
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	249

LISTA DE FIGURAS

Figura II.1 – Setores e Zonas de Natal	07
Figura II.2 – Bacias de Drenagem de Natal	10
Figura II.3 – Bacia de Drenagem da Zona Norte de Natal	11
Figura II.4 – Bacias de Drenagem das Zonas Leste, Oeste e Sul	12
Figura II.5 – Sub Bacias da Zona Norte de Natal	14
Figura II.6 – Bairros da Zona Norte de Natal	15
Figura II.7 – Delimitação das Sub Bacias da Bacia VII	18
Figura II.8 – Vista Aérea da Zona Leste, com Bairro da Ribeira em Primeiro Plano	19
Figura II.9 – Delimitação da Bacia VIII	21
Figura II.10 – Mapa com Delimitação da Bacia IX	22
Figura II.11 – Canal do Baldo	23
Figura II.12 – Delimitação da Bacia X	25
Figura II.13 – Delimitação da Bacia XI	26
Figura II.14 – Vista Aérea de Natal, Destacando o Parque das Dunas	27
Figura II.15 – Delimitação da Bacia XII	29
Figura II.16 – Delimitação da Bacia XIII	31
Figura II.17 – Vista Aérea da Via Costeira	32
Figura II.18 – Mapa com Delimitação da Bacia XIV	33
Figura II.19 – Delimitação da Bacia XV	34
Figura II.20 – Mapa com Delimitação da Bacia XVI	36
Figura II.21 – Delimitação da Bacia XVII	38
Figura II.22 - Delimitação da Bacia XVIII	40
Figura II.23 - Delimitação da Bacia XIX	41
Figura II.24- Delimitação da Bacia XX	43

Figura III.1- Alinhamento dos Condutos Pluviais	48
Figura III.2- Rede Coletora no Eixo da Via pública	49
Figura IV.1 -Localização das Estações Pluviométricas na Região Metropolitana de Natal	54
Figura IV.2-Pluviógrafo Analógico de Bóia	55
Figura IV.3-Pluviógrafo Digital de Cubas Basculantes	56
Figura IV.4-Hietograma de Máxima para T = 2 anos	61
Figura IV.5-Precipitações Acumuladas ou Total Precipitado para T = 2 anos	61
Figura IV.6-Hietograma de Máxima para T = 10 anos	62
Figura IV.7 – Precipitações acumuladas ou total precipitado para T- 10 anos, P (mm)	62
Figura IV.8- Hietograma de máximos para T= 25 anos	63
Figura IV.9- Precipitações acumuladas ou total precipitado para T- 25 anos, P (mm)	63
Figura IV.10 - Hietograma de máximos horários para T= 2 anos	64
Figura IV.11 - Precipitações acumuladas ou total precipitado para T= 2 anos, P (mm)	64
Figura IV.12 - Hietograma de máximos horários para T= 10 anos)	65
Figura IV.13 - Precipitações acumuladas ou total precipitado para T= 10 anos,P (mm)	65
Figura VI.14 - Hietograma de máximos horários para T= 25 anos	66
Figura IV.15 - Precipitações acumuladas ou total precipitado para T= 25 anos, P (mm).....	66
Figura IV.16 - Hietograma de máximos diários para T= 2 anos	67
Figura IV.17 - Precipitações acumuladas ou total precipitado para T- 2 anos, P (mm)	67
Figura IV.18 - Hietograma de máximos diários para T= 10 anos	68
Figura IV.19 - Precipitações acumuladas ou total precipitado para T- 10 anos, P (mm)	68
Figura IV.20 - Hietograma de máximos diários para T= 25 anos	69
Figura IV.21 - Precipitações acumuladas ou total precipitado para T- 25 anos, P(mm)	69

Figura IV.22 – Divisão das Sub-bacias em cada Bacia de Drenagem da Z. Norte de Natal	80
Figura IV.23 – Divisão das Sub-bacias das Bacias de Drenagem da Z. Sul, Leste e Oeste de Natal	81
Figura IV.24 – Hietograma de projeto para T=25 anos, duração da chuva de 120 min e instante de ocorrência da intensidade de chuva máxima de 60 min	82
Figura IV.25 – Isócronas da sub-bacia I-5	85
Figura IV.26 – Isócronas da sub-bacia II-5	86
Figura IV.27 – Isócronas da sub-bacia VII-2	88
Figura IV.28 – Isócronas da sub-bacia XII-5	89
Figura IV.29 – Hidrograma efluente da sub-bacia I-5	90
Figura IV.30 – Hidrograma efluente da sub-bacia II-5	90
Figura IV.31 – Hidrograma efluente da sub-bacia VII-2	91
Figura IV.32 – Hidrograma efluente da sub-bacia XII-5	91
Figura V.1 – Capacidade de infiltração do solo a 2 m de profundidade da área de recarga do aquífero de Natal	100
Figura V.2 – Capacidade de infiltração do solo a 4 m de profundidade da área de recarga do aquífero de Natal	101
Figura V.3 – Capacidade de infiltração do solo a 6 m de profundidade da área de recarga do aquífero de Natal	102
Figura V.4 – Esquema de avanço da frente de molhamento no perfil de solo	109
Figura V.5 – Esquema de recarga com poços de infiltração	112
Figura V.6 – Composição dos fluxos de saída de um reservatório de infiltração por unidade de comprimento	113
Figura VI.1 – Esquema de recarga com poços de infiltração	115
Figura VI.2- Tipos de bocas-de-lobo (DAEE/CETESB, 1980)	118
Figura VI.3. Nomograma de cálculo da capacidade de captação de boca-de-lobo em ponto baixo da sarjeta, com depressão de 5 cm	121
Figura VI.4 Detalhe e dimensões de ligação das bocas de lobo com poço de visita	125
Figura VI.5 Detalhes e dimensões de poço de visita	127

Figura VI.6 Detalhe de galerias de seção retangular	128
Figura VI.7 Detalhe e dimensões de um corta água.Sarjeta	132
Figura VI.8 -Esquema básico da composição sarjeta via pública	134
Figura VI.9 - Seção composta do conjunto sarjeta-via usada no cálculo da descarga teórica admissível	135
Figura VI.10 - Fator de redução da capacidade teórica admissível na sarjeta Meio Fio	136
Figura VI.11 Detalhes de meio-fios de concreto	137
Figura VI.12 Perspectiva de dissipador de energia	138
Figura VI.13 Corte de um dissipador de energia	138
Figura VI.14 Detalhe do talude de uma lagoa e respectivo revestimento e a canaleta de chegada das águas pluviais na lagoa	139
Figura VI.15 Detalhe da placa de concreto poroso de revestimento para lagoa de infiltração	140
Figura VI.16 Detalhe do dreno profundo no fundo da lagoa	142
Figura VI.17 Planta baixa de uma estação elevatória	146
Figura VI.18 Corte de Estação elevatória	147
Figura VI.19 Detalhe de bueiro de uma única canalização	149
Figura VI.20 Detalhe de bueiro de duas canalizações, podendo ter número superior de canalizações	149
Figura VI.21 Detalhes de uma caixa para ventosa	151
Figura VI.22 Detalhes de uma caixa para descarga	151
Figura VIII.1 - Pavimento permeável	172
Figura VIII.2 – Tipos de materiais de uso e ocupação do solo urbano	173
Figura VIII.3 – Poços de infiltração com estacas e drenos profundos	176
Figura VIII.4 – Detalhe do poço de infiltração padrão	177
Figura VIII.5 – Poço de infiltração retangular com estaca e dreno profundo	178
Figura VIII.6 – Detalhe de dreno vertical	179

Figura VIII.7 – Detalhe de dreno vertical com tubo poroso	180
Figura VIII.8 – Seção transversal de trincheira de infiltração típica	181
Figura VIII.9 - Detalhe de vala de infiltração com tampa e dreno no fundo a cada 3 m	182
Figura VIII.10 -.Detalhe de vala de infiltração revestido de terra vegetal e dreno no fundo a cada 3 m	182
Figura VIII.11 – Detalhe de ligação entre valas	183
Figura VIII.12 – Detalhe de reservatório de retenção e infiltração com dreno	184
Figura VIII.13 (A) – Coeficiente de contribuição do lote por poço de infiltração	187
Figura VIII.13 (B) – Coeficiente de contribuição do lote por poço de infiltração	188
Figura VIII.13 (C) – Coeficiente de contribuição do lote por poço de infiltração	189
Figura VIII.14 – Micro-reservatório de retenção – croqui da estrutura	191
Figura VIII.15(A) – Carga hidráulica em tubos extravasores de 50 mm	193
Figura VIII.15(B) – Carga hidráulica em tubos extravasores de 75 mm	194
Figura VIII.15(C) – Carga hidráulica em tubos extravasores de 100 mm	195
Figura VIII 16 – Tubo extravasor de reservatório de retenção	196
Figura VIII.17 – Vazão do tubo extravasor	205
Figura VIII.18 – Poço de infiltração circular padrão D=2,00 m e H=2,50 m	205
Figura VIII.19 – Poço de infiltração circular padrão D=2,50 m e H=2,50 m	205
Figura VIII.20 – Poço de infiltração circular padrão D=3,00 m e H=2,50 m	206
Figura IX.1 – Gari realizando limpeza do Canal das Lavadeiras	226
Figura IX.2 – Equipamento de limpeza a sucção e alto vácuo	228
Figura IX.3 – Limpeza de tubulação acima de 800 mm	228

LISTA DE TABELAS

Tabela III.1 Períodos de retorno recomendados para obra de Drenagem	51
Tabela IV.1 Pontos pluviométricos da grande Natal	53
Tabela IV.2 Valores de α	57
Tabela IV.3 Valores de β	57
Tabela IV.4 - Valores do Coeficiente de Deflúvio para diferentes tipos de superfícies	72
Tabela IV.5. Valores do Coeficiente de Deflúvio para diferentes tipos de ocupação e uso do solo	72
Tabela IV.6 – Valores de k	74
Tabela IV.7 – Coeficientes de deflúvio em função da ocupação do solo	74
Tabela IV.8 – Coeficientes de deflúvio das áreas de influência da sub-bacia I-5 ...	83
Tabela IV.9 – Coeficientes de deflúvio das áreas de influência da sub-bacia II-5 ..	84
Tabela IV.10 – Coeficientes de deflúvio das áreas de influência da sub-bacia VII-2	87
Tabela IV.11 – Coeficientes de deflúvio das áreas de influência da sub-bacia XII-5	87
Tabela IV.12 – Características hidrológicas das sub-bacias da Zona Norte de Natal	93
Tabela IV.13 – Características hidrológicas das sub-bacias das Zonas Sul, Leste e Oeste de Natal	94
Tabela V.1 - Parâmetros da equação de HORTON	97
Tabela V.2 - Resultados dos ensaios de condutividade hidráulica (K) para a Zona Norte	98
Tabela V.3 - Ensaios de permeabilidade na área de recarga do aquífero de Natal - Zona Sul	99
Tabela V.4 - Taxas de infiltração de referência das bacias de Natal.....	104
Tabela V.5 - Bacias de drenagem da Zona Norte de Natal	105
Tabela V.6 – Bacias de drenagem das zonas Leste/Oeste/Sul.de Natal	106
Tabela V.7 – Balanço hídrico das bacias fechadas urbanizadas de Natal	107

Tabela V.8 - Valores do Coeficiente de Deflúvio para diferentes tipos de superfície	110
Tabela VI.1 - Fatores de Redução recomendados em função do tipo e localização	122
Tabela VI.2 - Coeficiente de Manning em função do material de revestimento interno dos condutos	124
Tabela VI.3 - Valores recomendados do coeficiente de Manning para diferentes superfícies	135
Tabela VII.1 – Bacias de Drenagem de Natal	154
Tabela VIII.1 – Porosidade efetiva de alguns materiais porosos	185
Tabela VIII.2 – Capacidade de infiltração de alguns tipos de solo	186
Tabela VIII.3 – Características dos tubos extravasores	190
Tabela VIII.4 – Coeficientes de fragilidade das sub-bacias k	198
Tabela VIII.5 – Coeficientes de fragilidade k para cada sub-bacia	199
Tabela VIII.6 – Áreas a serem submetidas aos instrumentos do Plano Diretor de Natal – Zona Norte	208
Tabela VIII.7 – Áreas a serem submetidas aos instrumentos do Plano Diretor de Natal – Zona Oeste	209
Tabela VIII.8 – Áreas a serem submetidas aos instrumentos do Plano Diretor de Natal – Zona Leste	209
Tabela VIII.9 – Áreas a serem submetidas aos instrumentos do Plano Diretor de Natal – Zona Sul	210
Tabela IX.1 – Lagoas visitadas e problemas diagnosticados	229

LISTA DE QUADROS

Quadro II.1 - Bacias de drenagem da zona Norte de Natal	9
Quadro II.2 - Bacias de drenagem das zonas Leste, Oeste, Sul de Natal	9
Quadro II.3 - Área de drenagem de Natal	9
Quadro VII.1 - Lagoas da Zona Norte	157
Quadro VII.2 - Lagoas da Zona Leste	158
Quadro VII.3 - Lagoas da Zona Oeste	158
Quadro VII.4 - Lagoas da Zona Sul	159
Quadro VIII.1 – Bacias de Drenagem da Zona Norte de Natal	197
Quadro VIII.2 – Bacias de Drenagem das Zonas Leste/Oeste/Sul de Natal	197