



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

JUSCELINO ALVES HENRIQUES

DISTRIBUIÇÃO DA CONTAMINAÇÃO FECAL EM ÁGUAS DE DRENAGEM
AFLUENTES DO CANAL DO PRADO, CAMPINA GRANDE-PB

Campina Grande - PB
Dezembro/2014

JUSCELINO ALVES HENRIQUES

DISTRIBUIÇÃO DA CONTAMINAÇÃO FECAL EM ÁGUAS DE DRENAGEM
AFLUENTES DO CANAL DO PRADO, CAMPINA GRANDE-PB

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Civil e Ambiental da Universidade Federal de
Campina Grande – UFCG, em cumprimento às
exigências para obtenção do Título de Mestre.

Área de concentração: Engenharia de Recursos Hídricos e Sanitária

Orientadores: Prof. Dr. Rui de Oliveira e Profa. Dra. Mônica de Amorim Coura

Campina Grande - PB
Dezembro/2014

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

- H519d Henriques, Juscelino Alves.
Distribuição da contaminação fecal em águas de drenagem afluentes do canal do Prado, Campina Grande-PB / Juscelino Alves Henriques. – Campina Grande, 2014.
85 f. : il. color.
- Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2014.
- "Orientação: Prof. Dr. Rui de Oliveira, Prof.^a Dr.^a Mônica de Amorim Coura".
- Referências.
1. Gestão de Águas Urbanas. 2. Sistema de Drenagem Urbana. 3. Qualidade de Águas de Drenagem Urbana. 4. Contaminação Fecal de Águas de Drenagem. I. Oliveira, Rui de. II. Coura, Mônica de Amorim. III. Título.

CDU 556.18(813.3)(043)

DISTRIBUIÇÃO DA CONTAMINAÇÃO FECAL EM ÁGUAS DE DRENAGEM
AFLUENTES DO CANAL DO PRADO, CAMPINA GRANDE-PB

DISSERTAÇÃO APROVADA EM: 10 / 12 / 2014

BANCA EXAMINADORA



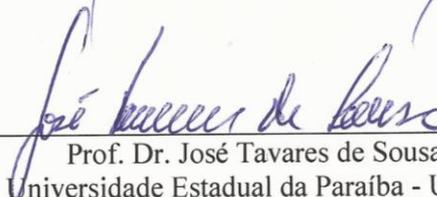
Prof. Dr. Rui de Oliveira
Universidade Estadual da Paraíba - UEPB
Orientador



Profa. Dra. Mônica de Amorim Coura
Universidade Federal de Campina Grande - UFCG
Coorientadora



Prof. Dr. Cícero Onofre de Andrade Neto
Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN
Examinador externo



Prof. Dr. José Tavares de Sousa
Universidade Estadual da Paraíba - UEPB
Examinador externo

Campina Grande - PB
Dezembro/2014

AGRADECIMENTOS

A Deus, pessoa que me sustenta e sempre proporciona o melhor para minha vida, Pai de valor inestimável.

Aos meus pais Maria Lúcia Alves Henriques e José de Araújo Henriques, por todo esforço, carinho, apoio e dedicação, sempre fazendo o melhor para minha vida.

Às minhas irmãs, Elizabete (Betinha), Elidiane (Lí) e Jucimery (Jú), bem como aos meus sobrinhos e cunhados, por todo apoio, dedicação e força.

À minha namorada Rosália, por toda dedicação, força e paciência nos dias difíceis.

A todos os irmãos da Paróquia Nossa Senhora da Conceição de Ingá-PB, especialmente aos que fazem a Renovação Carismática Católica, pela fraternidade, apoio, confiança e oração.

A todos os amigos do PPGECA, especialmente Clarissa, Wilza, Andretti, Cícero, Eweson e Vinícius, pelo companheirismo nas horas amargas e pelas alegrias marcantes.

Aos meus amigos da Empatech, Emanuel, Cayo, Ogata, Thassio e Cassio, pela amizade e confiança.

Ao mestre e amigo Rui de Oliveira, por toda confiança, ensinamentos, conselhos e orientações ao longo da minha vida acadêmica.

À orientadora Mônica de Amorim Coura, por toda amizade, confiança, ensinamentos e orientações, principalmente ao longo desses 2 anos de mestrado.

Aos professores Cícero Onofre de Andrade Neto e José Tavares de Sousa, pelas valiosas contribuições como examinadores externos.

Às professoras Celeide, Andrea e Patrícia, por todo o apoio e auxílio na realização desta dissertação.

Aos amigos/funcionários da Área de Saneamento, Tiquinho, Val, Cris, Savana e Toinho, por todo o apoio nas atividades realizadas, por fazerem os dias no Laboratório de Saneamento serem mais felizes.

Ao pessoal de Hidráulica, especialmente as professoras Dayse e Márcia, e ao Técnico Aroldo, por todo o apoio nas coletas das amostras ao longo de todo o trabalho.

Às professoras Annemarie, Beatriz e Mabel Calina, pelas sugestões indispensáveis para a realização deste trabalho.

A todos os professores que fazem o PPGECA, pelos ensinamentos e aconselhamentos.

Ao CNPq, pela bolsa de estudos.

Enfim, a todos que contribuíram para o êxito deste trabalho.

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi investigar as contribuições de contaminação fecal dos canais de drenagem afluentes do Canal do Prado, que faz parte do sistema de macrodrenagem pluvial urbana da Bacia do Prado, cidade de Campina Grande – PB, Nordeste do Brasil. Para a realização deste trabalho foram escolhidos sete pontos de amostragem, sendo dois deles os pontos extremos (P1-montante e P7-jusante) do Canal do Prado e os outros definidos nos trechos finais dos principais canais afluentes, imediatamente antes do lançamento no canal objeto do estudo. Foram determinados indicadores: físico-químicos – temperatura, pH, sólidos suspensos totais, sólidos suspensos voláteis, sólidos suspensos fixos, sólidos sedimentáveis, oxigênio dissolvido, demanda química de oxigênio, demanda bioquímica de oxigênio; microbiológicos – coliformes termotolerantes e *Escherichia coli*; e ovos de helmintos, como indicadores parasitológicos. Os valores médios de DBO e DQO, na maioria dos pontos, foram acima de 140 mg.L^{-1} e 400 mg.L^{-1} , respectivamente. Os resultados para CTT indicaram que as águas transportadas pelo Canal do Prado estavam predominantemente constituídas por águas residuárias. As concentrações de ovos de helmintos ($0\text{-}124 \text{ ovos.L}^{-1}$) se enquadraram na região de menor concentração da faixa de valores típicos ($10\text{-}1000 \text{ ovos.L}^{-1}$) para esgoto sanitário. De acordo com os indicadores analisados, as águas drenadas pela Bacia Urbana do Prado apresentam características típicas de esgoto sanitário classificado como médio.

Palavras-chave: Gestão de águas urbanas, Sistema de drenagem urbana, Qualidade de águas de drenagem urbana, Contaminação fecal de águas de drenagem.

ABSTRACT

This study aimed the investigation of fecal contamination contributions of influent drainage channels to Canal do Prado, which is part of urban rainwater macrodrainage system of the Prado Basin, Campina Grande City, Paraíba state, Northeast Brazil. Seven sampling points were chosen, two extreme ones (P1-upstream and P7-downstream) of the Canal do Prado and the others set in the final stretches of the main influent channels, immediately prior to discharging into the Canal do Prado. The physicochemical indicators – temperature, pH, total suspended solids, volatile suspended solids, fixed suspended solids, settleable solids, dissolved oxygen, chemical oxygen demand, biochemical oxygen demand; the microbiological indicators – thermotolerant coliform and *Escherichia coli*; and helminth eggs as parasitological indicators; were determined. The average values of BOD and COD, in most points were above 140 mg.L⁻¹ and 400 mg.L⁻¹, respectively. Results for thermotolerant coliform indicated that waters carried by Canal do Prado were predominantly wastewater. Helminth eggs concentrations (0-124 eggs.L⁻¹) were within the region of lower concentration of the typical range (10-1000 eggs.L⁻¹) for sewage. According the analyzed indicators, waters drained by the urban Prado Basin, showed characteristics typical of sewage classified as medium.

Keywords: Urban water management, Urban drainage system, Urban drainage water quality, Fecal contamination of drainage water.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Proporção da população mundial com acesso a melhorias de saneamento básico..	20
Figura 2 - Evolução do saneamento básico no Brasil.....	22
Figura 3 - Área de influência do escoamento em canais naturais	28
Figura 4 - Localização de Campina Grande na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba	38
Figura 5 - Sistema de drenagem da cidade de Campina Grande	40
Figura 6 - Bacia Urbana do Prado e suas sub-bacias.....	41
Figura 7 - Pontos de amostragem	43
Figura 8 - Coleta de amostra utilizando balde e corda	44
Figura 9 - Colônias de Coliformes Termotolerantes após período de incubação.....	46
Figura 10 - Resíduos sólidos (esquerda) e RCD (direita) no leito do Canal do Prado	51
Figura 11 - Formação de bancos de areia no leito do Canal do Prado	52
Figura 12 - Aterro lançado nas proximidades do canal e a vegetação invasora do seu leito ...	52
Figura 13 - Valores de temperatura nos pontos amostrados próximo às 9 horas	53
Figura 14 - Distribuição temporal do pH nos afluentes em estudo	54
Figura 15 - Oxigênio dissolvido nos pontos amostrados.....	54
Figura 16 - Concentração da BDO afluente ao Canal do Prado	55
Figura 17 - Concentração de DQO nos contribuintes do Canal do Prado.....	55
Figura 18 - Relação DQO/DBO para os afluentes em estudo	56
Figura 19 - Distribuição de sólidos sedimentáveis nos pontos de amostragem	56
Figura 20 - Distribuição de sólidos suspensos totais nas contribuições avaliadas	57
Figura 21 - Valores de sólidos suspensos voláteis nos pontos de amostragem.....	57
Figura 22 - Concentração de sólidos suspensos fixos nas contribuições avaliadas.....	57
Figura 23 - Distribuição temporal de coliformes termotolerantes nos pontos monitorados	58
Figura 24 - Comparação gráfica (Método GT-2) para os indicadores físico-químicos e microbiológicos selecionados para análise de variância (ANOVA) de um fator.....	62
Figura 25 - Matriz de correlação de Pearson e diagrama de dispersão para o ponto P3	63
Figura 26 - Coeficientes de correlação de Pearson entre variáveis selecionadas no Ponto P4 e respectivos diagramas de dispersão (scatterplots)	64
Figura 27 - Coeficientes de correlação de Pearson entre as variáveis analisadas no ponto P5 e os respectivos diagramas de dispersão (scatterplots)	65
Figura 28 - Distribuição de ovos de helmintos entre os pontos P1 e P4	69

Figura 29 - Distribuição de helmintos nos pontos P5 e P7.....	70
Figura 30 - Fotografias registradas durante as análises dos helmintos estudados	71
Figura 31 - Distribuição populacional (hab.) na Bacia Urbana do Prado	72

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro 1 - Divisão da gestão das águas por bacia	29
Quadro 2 - Classificação dos helmintos de maior importância sanitária	35
Quadro 3 - Parâmetros físico-químicos utilizados, metodologias de análises e referência.....	45
Tabela 1 - Distribuição temporal da frequência de <i>E. coli</i> a partir das colônias de CTT.....	59
Tabela 2 - Parâmetros descritivos dos indicadores físico-químicos e microbiológicos monitorados	61
Tabela 3 - Distribuição da frequência dos ovos de helmintos nos pontos monitorados.....	66
Tabela 4 - Distribuição da frequência absoluta de ovos de helmintos por faixas	68
Tabela 5 - Valores máximos para DBO e DQO em água de drenagem no mundo e no Brasil	74

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
a.C.	Antes de Cristo
AESA	Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba
ANOVA	Análise de variância
APHA	American Public Health Association
AWWA	American Water Works Association
CAGEPA	Companhia de Água e Esgotos da Paraíba
DNOCS	Departamento Nacional de Obras Contra as Secas
ETE	Estação de tratamento de esgoto
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IOCS	Inspetoria de Obras Contra as Secas
OMS	Organização Mundial da Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
P.A.	Para análise
PAC	Programa de Aceleração do Crescimento
PLANASA	Plano Nacional de Saneamento
PLANSAB	Plano Nacional de Saneamento Básico
PMCG	Prefeitura Municipal de Campina Grande
PMSB	Plano Municipal de Saneamento Básico
PMSP	Prefeitura Municipal de São Paulo
RAS	Razão de absorção de sódio
RCD	Resíduos de construção e demolição
RSS	Resíduos de serviços de saúde
SAAE	Serviços Autônomos de Água e Esgoto

SESP	Serviço Especializado de Saúde Pública
SESUMA	Secretaria de Serviços Urbanos e Meio Ambiente
SNSA	Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental
UFC	Unidade formadora de colônia
UFCG	Universidade Federal de Campina Grande
UNICEF	United Nation Children's Fund
UV	Ultravioleta
WEF	Water Environment Federation
WHO	World Health Organization
WSA	Water Security Agency

SUMÁRIO

CAPÍTULO I.....	15
1.0 INTRODUÇÃO.....	16
1.1 OBJETIVO GERAL.....	18
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
CAPÍTULO II.....	19
2.0 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	20
2.1 SANEAMENTO BÁSICO NO BRASIL.....	21
2.2 DRENAGEM DAS ÁGUAS PLUVIAIS URBANAS	24
2.2.1 Contexto histórico	24
2.2.2 Drenagem urbana.....	25
2.2.3 Gestão das águas pluviais urbanas	27
2.2.4 Qualidade das águas de drenagem.....	30
2.3 INDICADORES DE CONTAMINAÇÃO FECAL	32
2.3.1 Helmintos	33
CAPÍTULO III	37
3.0 METODOLOGIA.....	38
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	38
3.2 SISTEMA DE DRENAGEM URBANA DE CAMPINA GRANDE.....	39
3.2.1 Bacia Urbana do Prado	41
3.3 PONTOS DE AMOSTRAGEM.....	42
3.4 COLETAS DE AMOSTRAS E VISTORIAS DAS CONDIÇÕES DO CANAL	44
3.5 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS, MICROBIOLÓGICAS E PARASITOLÓGICAS	45
3.5.1 Análises físico-químicas.....	45
3.5.2 Análises microbiológicas.....	46
3.5.3 Análise parasitológica	47

3.6 AQUISIÇÃO DE DADOS SECUNDÁRIOS E ELABORAÇÃO DE MAPAS	48
3.7 ANÁLISES ESTATÍSTICAS	49
CAPÍTULO IV	50
4.0 RESULTADOS	51
4.1 MANUTENÇÃO E LIMPEZA DO CANAL DO PRADO	51
4.2 INDICADORES FÍSICO-QUÍMICOS E MICROBIOLÓGICOS	52
4.3 INDICADOR PARASITOLÓGICO	66
4.4 DISTRIBUIÇÃO POPULACIONAL POR SUB-BACIA	71
CAPÍTULO V	73
5.0 DISCUSSÃO	74
CAPÍTULO VI	77
6.0 CONCLUSÕES	78
CAPÍTULO VII	79
7.0 RECOMENDAÇÕES	80
REFERÊNCIAS	81

1.0 INTRODUÇÃO

A formação das cidades teve início a partir da fixação das populações nômades. Nesta etapa o homem primitivo procurou habitar em locais próximos a mananciais superficiais, com vistas a garantir o abastecimento de água e à realização de suas atividades. Além da água outro recurso importante, visado pelo homem, foi o solo, onde ele começou a produzir seus mantimentos, sobretudo com o desenvolvimento das atividades agrícolas e, posteriormente, da criação de animais.

Em toda a fase de fixação e adaptação da nova vida o homem primitivo utilizou-se da água, de modo que as cidades foram se desenvolvendo aos redores dos mananciais. A água sempre foi essencial para as cidades, não só pelo abastecimento das populações, mas também pelo seu papel de sanear. Ela era utilizada como meio de transporte das excretas humana e de outros animais, que inicialmente eram dispostas nas ruas, causando mal odor e o adoecimento da população.

As cidades romanas foram as pioneiras em minimizar as condições insalubres ao construírem os banhos e latrinas públicos, onde as pessoas se reuniam para conversar e também realizar suas necessidades fisiológicas. O transporte das águas servidas era realizado por galerias, denominadas de Cloaca Máxima Romana, uma obra de engenharia, utilizada para transportar esgotos e águas de chuva. Esta é considerada uma das primeiras ações voltada ao saneamento básico, tendo em vista que sua utilização objetivou o afastamento dos possíveis riscos que a população estava exposta, notadamente pela presença do material fecal, contido nos esgotos, e do acúmulo de águas pluviais provenientes do centro das cidades.

Atualmente é percebido que, com o desenvolvimento das cidades e o acelerado êxodo rural, os problemas relacionados a falta de saneamento só aumentaram, pois tais serviços não acompanharam o crescimento populacional, fato constatado particularmente nos países em desenvolvimento.

Em todo o mundo, cerca de 2,5 bilhões de pessoas não têm acesso aos serviços de saneamento básico (ONU, 2014). No Brasil, a situação não é diferente, desde a criação do Plano Nacional de Saneamento (PLANASA) o país vem buscando universalizar os serviços de saneamento básico, que se apresentam com bastante defasagem, principalmente nas Regiões Norte e Nordeste, onde as populações marginalizadas e de baixa renda estão expostas a alto risco de contaminação, através da prevalência de uma série de doenças de veiculação hídrica, bem como pelo perigo de catástrofes severas relacionadas, tanto ao excesso quanto a escassez de chuva.

Dentre os serviços de saneamento básico, a drenagem urbana e o manejo das águas pluviais se revestem de grande importância, particularmente pela sua capacidade de afastar estas águas dos centros urbanos para outros locais. A Lei 11.445/2007 define este sistema como sendo um “conjunto de atividades, infraestruturas e instalações operacionais de drenagem urbana de águas pluviais, de transporte, detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias, tratamento e disposição final das águas pluviais drenadas nas áreas urbanas” (BRASIL, 2007).

Ainda com relação ao sistema de drenagem, esta Lei estabelece como princípios fundamentais a disponibilidade dos serviços de manejo e drenagem das águas pluviais em todas as áreas urbanas, prevendo que os serviços sejam realizados de modo a garantir a segurança da vida, do patrimônio público e privado, bem como de serem adequados a saúde pública (Ibid). No entanto, é observado que estes sistemas estão a cada dia sendo utilizados para o transporte de esgotos sanitários *in natura*. Este lançamento traz sérias consequências para o meio ambiente, através da grande quantidade de poluentes que chegam aos mananciais, bem como pela carga de contaminação fecal que vem sendo lançada a céu aberto sem tratamento algum, acarretando risco de contaminação às populações estabelecidas no entorno desses canais. Neste contexto, também são afetadas as pessoas que trabalham na operação e manutenção das obras de saneamento básico e as comunidades periurbanas.

Esta realidade ainda pode ser agravada pela presença de parasitas intestinais, que têm parte do seu ciclo de vida na forma de ovos e oocistos, e que na fase adulta parasitam o organismo humano. Dentre estes destacam-se os helmintos, os quais, segundo WHO (2012), são o maior grupo de agentes infecciosos que acometem o intestino humano, particularmente nas populações marginalizadas, de baixa renda, as quais não têm acesso aos serviços de saneamento básico de boa qualidade.

É importante destacar que este fato é comum na maioria das cidades brasileiras, principalmente naquelas de médio e grande porte. Dentre estas está Campina Grande-PB, tendo seu sistema de drenagem composto por três principais bacias urbanas, Prado, Bodocongó e Piabas. Este sistema também vem passando por diversos problemas, podendo-se destacar o lançamento e transporte de águas residuárias.

A partir desta situação, surge a necessidade de monitorar as águas de drenagem, com o levantamento de alguns indicadores físico-químicos, microbiológicos e parasitológico, de modo a mensurar a distribuição da contaminação fecal no sistema de drenagem urbana de águas pluviais de Campina Grande-PB. A partir dessas informações será possível estabelecer políticas

públicas que visem melhorar as condições de salubridade, resultando em benefício para a saúde ambiental e melhoria da qualidade de vida da população.

1.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo geral investigar a distribuição da contaminação fecal nas águas afluentes do Canal do Prado, Campina Grande – Paraíba.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Descrever o estado de conservação e limpeza do Canal do Prado;
- Quantificar a contaminação fecal dos afluentes do Canal do Prado, com base em análises físico-químicas, microbiológicas e parasitológica;
- Relacionar o nível de contaminação fecal das águas do canal com a densidade populacional de cada sub-bacia a partir dos setores censitários contribuintes.

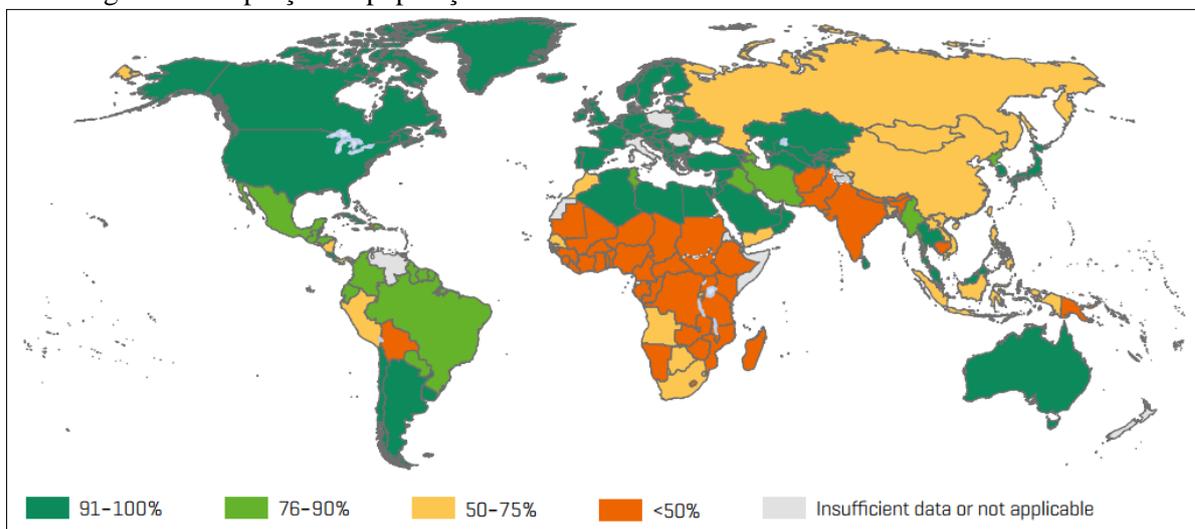
2.0 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A Organização Mundial de Saúde (WHO, 2004), define saneamento como um conjunto de ações econômicas e sociais, que tem como meta a salubridade ambiental, de modo a controlar todos os fatores ambientais que exercem efeito nocivo sobre a saúde do homem.

A Lei 11.445/2007 (BRASIL, 2007) define o saneamento básico como um conjunto de serviços, operações e infraestruturas de abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza pública e manejo dos resíduos sólidos e drenagem e manejo das águas pluviais urbanas. Também estabelece como os serviços devem ser executados com base nos princípios da universalidade, integralidade, controle social, eficiência e sustentabilidade econômica, transparência das ações executadas, entre outros.

Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU, 2014), cerca de 2,5 bilhões de pessoas, em todo o mundo, não têm acesso ao saneamento básico e conforme WHO (2014a), no ano de 2012, em aproximadamente 46 países, mais da metade da população não tinha acesso às melhorias dos serviços de saneamento básico (Figura 1).

Figura 1 - Proporção da população mundial com acesso a melhorias de saneamento básico



Fonte: WHO (2014a).

Todo este panorama enseja a proliferação de doenças, pois, ainda segundo WHO (2014b), no mundo, 133 milhões estão sofrendo de infecções causadas por helmintos, 1,6 milhões morrem todos os anos vítimas de doenças diarreicas (incluindo cólera), sendo que, destes, 90% são crianças com menos de 5 anos de idade; todos os anos são registrados 1,5 milhões de casos clínicos de hepatite A e 500 milhões de pessoas estão expostas ao risco de tracoma.

2.1 SANEAMENTO BÁSICO NO BRASIL

O contexto histórico do saneamento básico no Brasil teve início com o processo de formação do estado-nação, com todas as suas miscigenações e etnias, como índios, africanos e europeus. Conforme comentado por Rezende e Heller (2008), todo o processo histórico do descobrimento, Brasil colônia, até os dias atuais, foram de fundamental importância para a criação de uma identidade sanitária nacional, tendo como característica principal a cultura incorporada ao cotidiano da população.

As ações de saneamento eram demandadas pela evolução natural das comunidades. Inicialmente ocorreram apenas soluções locais ou domiciliares. Com a descoberta do ouro houve um aumento da imigração, trazendo o crescimento populacional e o surgimento de cidades. Toda esta evolução foi marcada pela necessidade de serviços para atender aos anseios da população, como por exemplo, a construção de chafarizes para o abastecimento de água e serviço braçal para o transporte e disposição das excretas, os quais, tornam-se diminuto posteriormente, gerando insalubridade e o desencadeamento de epidemias no meio urbano.

Com a chegada da família real ao Brasil foram implantadas ações voltadas para o saneamento básico, começando com a atenção às condições de higiene nos portos. Em 1808, D. João VI criou a primeira autoridade sanitária no país, marcando o início da atenção à saúde pública (REZENDE e HELLER, 2008).

A Figura 2 ilustra a evolução do saneamento básico no Brasil, apresentando as principais características de cada período. Ao longo do Século XIX diversos avanços ocorreram no setor, sendo estes marcados pela prestação dos serviços realizadas por empresas inglesas e as diversas intervenções realizadas por Saturnino de Brito. O ano de 1904 marcou a fase higienista, tendo o sanitarista Oswaldo Cruz como grande protagonista no controle de doenças endêmicas ligadas a falta de saneamento. Em 1909, 1942 e 1945 houve a implementação de importantes estruturas do desenvolvimento e integração regional no país, a criação da Inspetoria de Obras Contra as Secas – IOCS, do Serviço Especial de Saúde Pública – SESP e do Departamento Nacional de Obras Contra as Secas – DNOCS, respectivamente (BRASIL, 2011).

Em 1950 foram criados os Serviços Autônomos de Água e Esgoto – SAAE, distribuídos em diversos municípios brasileiros. Segundo Leoneti et al. (2011), de 1950 até o fim do século XX os investimentos em saneamento básico ocorreram prioritariamente no abastecimento de água e no esgotamento sanitário. Neste período (1978) houve a criação do Plano Nacional de Saneamento – PLANASA, como forma de melhoria para o setor, especialmente na integração dos sistemas municipais de abastecimento de água, redução do déficit do atendimento aos

serviços de saneamento básico, desenvolvimento das empresas estaduais de saneamento, entre outros. Finalizando o século XX, no ano de 1999 aconteceu a 1ª Conferência Nacional de Saneamento, a partir deste evento foi estabelecida uma meta, que vem sendo buscada até os dias atuais, a universalização dos serviços de saneamento básico.

Figura 2 - Evolução do saneamento básico no Brasil

Período	I	II	III	IV	V
Duração	Séculos XVI, XVII, XVIII e primeira metade do século XIX	Segunda metade do século XIX até 1910	1910 a 1945	1945 a 1969	A partir de 1970
Característica dominante	Ausência do poder público nas questões sanitárias. Miscigenação étnica: formação de uma identidade sanitária nacional.	Emergência da noção da interdependência sanitária; o Estado assume as questões de saneamento, no âmbito da Saúde Pública, e as transfere à iniciativa privada.	Centralização do poder público: ações realizadas pelo Estado; hegemonia norte-americana no Brasil e influência sobre a política nacional.	Estatização e auto-sustentação tarifária; incapacidade dos municípios para a gestão do saneamento.	Formulação do PLANASA: atendimento às populações urbanas; distanciamento em relação à saúde pública; aprofundamento dos desníveis sociais, dos desequilíbrios e marginalização das áreas rurais e periferias urbanas.

Fonte: Rezende e Heller (2008).

Segundo Brasil (2011a), o início do século XXI foi marcado pela criação do Ministério das Cidades, objetivando a melhoria na articulação entre os municípios e o governo federal, de modo a facilitar as ações e projetos de saneamento. Nesta mesma época também foi criada a Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – SNSA, com o foco ainda maior na universalização dos serviços de saneamento e ampliando a discussão com relação a salubridade ambiental.

A continuidade da evolução do saneamento no Brasil se deu pela criação da Lei Nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, que estabeleceu as diretrizes nacionais para o saneamento básico e para a política federal de saneamento básico, sendo esta, regulamentada pelo Decreto

Nº 7.217, de 21 de junho de 2010. Este foi um passo importante para o setor, pois foi traçado um norte, para as ações e serviços de saneamento básico no país.

Após a criação da referida lei surgiram outros acontecimentos rumo à universalização do saneamento, entre eles destacam-se a implementação do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), a obrigatoriedade da elaboração dos Planos Municipais de Saneamento Básico (PMSB) para todas as municipalidades da federação, e dos Planos de Gestão de Resíduos Sólidos, conforme previstos pela Lei 12.305 de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010a).

De acordo com o Brasil (2012), nas áreas urbanas das cidades brasileiras os serviços de abastecimento de água têm um alcance médio de 93,2%, destacando-se as regiões Sul e Sudeste, onde este índice é de 97,2% e 97,0%, respectivamente. Estes resultados apontam para a universalização deste serviço até 2023, conforme a meta do Plano Nacional de Saneamento Básico – PLANSAB (BRASIL, 2013).

Com relação aos serviços de esgotamento sanitário, foi apontado um percentual de 56,1% de cobertura média, com destaque para a região Sudeste, onde este índice foi de 80,3%; o percentual de esgoto coletado foi de 69,4%, sendo que apenas 38,6% são tratados (BRASIL, 2012). Os resultados para estes serviços indicam certa fragilidade frente à necessidade da universalização. O prazo estabelecido no PLANSAB para alcançar a meta deste serviço é até 2033, ou seja, o Brasil ainda poderá conviver 19 anos com a precária situação existente do esgotamento sanitário, o que denota os impactos sofridos na saúde pública, notadamente para as populações marginalizadas e de baixa renda, onde este serviço ainda é mais escasso e deficitário.

Tomando como base o sistema de esgotamento sanitário brasileiro, é importante perceber que houve algumas evoluções quanto a sua concepção. Segundo Tsutiya e Sobrinho (2011), a primeira obra deste tipo teve início no Rio de Janeiro, em 1857, sendo este o sistema unitário, no qual eram transportados esgotos domésticos, efluentes industriais e águas pluviais. Posteriormente, ainda na cidade do Rio de Janeiro, foi implantado o sistema separador parcial, que conduzia além dos esgotos domésticos, águas de chuva de áreas pavimentadas e do interior de prédios. Em 1879, nos Estados Unidos, foi implantado o sistema separador absoluto, sendo posteriormente adotado no Brasil.

Dentre os sistemas de esgotamento sanitários existentes (individuais, coletivos e/ou condominiais), podem ser destacados os sistemas coletivos (unitário, separador parcial e separador absoluto), particularmente o separador absoluto que tem a função de transportar apenas esgotos domésticos, águas de infiltração do subsolo e efluentes industriais que atendam

a norma quanto ao seu lançamento (Ibid). Uma das importantes vantagens deste sistema é o não lançamento das águas pluviais nas canalizações de transporte de águas residuárias, reduzindo o volume de esgoto a ser tratado.

De acordo com ABNT (1986), o esgoto sanitário é definido como a junção entre os esgotos domésticos (águas servidas, resultante da higiene e necessidades fisiológicas humana) e industrial (lançamentos resultantes dos processos industriais que atendem a Resolução de lançamento de efluentes), águas de infiltração e a contribuição pluvial parasitária, sendo esta uma parte da água de chuva que, fatalmente, é absorvida pela rede coletora de esgotos sanitários. É importante ressaltar que esta contribuição pluvial não deveria estar no sistema de esgotamento, pois sua presença aumenta o volume de esgoto a ser tratado e causa picos de vazão na entrada das estações de tratamento de esgotos (ETEs) devido a variação sazonal da pluviosidade. Segundo Rosso, Dias e Giordiano (2011), essas ocorrências se devem pelo antigo uso do sistema unitário, falta da gestão das redes de esgotamento, falta de planejamento urbano, fiscalização quanto às ligações clandestinas de esgotos e aspectos culturais presentes na população.

2.2 DRENAGEM DAS ÁGUAS PLUVIAIS URBANAS

2.2.1 Contexto histórico

O histórico da drenagem urbana data de 3.000 anos a.C. No início a drenagem era utilizada como um complemento da irrigação para a recuperação de áreas alagadas, regular a umidade do solo e desviar água do subsolo nas áreas destinadas a construção civil (FERNANDES, 2002). Burian e Edwards (2002) relatam que algumas civilizações como os Indus e os Minoans, já haviam implantado os sistemas de drenagem urbana para conter cheias, captar água de chuva e realizar o transporte de resíduos. Com o surgimento das cidades houve a necessidade de criar meios que favorecessem, cada vez mais, a permanência das pessoas nestas áreas, gerando certa comodidade e segurança frente às condições ambientais adversas, como por exemplo, as precipitações extremas.

Outra civilização que se destaca neste contexto é a romana. Os romanos foram pioneiros na construção de sistemas capazes de conduzir água para dentro das cidades através de aquedutos, promovendo, não só a drenagem das águas, mas também a engenharia da saúde pública, quando da implantação da Cloaca Máxima, um dos mais antigos sistemas de coleta e

transporte de esgotos de todo o mundo e que até hoje se encontra em uso (BUTLER e DAVIES, 2011; HILL, 1987).

No decorrer dos anos, a drenagem urbana das águas pluviais foi se tornando motivo de preocupação nos centros urbanos, particularmente devido aos eventos naturais, a necessidade de afastar excretas e transportar resíduos. Um importante avanço neste setor foi a disseminação do concreto armado em 1866, o que revolucionou a engenharia civil, particularmente no campo da drenagem urbana (FERNANDES, 2002).

No Brasil, um dos importantes alavancos do setor foi a construção dos canais de Santos (1912), sendo utilizados para drenar áreas alagadas do perímetro urbano. Esta foi uma das importantes obras realizadas pelo engenheiro Saturnino de Brito (Ibid). Posteriormente foi obrigatória a implantação de sistemas de esgotamento sanitário, tornando a drenagem urbana das águas pluviais uma das estruturas de maior importância no meio urbano.

2.2.2 Drenagem urbana

A drenagem urbana pode ser definida como uma série de atividades que tem como meta reduzir os riscos, os quais as populações estão expostas frente às inundações, de forma a promover um equilíbrio harmonioso e sustentável para o desenvolvimento urbano (TUCCI, 2002).

A Lei 11.445/2007, define o sistema de drenagem e manejo das águas pluviais urbanas como sendo um “conjunto de atividades, infraestruturas e instalações operacionais de drenagem urbana de águas pluviais, de transporte, detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias, tratamento e disposição final das águas pluviais drenadas nas áreas urbanas” (BRASIL, 2007). Este conceito traz à luz todo o aspecto das obras civis de engenharia que devem ser criadas para atender aos princípios da drenagem urbana, particularmente com relação ao transporte e ao amortecimento das cheias, os quais refletem, de maneira incisiva, em tantas situações constatadas nas cidades brasileiras nos períodos chuvosos. Nestas, as populações se veem ameaçadas pelas diversas catástrofes noticiadas nos meios de comunicação e que resultam no deslocamento de pessoas, desapropriação e perdas materiais e de vidas.

Um dos princípios fundamentais desta Lei é a disponibilidades dos serviços de manejo e drenagem das águas pluviais em todas as áreas urbanas, e que estes sejam realizados de modo a garantir a segurança da vida, do patrimônio público e privado, bem como de serem adequados a saúde pública (Ibid).

As bacias de drenagem urbana são definidas a partir de curvas topográficas que permitem o escoamento livre, de forma laminar, pela gravidade (DIAS, 2003). Com relação a esta questão é importante destacar que o fluxo é de fundamental importância, pois o escoamento não deve ocorrer de forma rápida, a ponto de causar danos a jusante e nem o desprendimento de materiais constituintes do canal; e nem de forma lenta, evitando a retenção e, por conseguinte o acúmulo das águas drenadas. Esta estagnação favorece a produção de gases mal cheirosos devido à degradação anaeróbia da matéria orgânica presente nestas águas. Para evitar estes problemas é necessário que os sistemas de drenagem sejam bem planejados e estruturados, atendendo além das normas vigentes, os anseios das populações que dependem da existência destes e levando em consideração o parcelamento do solo, conforme o Plano Diretor de cada município.

O uso do solo está intimamente ligado à drenagem das águas pluviais, notadamente devido ao crescimento acelerado das grandes cidades, o que requer grandes obras de infraestruturas capazes de oferecer comodidade e mobilidade para seus habitantes. Por outro lado, os sistemas de drenagem têm importante efeito sobre o ciclo hidrológico, particularmente através dos processos de escoamento e reservação das águas, conforme ocorre nos canais artificiais e nos piscinões, e que impedem a recarga dos lenções subterrâneos, devido a impermeabilização do solo. Segundo Butler e Davies (2011), o escoamento da água, após um evento de chuva, deve ser natural de modo que possam ocorrer os processos de evaporação e evapotranspiração. Com os canais de drenagem estes processos e a infiltração da água no solo ficam comprometidos.

Na medida em que as cidades se desenvolvem os impactos sobre os sistemas de drenagem pluvial vão sendo observados, como aumento das vazões máximas provenientes da impermeabilização do solo e do acréscimo de escoamento nos canais; elevação da produção de sedimentos, principalmente por resíduos sólidos; deterioração da qualidade da água, notadamente pelo transporte de esgotos sanitários e lavagem de pavimentos, entre outros. Aliados a estas questões, estão o crescimento desordenado, marcado pela ocupação de locais impróprios, como áreas ribeirinhas; projetos de drenagem mal elaborados e os aspectos culturais da população (TUCCI, 2006).

De acordo com sua dimensão e abrangência, o sistema de drenagem é dividido em macrodrenagem e microdrenagem. A primeira tem por finalidade realizar o escoamento final das águas drenadas, incluindo aquelas advindas da microdrenagem, sendo formado por canais naturais e construídos, grandes galerias, que acompanham a topografia da bacia hidrográfica.

A segunda é dimensionada ao nível dos lotes, tendo por objetivo afastar as águas de chuva da população dos centros urbanos.

Segundo Tucci (1995), a microdrenagem é formada por:

- Galerias – responsáveis por conduzir as águas de chuva das bocas de lobo e das ligações prediais, a partir de canalizações;
- Poços de visita – dispositivos localizados entre os trechos e pontos convenientes das galerias, utilizados para auxiliar na manutenção e limpeza do sistema;
- Trecho – parte da galeria entre dois pontos específicos;
- Bocas de lobo – equipamentos localizados em pontos específicos das sarjetas;
- Sarjetas – partes periféricas e paralelas, responsáveis pela recepção do escoamento do pavimento, das ruas e avenidas;
- Sarjetões – calhas localizadas nos cruzamentos de ruas e grandes avenidas, responsáveis pela recepção do escoamento das sarjetas;
- Tubos de ligação – conduzem as águas das bocas de lobo até as galerias.

Na macrodrenagem é utilizado o relevo do terreno, mesmo antes do processo de ocupação urbana, onde os rios e riachos são canalizados com a finalidade de conduzir as águas da microdrenagem. Com a urbanização das cidades, os talvegues vão se tornando os canais principais, conduzindo as águas de drenagem para os exutórios das bacias, chegando aos corpos receptores. Para este tipo de escoamento foi adotado o livre, ou seja, as águas de drenagem escoam em canais abertos, o que viabiliza sua limpeza e manutenção, além da percepção das cheias, harmonia paisagística e a facilidade para futuras ampliações do sistema (RAMOS, BARROS e PALOS, 1999).

Conforme apresentado por Brasil (2006a), a infraestrutura para a macrodrenagem implica na ampliação e restauração da seção de canais naturais, construção de galerias e canais artificiais, construção de travessias, pontes e passeios, ao longo destes; além de estruturas auxiliares, conforme a necessidade do projeto; existência de estações elevatórias e, por conseguintes, redes de condutos forçados; entre outros.

2.2.3 Gestão das águas pluviais urbanas

A pressão causada pelo aumento da população urbana sobre o meio natural é notória em todo o mundo, trazendo consequências indesejáveis sobre todos os aspectos do saneamento básico, sobretudo na drenagem urbana das águas pluviais. Com o crescimento desordenado as

populações vão ocupando, cada vez mais, áreas impróprias para moradia e não há respeito quanto ao parcelamento do solo, conforme deve ser estabelecido por lei a partir do Plano Direto Municipal.

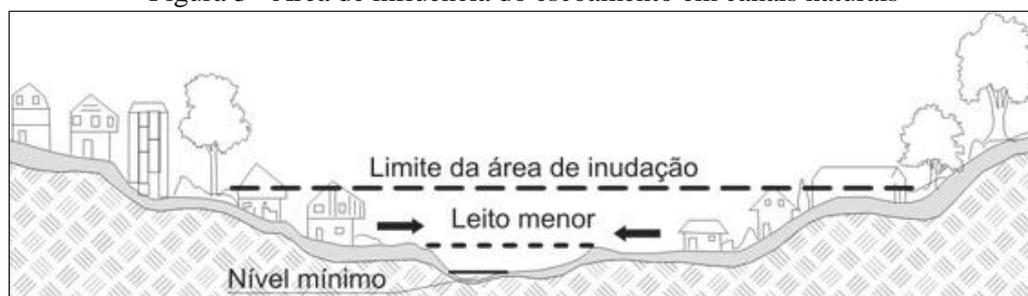
Numa abordagem mais ampla, a gestão das águas pluviais urbanas está inserida na gestão das águas urbanas, que contempla o abastecimento de água, o esgotamento sanitário, a qualidade das águas dos mananciais, a ocupação de áreas ribeirinhas, entre outros. Todos estes aspectos estão relacionados à urbanização, e têm como meta a saúde e conservação ambiental (TUCCI, 2008).

A gestão das águas pluviais urbanas está relacionada não apenas a drenagem física, mais especificamente, aos processos que concebem tais sistemas, de modo a otimizar os custos e minimizar os danos ambientais, sem que o sistema deixe de cumprir o seu papel, sendo realizado de forma eficiente e segura, evitando as catástrofes no meio urbano e a jusante deste.

Segundo Butler e Davies (2011), os sistemas de drenagem são essenciais para as áreas urbanas desenvolvidas devido à interação que há entre as atividades humanas, a expansão demográfica e o ciclo hidrológico, interferindo na qualidade das águas destes sistemas.

Tucci (2006a) relata os problemas associados a ocupação desordenada em regiões próximas de corpos de água (Figura 3), particularmente quando da causa de inundações ribeirinhas, tendo em vista que este tipo de sinistro pode ocorrer de forma natural através de fatores hidrológicos. No entanto, estes acontecimentos são resultantes da urbanização, quando da impermeabilização do solo, canalização do escoamento e obstrução desta. Os impactos causados por tais atividades são perdas material e humana, prevalência de doenças de veiculação hídrica, interrupção de atividades econômicas, e contaminação de mananciais pelo lançamento de poluentes, etc.

Figura 3 - Área de influência do escoamento em canais naturais



Fonte: Tucci (2008).

A partir dos problemas que envolvem a drenagem urbana das águas pluviais surge a necessidade de propor medidas de controle, sendo estas de acordo com a legislação vigente, as

medidas estruturantes e não-estruturantes e Planos Diretores. Um aspecto fundamental neste cenário é a divisão das atividades, mediante a área de influência das bacias hidrográficas e urbanas (Quadro 1).

Além das informações contidas no referido quadro, o controle na gestão das águas pluviais urbanas também pode ser realizado através de intervenções civis, por exemplo, a construção de piscinões como medida de amortecimento, valas de infiltração, pavimentos que proporcionam a percolação da água de chuva, além da utilização de sensores e equipamentos que emitem sinais de alerta. No entanto, todas estas ferramentas devem estar aliadas aos Planos de Águas Pluviais, sendo estes um mecanismo fundamental no gerenciamento da drenagem urbana.

Quadro 1 - Divisão da gestão das águas por bacia

ESPAÇO	DOMÍNIO	GESTORES	INSTRUMENTO	CARACTERÍSTICA
Bacia hidrográfica ¹	Estadual ou federal	Comitê e Agências	Plano de Bacia	Gestão da quantidade e qualidade da água nos rios da bacia hidrográfica, sem transferir impactos.
Município ²	Município ou Região metropolitana	Município	Plano Diretor Urbano e Plano Integrado de Esgotamento, Drenagem Urbana e Resíduo Sólido	Minimizar os impactos dentro da cidade, nas pequenas bacias urbanas e não transferir para o sistema de rios.

Nota: 1. Bacias de grande porte (> 1.000 km²); 2. Área de abrangência do município e suas pequenas sub-bacias de macrodrenagem (< 50 km²). Os valores de áreas são indicativos e podem se alterar para cidades de grande porte. Fonte: Tucci (2008).

Este plano deve estar subordinado ao Plano Diretor de cada município. Ele deve também se integrar a outros planos, particularmente os que envolvem o saneamento ambiental, tratando das questões relacionadas ao abastecimento de água, esgotamento sanitário, manejo dos resíduos sólidos e limpeza urbana, a drenagem das águas pluviais urbanas, e acima de tudo o meio ambiente (TUCCI, 2006a).

Conforme apresentado por Tucci (2001) e Tucci (2006a), o Plano de Águas Pluviais tem em sua estrutura os seguintes itens: política de águas pluviais, sendo compostas de vários princípios que são essenciais para o desenvolvimento e aplicação; medidas estruturais e não-estruturais, produtos a serem gerados, programas, com vista ao acompanhamento e melhoria contínua, conforme proposto no plano; concepção de diversos cenários; e informações, que devem ser realizadas de maneira a facilitar o acesso da população a elas. A informação, em

particular, tem um papel singular no processo de gestão destas águas, pois é através dela que os diversos atores envolvidos poderão dialogar entre si, na busca de soluções mais convenientes para os diversos problemas na drenagem urbana das águas pluviais.

E notório que ao longo dos anos houve uma grande preocupação com a gestão das águas de drenagem, notadamente, aliando esta gestão ao desenvolvimento sustentável das cidades, não admitindo que estas se desenvolvam de qualquer forma, de modo que o seu crescimento condicione riscos a população.

2.2.4 Qualidade das águas de drenagem

Para se discutir sobre a qualidade das águas de drenagem urbana pluvial é necessário, antes de tudo, entender a dinâmica da água dentro deste sistema. As interações que ocorrem se iniciam com a precipitação; nesta etapa ocorre a lixiviação de poluentes gasosos dissolvidos na atmosfera, os quais irão reagir com os vapores de água e, posteriormente, precipitar. Além dos gases existem os materiais particulados que também são lixiviados.

Após a precipitação, outro fator contribuinte para a variabilidade das características da água de drenagem é o escoamento. Sendo a qualidade destas águas influenciadas pelas ações que correm na bacia hidrográfica, o escoamento é dependente do uso e da ocupação do solo, bem como dos aspectos morfológicos da bacia. As diferenças entre áreas pavimentadas e não pavimentadas implicam no transporte de sedimento, bem como na velocidade do escoamento. O tipo do pavimento também é um fator interveniente, tendo em vista que os do tipo poroso tem uma maior contribuição no processo de percolação e infiltração, contribuindo para o processo natural do escoamento. No entanto, os do tipo impermeáveis como o asfalto, além de proporcionarem picos de vazão, são considerados como medidas insustentáveis para os sistemas de drenagem.

As fontes poluentes do sistema de drenagem podem ser pontuais, como o lançamento clandestino de esgoto diretamente neste sistema; ou difusas, como o lançamento constante destes poluentes presentes na superfície do pavimento. Segundo Ahlman (2006), no sistema de drenagem o que predomina é a poluição difusa, particularmente pelo carreamento de poluentes através do escoamento superficial. As superfícies dos pavimentos dos centros urbanos e periferias estão repletas do acúmulo de poluentes, tais como nutrientes, metais pesados, hidrocarbonetos, material sólidos, e principalmente organismo biológicos causadores de diversas patologias. É importante destacar que a distribuição destes poluentes é realizada conforme a área de ocupação, em setores comerciais, por exemplo. Os escoamentos destas áreas

possuem características diferentes de áreas predominantemente residenciais, ou áreas industriais, locais próximos de rodovias, entre outros.

De acordo com Schueller (1987), os primeiros 25 mm de escoamento são responsáveis pela principal carga de poluentes para os canais de drenagem. Já Zoppou (2001) indica que a difusão e a transformação de poluentes em uma bacia urbana ocorrem pelos seguintes processos: químicos, físico-químicos, biológicos, ecológicos e físicos. Pode-se dizer que destes, os principais são os físico-químicos e os biológicos, pela própria característica do meio. Além destes processos, são destacados os aspectos climáticos e/ou hidrológicos, os quais também têm domínio sobre a qualidade das águas de drenagem, não apenas pela precipitação, mas pela variabilidade da temperatura, umidade, radiação, entre outros aspectos de igual relevância.

Segundo Tucci (2006b), a qualidade das águas dos sistemas de drenagem depende de diversos fatores, como manutenção e limpeza dos canais, pluviosidade e intensidade das chuvas, sazonalidade e uso do ambiente urbano. Conforme Ibid, a quantidade de material suspenso na drenagem pluvial é superior à encontrada em esgotos *in natura* e sua qualidade não é melhor que um efluente de tratamento secundário de esgotos sanitários.

A contaminação das águas de drenagem por esgotos merece destaque por ser, dentre as fontes poluidoras, a que mais vem causando entraves na gestão das águas urbanas. Esta contaminação se deve, principalmente, ao antigo hábito da população com a utilização do sistema de esgotamento unitário. Além deste, outro fator preponderante é a falta de gestão, em vários municípios brasileiros as prefeituras autorizam o lançamento de esgotos nos sistemas de drenagem, isso ocorre principalmente pela ausência do sistema de esgotamento sanitário, conforme apresentado por Brasil (2012).

Uma das formas de avaliar a qualidade das águas de drenagem pluviais urbanas é o monitoramento de indicadores físico-químicos e microbiológicos. Segundo Tucci (2006a), esta avaliação é realizada com base em “parâmetros que caracterizam a poluição orgânica e a quantidade de metais”. A amostragem da qualidade destas águas é realizada com base em campanhas de coleta de amostras, com as quais são realizados testes padrões, tendo em vista o levantamento das concentrações de cada indicador analisado. Posteriormente, estas concentrações são comparadas com valores de referência. No entanto, é importante destacar que, ao longo de pesquisas bibliográficas, não foi encontrada nenhuma norma técnica que trata da qualidade da água de drenagem no Brasil e no mundo; portanto, geralmente a comparação é feita com valores típicos de esgotos sanitários, nos níveis fraco, médio e forte; ou com base em outros trabalhos já realizados sobre o mesmo tema.

A falta de boa qualidade, aliada a ausência do tratamento dessas águas incorre numa ameaça para a sustentabilidade ambiental, além de inviabilizar os esforços para melhoria da qualidade das águas dos mananciais naturais. A má qualidade dos afluentes de córregos e rios apresenta impactos negativos sobre os receptores de jusante, notadamente pelo assoreamento, aporte de nutrientes e material carbonáceo, organismos patogênicos e poluentes persistentes, que apresentam efeitos mais deletérios sobre o meio através de sua capacidade de bioacumular e/ou biomagnificar.

2.3 INDICADORES DE CONTAMINAÇÃO FECAL

No monitoramento da qualidade da água são utilizados diversos marcadores, de acordo com o que se pretende identificar. Os indicadores físico-químicos e microbiológicos são os mais comumente utilizados na monitoração, avaliação, diagnóstico e análise das condições ambientais, através da identificação de diversos compostos, organismos e substâncias de interesse para a análise ambiental. Em se tratando deste tipo de análise, há a necessidade de identificar a existência de organismos patogênicos, tendo em vista que sua presença representa risco de contaminação e de acometimento de diversas doenças, particularmente as de veiculação hídrica.

Segundo Brasil (2006b), a identificação de patógenos em água é uma atividade onerosa, que apresenta diversas dificuldades, além de ser demorada e complexa. Neste contexto, se faz necessária a utilização de indicadores que possam ser capazes de predizer, de forma confiável, a presença de organismos patogênicos. Neste sentido os indicadores mais utilizados são os de contaminação fecal (de origem humana ou de outros animais), os quais estão relacionados à presença de organismos causadores de doenças.

De acordo com Nollet (2007), esses indicadores devem ocorrer naturalmente no meio analisado. É necessário que eles estejam presentes no trato intestinal humano e de animais de sangue quente, por estarem junto com o material fecal, de forma a apontar os possíveis patógenos entéricos. Outra característica importante na escolha destes, é o seu tempo de vida, uma vez que eles devem sobreviver por mais tempo que os organismos patogênicos (Ibid).

Ainda sobre a escolha destes indicadores, Cabelli (1978); OMS (1995) *apud* Brasil (2006b) comentam que o indicador ideal deve

“ser de origem exclusivamente fecal, apresentar maior resistência que os patogênicos aos efeitos adversos do meio ambiente e aos processos de tratamento, apresentarem-se em maior número que os patogênicos, serem de fácil identificação, não se reproduzirem no meio ambiente”.

De fato, naturalmente, não há um indicador ideal, portanto é necessário lançar mão de outro que possua características, ao menos, próximas as anteriormente citadas e que ao mesmo tempo possam apontar a presença de contaminação à saúde ambiental. É a partir deste contexto que surgiu a utilização das bactérias do grupo coliformes. Este grupo tem como nomenclatura principal “coliformes totais”, por conter uma gama de organismos na forma de bastonete gram-negativo, os quais compartilham características comuns (não são patogênicos e nem esporulados) (Nollet, 2007; WHO, 1996). Ainda de acordo com os autores, entre os coliformes totais estão os coliformes termotolerantes e algumas bactérias de origem fecal, destacando-se os gêneros *Escherichia*, *Enterobacter*, *Citrobacter*, *Serratia*, e *Klebsiella*, com *E. coli* sendo a mais abundante no intestino de animais homeotérmicos.

Os coliformes termotolerantes é um subgrupo pertencente aos coliformes totais, portanto são fermentadores de lactose, através da enzima β -galactosidase, se desenvolvem em temperatura de 44,5 °C, estão presentes em fezes humanas e de animais de sangue quente. Apesar de serem considerados indicadores de contaminação fecal, os coliformes termotolerantes podem ocorrer em ambientes não contaminados por fezes (BRASIL, 2005).

A *Escherichia coli* é um subgrupo dos coliformes termotolerantes, da família das Enterobacteriaceae, faz uso da enzima β -glicuronidase, desenvolve-se no trato intestinal dos seres humano e em animais de sangue quente, também chamados de homeotérmicos (Ibid). Naturalmente, não ocorre *Escherichia coli* no ambiente livre (CANADA, 2013).

Além destes indicadores, há os parasitas intestinais, que são agentes etiológicos (Helmintos e Protozoários) que parasitam o trato intestinal humano e de outros animais, causando danos severos ao organismo parasitado (NEVES et al., 2005). Outros importantes indicadores são os vírus entéricos, que também estão no trato intestinal humano e possuem via de contaminação feco-oral; dentro deste grupo estão presentes: Poliovírus, Rotavírus, Calicivírus e o Vírus da hepatite A, entre outros (TEIXEIRA e LEAL, 2002; TAVARES et al., 2005).

A decisão quanto ao melhor indicador a ser utilizado está condicionada aos resultados que se deseja obter ou ao que se deseja investigar, bem como aos recursos que se dispõe.

2.3.1 Helmintos

De acordo com Metcalf e Eddy (2004), o termo helmintos é utilizado para descrever, de forma geral, todos os vermes, sendo ainda um grupo numeroso de organismos que possuem vida livre ou são parasitas do trato intestinal humano e de outros animais (SANTOS, 2010).

Segundo WHO (2012), os helmintos são o maior grupo de agentes infecciosos que acometem o intestino humano, particularmente nas populações marginalizadas, de baixa renda e de poucos recursos, as quais não têm acesso aos serviços de saneamento básico de qualidade. Nos Estados Unidos, o acesso às infraestruturas de saneamento e às práticas para uma alimentação segura foram fatores essenciais para drástica diminuição do número de infecções por helmintos no último século (METCALF e EDDY, 2004).

As helmintíases ensejam em severos prejuízos em todo o mundo, pois sua morbidade impõe uma carga substancial de doenças, as quais permitem o estabelecimento de ciclo vicioso de infecções, pobreza e, por conseguinte, diminuição de produtividade e do desenvolvimento econômico (WHO, 2012).

Os helmintos estão divididos em dois filos: Nematelminthes (lombrigas – possuem forma cilíndrica) e Platyhelminthes (platelmintos - achatados dorsoventralmente).

Os Platyhelminthes podem ser de vida livre ou endoparasitas, são caracterizados por apresentarem simetria bilateral, não possuem endo ou exoesqueleto, portanto são achatados dorsoventralmente, sem celoma, com ou sem tubo digestivo, sem ânus, sem aparelho respiratório, sistema excretor tipo protonefrídico, com tecido conjuntivo enchendo os espaços entre os órgãos (NEVES et al. (2005).

Ainda segundo Ibid, os Nematelminthes podem ser encontrados em diversos habitats, são vermes cilíndricos alongados, desprovidos de células em flama, cavidade geral sem revestimento epitelial, tamanho variável, de poucos milímetros a dezenas de centímetros, tubo digestivo completo, com abertura anal ou cloacal terminal ou próxima da extremidade posterior; possuem simetria bilateral, três folhetos germinativos, sem segmentação verdadeira ou probóscide.

Dentre estes helmintos, existem aqueles que possuem maior importância sanitária (Quadro 2) por estarem comumente presentes em esgotos sanitários, ou associados a infecções provenientes da falta de saneamento básico. Sobretudo os parasitas intestinais, por também estarem relacionados à prevalência de diversas doenças. A ameaça destes parasitas está relacionada à baixa dose infectante, a facilidade de locomoção e permanência no meio. Os ovos de helmintos são expelidos junto com as fezes de organismos infectados, no solo úmido e em ambientes aquáticos e podem permanecer por semanas, meses e até ano, a depender da espécie. Seu contato com o homem está relacionado com contaminação de água e alimentos, transmissão por hospedeiros intermediários (no caso da Taenia, bovino ou suíno), precárias práticas de higiene corporal e fatores culturais, entre outros. No meio cada helminto apresenta seu ciclo de vida próprio, similar ao que ocorre com as patologias causadas por eles.

Quadro 2 - Classificação dos helmintos de maior importância sanitária

FILO	PLATYHELMINTHES		NEMATHELMINTHES
CLASSE	CESTODA	TREMATODA	NEMATODA
Espécie	Hymenolepis nana Hymenolepis diminuta Taenia saginata Taenia solium	Clonorchis sinensis Fasciola hepática Schistosoma spp	Ascaris lumbricoides Ancylostoma spp Enterobius vermiculares Trichuris trichiura Capillaria spp

Fonte: Adaptado de Jimenez (2007).

Ancilostomideo sp – Estão entre os helmintos mais cosmopolitas do intestino humano. É um parasita comumente encontrado em regiões tropicais e temperadas. Entre este gênero há três espécies que parasitam o homem, *Ancylostoma duodenale*, *Necator americanus* e *Ancylostoma ceylanicum*, sendo responsáveis por causar a Ancilostomíase (amarelão ou opilação ou doença do Jeca Tatú). Esta doença ocorre em crianças com mais de 6 anos, em adolescentes e em indivíduos mais velhos, independentemente da idade. No Brasil a espécie mais frequente é o *Necator Americanus*, que ocorre geralmente no meio rural, onde os habitantes não têm acesso aos serviços de saneamento adequados e costumam andar descalços. O *Ancylostoma duodenale* e o *Necator americanus* chegam a expelir 30.000 e 9.000 ovos por dia, respectivamente. Estes ovos possuem aproximadamente 70 µm de diâmetro (BRASIL, 2010b; GODINHO, 2003; NEVES et al., 2005).

Trichuris sp – Segundo Godinho (2003), este parasita apresenta alta fecundidade, chegando a liberar 20.000 ovos/dia. Os ovos deste gênero apresentam 22 µm de largura e 50 µm de comprimento. Na fase adulta vive no intestino grosso e se alimenta do material intestinal. A intensidade da infecção ocorre em função da idade do hospedeiro, sendo máxima em crianças entre 4 e 10 anos, em jovens e adultos ela se apresenta de forma mais atenuada. Possui via de contaminação semelhante a *Ascaris lumbricoides*, por isso é considerado cosmopolita clássico em seres humanos, tendo estes como seu reservatório.

Taenia sp – Este gênero é responsável pela Teníase e a Cisticercose. A Teníase é provocada pela presença da forma adulta da *Taenia solium* ou da *Taenia saginata* (popularmente conhecidas como solitárias), no intestino delgado do homem. A Cisticercose é causada pela larva da *Taenia solium* nos tecidos, ou seja, é uma enfermidade somática. Este helminto é considerado heteroxênico, por apresentar hospedeiros intermediários, no entanto, o homem é o único hospedeiro definitivo. Apresenta ovos esféricos com 30 µm de diâmetro (BRASIL, 2010b).

Hymenolepis nana – Segundo Neves et al. (2005) esta espécie é cosmopolita de roedores, seres humanos e outros animais. Acredita-se que cerca de 75 milhões de pessoas, no mundo, estejam infectadas por este parasita. O verme adulto é encontrado no intestino delgado, principalmente íleo e jejuno do homem. Seus ovos apresentam diâmetro aproximado de 40 μm . Godinho (2003) acrescenta que seu ciclo é heteroxênico e sua intensidade está relacionada a diversos fatores, dentre eles a baixa resistência às condições ambientais, a precários hábitos de higiene e limpeza e a presença do hospedeiro intermediário no meio. Apesar de ter hospedeiro intermediário, também pode haver contaminação direta ao homem em contato com material contaminado com os ovos desta espécie.

Hymenolepis diminuta – Normalmente seu parasitismo não apresenta nenhuma alteração orgânica no homem, sendo seus ovos expelidos após dois meses da infecção. Também possui ciclo de vida heteroxênico, sendo os roedores seus principais hospedeiros e, raramente, o organismo humano. Os ovos desta espécie medem cerca de 70 μm de diâmetro (GODINHO, 2003).

Ascaris lumbricoides – De acordo com Neves et al. (2005), esta espécie possui uma ampla distribuição em todo o mundo, dependendo das condições climáticas, ambientais e, principalmente, do grau de desenvolvimento socioeconômico da população e do atendimento as condições de saneamento básico. Estes helmintos são os mais comumente encontrados no trato intestinal humano, particularmente de crianças. Segundo Brasil (2010b), é o causador da ascaridíase, manifestando-se por dor abdominal, diarreia, náuseas e anorexia. Quando há grande número de parasitas, pode ocorrer quadro de obstrução intestinal. O homem é o reservatório principal desta espécie. Seus ovos possuem diâmetro aproximado de 50 μm . A fêmea adulta expele cerca de 200.000 ovos por dia.

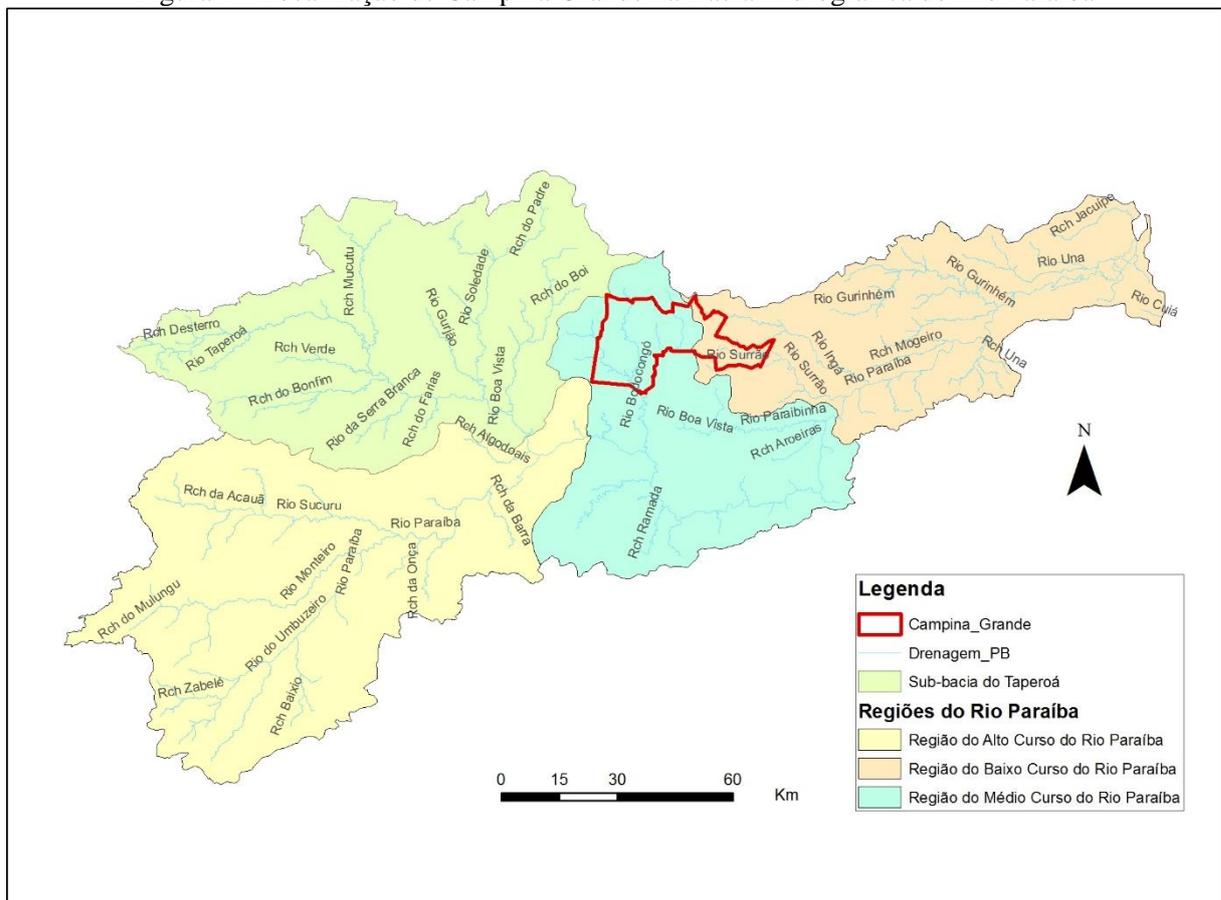
Enterobius vermicularis – Seus ovos medem cerca de 50 μm de comprimento por 20 μm de largura. Esta espécie é do tipo monoxênico; após a cópula, os machos são eliminados com as fezes e morrem. As infecções intestinais, que são mais frequentes em crianças em idade escolar, podem ser assintomática ou apresentar, como característica principal, o prurido perianal, frequentemente noturno, que causa irritabilidade, desassossego, desconforto e sono intranquilo. O homem é o seu principal reservatório e seu modo de transmissão é predominantemente feco-oral (BRASIL, 2010b; NEVES et al., 2005).

3.0 METODOLOGIA

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo do presente trabalho está situada na cidade de Campina Grande ($7^{\circ} 13' 51''$ Sul e $35^{\circ} 52' 54''$ Oeste), sede do município homônimo, localizada na sub-bacia do Médio curso do Rio Paraíba, estado da Paraíba, Nordeste do Brasil, conforme ilustrado na Figura 4. Além da sede, o município é composto pelos distritos de São José da Mata, Galante, Catolé de Boa Vista, Catolé de Zé Ferreira e Santa Terezinha.

Figura 4 - Localização de Campina Grande na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba



A referida cidade situa-se a aproximadamente 550 m acima do nível do mar e dista 120 km da capital do estado, João Pessoa. Localizada na mesorregião Agreste, o clima predominante é o semiárido, apresentando precipitação anual média de 804,9 mm (MACEDO et al., 2011).

Segundo IBGE (2014), o município de Campina Grande possui uma população estimada de 400.002 habitantes, ocupando uma área de 594,182 km², que resulta numa densidade demográfica de 673,197 hab.(km²)⁻¹.

Com relação ao saneamento básico, assim como a maioria das cidades brasileiras, Campina Grande possui alguns serviços prestados por empresas públicas e por empresas terceirizadas. Os serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário estão sob responsabilidade da Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA), o serviço de limpeza urbana é realizado pela Secretaria de Serviços Urbanos e Meio Ambiente (SESUMA) e os serviços de coleta e disposição final de resíduos sólidos urbanos e de resíduos de serviços de saúde são divididos entre a SESUMA e empresas terceirizadas (PMCG, 2014a).

A água que abastece Campina Grande é proveniente do Açude Epitácio Pessoa (Açude de Boqueirão), de onde é captada e transportada por uma adutora até a estação de tratamento Gravatá de Boqueirão. Após o tratamento, a água é conduzida por 4 adutoras para os principais reservatórios, situados na sede do município, e distribuída à população através da rede de distribuição. O abastecimento de água atende a 125.610 domicílios (IBGE, 2008) perfazendo um total de 95,33 % (TRATA BRASIL, 2013).

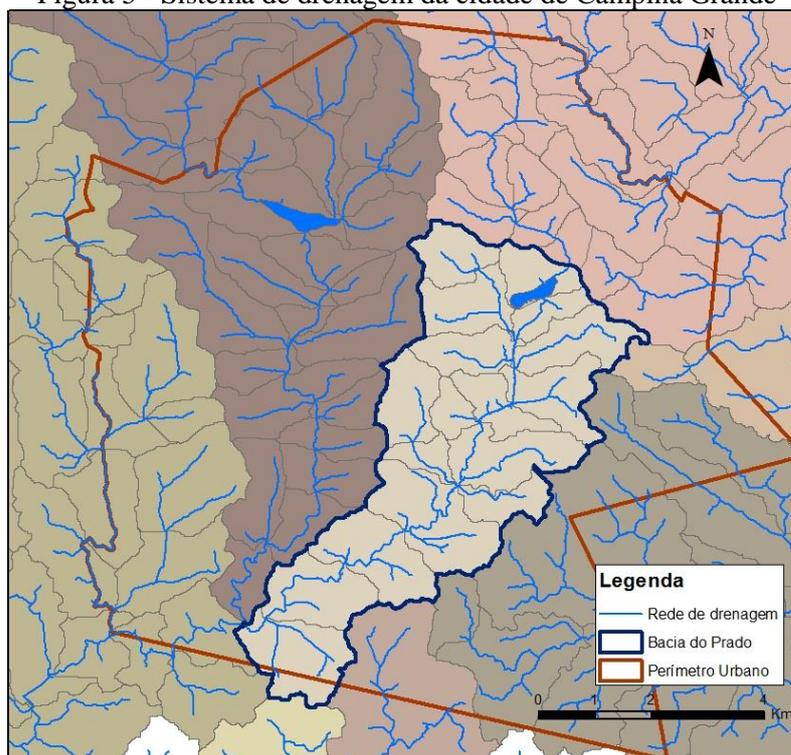
O sistema de esgotamento sanitário implantado na cidade é do tipo separador absoluto e, de acordo com a CAGEPA (2012) *apud* PMCG (2014a), a rede de esgotamento sanitário do município apresenta uma extensão de 565.575,41 metros, com aproximadamente 87.382 ligações domiciliares. De acordo com o Instituto Trata Brasil (2013), 75,77% da cidade é atendida pelo referido serviço.

De acordo com a PMCG (2014a) a limpeza urbana e coleta de resíduos sólidos na cidade de Campina Grande é realizada em quatro principais zonas, Norte, Sul, Leste e Oeste, sendo coletados diariamente, uma média de 432,09 toneladas de diferentes fontes. Segundo dados da PMCG em 2010 foram coletados 233,33 ton.dia⁻¹ de coleta domiciliar, 197,94 ton.dia⁻¹ de limpeza urbana, 0,23 ton.dia⁻¹ de resíduos de serviços de saúde (RSS) e 0,25 ton.dia⁻¹ de coletores estacionários.

3.2 SISTEMA DE DRENAGEM URBANA DE CAMPINA GRANDE

O sistema de macrodrenagem de Campina Grande abrange 3 importantes Bacias Urbanas: Piabas, Bobocongó e Prado, conforme ilustrado na Figura 5, e dele fazem parte canais trapezoidais e retangulares, em sua maioria abertos. Com relação a microdrenagem, este sistema é composto por bocas de lobo, poços de visita, galerias, tubos de ligações e sarjetas.

Figura 5 - Sistema de drenagem da cidade de Campina Grande



Conforme relatado por PMCG (2014b), os problemas existentes no sistema de drenagem de Campina Grande são divulgados desde 1985. Àquela época o Diário da Borborema noticiou os efeitos de uma das maiores chuvas ocorridas na cidade, principalmente nos bairros Liberdade, José Pinheiro, Palmeira, Conceição, Cachoeira e Vila Cabral, onde foram registrados alagamentos, perdas de casas e prédios públicos, além de danos em algumas estruturas urbanas, como postes e outras.

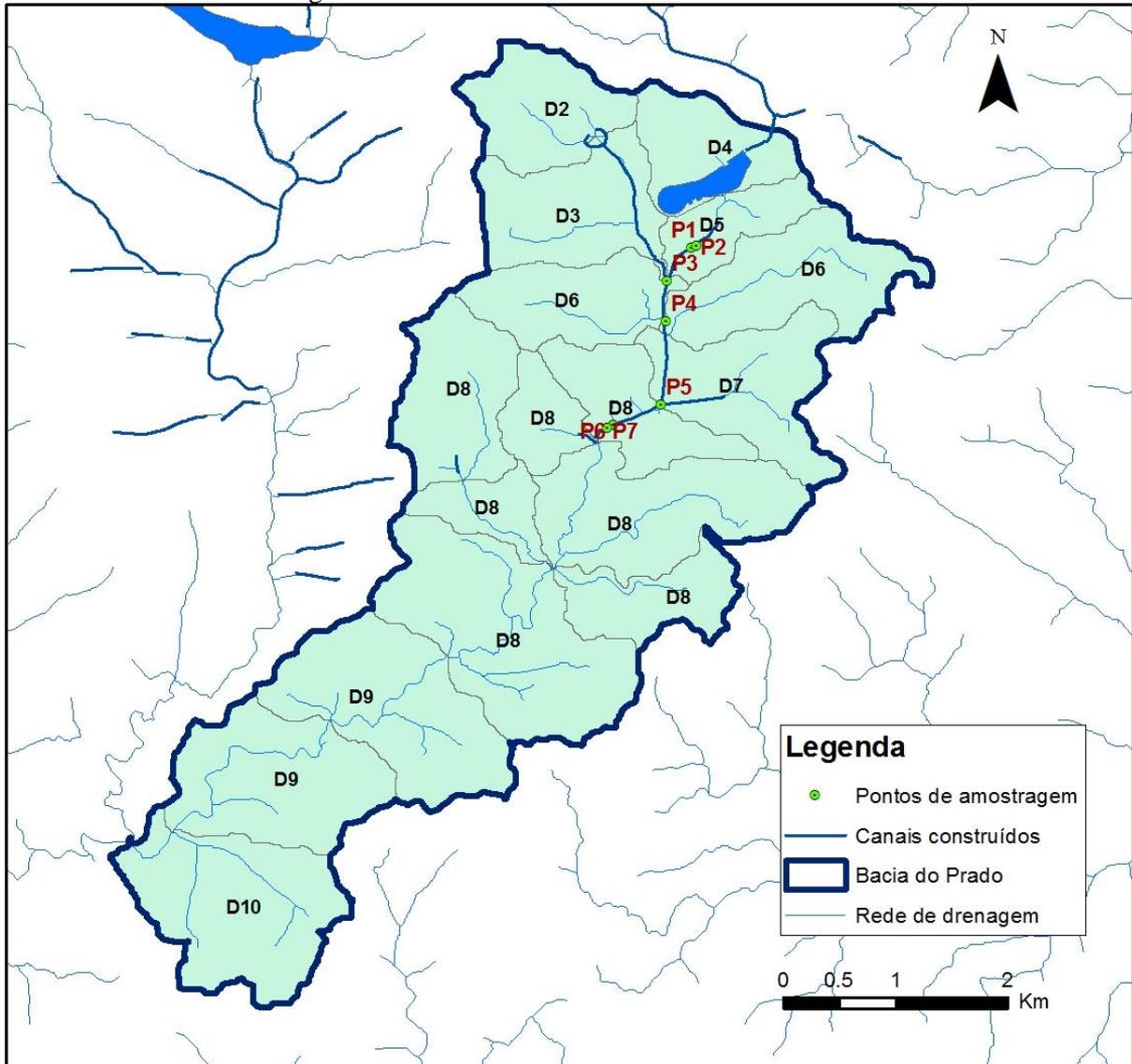
Atualmente, este sistema ainda é considerado deficitário, tendo em vista que todos os anos são constatados alagamentos nos principais pontos da cidade, além das inúmeras enchentes que ocorrem nas regiões periféricas, atingindo uma parcela considerável da população de menor poder aquisitivo, através das perdas materiais e dos riscos associados a disseminação de doenças e acidentes.

Apesar destes acontecimentos e do aumento populacional que vem ocorrendo em Campina Grande, não há qualquer informação quanto a elaboração de um Plano de Drenagem Urbana para a ampliação do sistema em estudo, no entanto, o Plano Diretor do município faz algumas observações sobre o manejo das águas pluviais urbanas, como a necessidade da elaboração de planos setoriais de macrodrenagem e as prioridades que devem ser dadas no manejo dessas águas (PMCG, 2006).

3.2.1 Bacia Urbana do Prado

A Bacia Urbana do Prado (Figura 6) possui uma área de 37,15 km² e um perímetro de 43,78 km, sendo composta por 9 sub-bacias. Esta também compreende de forma parcial e/ou total 22 bairros.

Figura 6 - Bacia Urbana do Prado e suas sub-bacias



O canal em estudo foi o Canal do Prado, sendo este o talvegue da bacia de mesmo nome. O referido canal tem início no extravasor das águas excedentes do Açude Velho (7° 13' 35,8" Sul e 35° 52' 47,7" Oeste), e término no bairro Jardim Paulistano, nas coordenadas 7° 14' 47,6" Sul e 35° 53' 22,1" Oeste; após este ponto, o canal deixa de ter seu revestimento, seguindo seu

percurso até desaguar no Riacho Bodocongó, o qual é afluente do Rio Paraíba, principal rio do estado.

3.3 PONTOS DE AMOSTRAGEM

Para a realização deste trabalho foram escolhidos sete pontos de coleta, sendo dois deles os pontos extremos (montante e jusante) do Canal do Prado e os outros definidos nos principais canais afluentes, imediatamente antes do lançamento no canal objeto do estudo. A escolha dos principais afluentes levou em consideração suas vazões e as áreas drenadas por cada um deles.

Os pontos de amostragem (Figuras 6 e 7) foram:

- Ponto P1 ($7^{\circ} 13' 48,7''$ Sul e $35^{\circ} 52' 51,6''$ Oeste), situado a montante de todas as contribuições diretas do Canal do Prado, representativo das águas excedentes do Açude Velho e das águas pluviais das sub-bacias D4 e D5, provenientes do Centro e de uma pequena porção do bairro do Catolé;
- Ponto P2 ($7^{\circ} 13' 48,5''$ Sul e $35^{\circ} 52' 51,6''$ Oeste), primeira contribuição significativa do Canal do Prado. Esse ponto é responsável pela drenagem da sub-bacia D5, proveniente de outra parte do bairro Catolé;
- Ponto P3 ($7^{\circ} 14' 0,6''$ Sul e $35^{\circ} 53' 1,5''$ Oeste), um dos pontos que representam, qualitativamente a maior vazão contribuinte, inicia sua área de drenagem no bairro da Bela Vista, passando pela Prata, São José, Estação Velha até chegar ao canal em estudo, drenando as sub-bacias D2 e D3;
- Ponto P4 ($7^{\circ} 14' 10,2''$ Sul e $35^{\circ} 53' 2,3''$ Oeste), representativo da drenagem da sub-bacia D6, correspondendo a outra parcela do bairro do Catolé;
- Ponto P5 ($7^{\circ} 14' 36,7''$ Sul e $35^{\circ} 53' 3,4''$ Oeste), representativo para contribuição da drenagem da sub-bacia D7 e por conseguinte dos bairros do Catolé e Sandra Cavalcante;
- Ponto P6 ($7^{\circ} 14' 41,8''$ Sul e $35^{\circ} 53' 15,9''$ Oeste), ponto amostral de duas tubulações subterrâneas, que drenam a sub-bacia D8 e os bairros Tambor e Liberdade;
- Ponto P7 ($7^{\circ} 14' 42,3''$ Sul e $35^{\circ} 53' 16,6''$ Oeste), amostragem de jusante de todas as contribuições. Cinco estacas (100 m) antes do final do canal em estudo.

Figura 7 - Pontos de amostragem



P1



P2



P3



P4



P5



P6



P7

3.4 COLETAS DE AMOSTRAS E VISTORIAS DAS CONDIÇÕES DO CANAL

As coletas de amostras para as análises físico-químicas, microbiológicas e parasitológica foram iniciadas no mês de abril e encerradas no mês de setembro de 2014, contabilizando 6 meses. A frequência de coleta foi de uma ou duas vezes por semana, totalizando 35 campanhas.

Em estudos desenvolvidos na Estação Experimental de Tratamento Biológico de Esgotos Sanitários – EXTRABES, por vários anos, foi observado que o horário de 9 hs da manhã era o mais representativo das características qualitativas e quantitativas dos esgotos sanitários de Campina Grande. Por esta razão, este horário foi adotado para a realização desta pesquisa.

As coletas das amostras foram realizadas com o auxílio de um balde e uma corda (Figura 8). Do balde a amostra era transferida para um béquer de polietileno onde eram realizadas as medidas de temperatura e posteriormente era feita a transferência da amostra para os recipientes de coleta.

Para cada tipo de análise foi utilizado um recipiente diferente, em todos os pontos de amostragem, sendo um recipiente estéril de 250 ml para as análises microbiológicas, um de 1.000 ml para as análises físico-químicas e outro de 10 litros para as análises parasitológica e sólidos sedimentáveis.

O acondicionamento dos recipientes das amostras coletadas para as análises bacteriológicas e físico-químicas foi em caixas de isopor, com gelo para manutenção da temperatura em torno de 4° C e sem gelo para a manutenção da temperatura ambiente, respectivamente. Os recipientes das amostras coletadas para as análises parasitológicas e de sólidos sedimentáveis não necessitaram de acondicionamento específico.

Figura 8 - Coleta de amostra utilizando balde e corda



Após as coletas, as amostras eram encaminhadas ao Laboratório de Saneamento da Unidade Acadêmica de Engenharia Civil – UFCG, para realização das análises.

Para levantamento das condições de infraestrutura e manutenção do canal foram adquiridas informações junto à Secretaria de Serviços Urbanos e Meio Ambiente da Prefeitura Municipal de Campina Grande-PB. Também, nos dias de coleta, foram realizadas vistorias em toda a extensão do canal, a partir do Parque da Criança (7° 13' 35,8" Sul e 35° 52' 47,7" Oeste) até a Av. Assis Chateaubriand (7° 14' 47,6" Sul e 35° 53' 22,1" Oeste).

3.5 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS, MICROBIOLÓGICAS E PARASITOLÓGICAS

3.5.1 Análises físico-químicas

Os parâmetros físico-químicos utilizados para a realização desse trabalho foram: temperatura, pH, sólidos suspensos totais (SST), sólidos suspensos voláteis (SSV), sólidos suspensos fixos (SSF), sólidos sedimentáveis (Ssed), oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO). Estes parâmetros foram escolhidos por reunirem informações relevantes sobre a contaminação proveniente de material fecal nas águas de drenagem pluvial.

O Quadro 3 apresenta todos os parâmetros físico-químicos utilizados, as metodologias de análises e referência.

Quadro 3 - Parâmetros físico-químicos utilizados, metodologias de análises e referência

PARÂMETRO	METODOLOGIA	REFERÊNCIA
Temperatura	Termômetro infravermelho	APHA, AWWA, WEF (2012)
pH	Potenciométrico	
SST	Gravimétrico	
SSV	Gravimétrico	
SSF	Gravimétrico	
Ssed	Sedimentação	
OD	Eletrométrico	
DBO	Método padrão sem sementeira	
DQO	Titrimétrico da refluxação fechada do dicromato de potássio	

Ao todo foram realizadas 35 análises para cada um desses parâmetros. No entanto, como os 5 primeiros dados foram eliminados, os resultados serão apresentados com valores referentes

a 30. A exceção foi para a DBO, para a qual foram realizadas apenas 11 análises, pois o objetivo era apenas indicar a relação DQO/DBO. Todas as análises foram realizadas em triplicata.

3.5.2 Análises microbiológicas

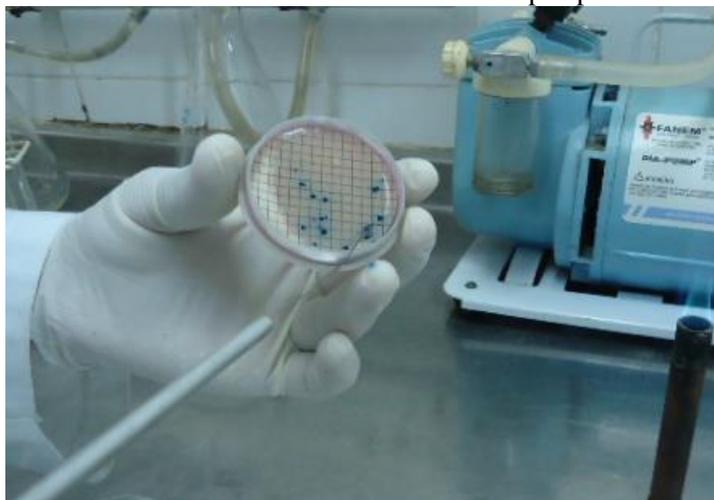
Os indicadores utilizados para a quantificação microbiológica da contaminação fecal foram coliformes termotolerantes e *Escherichia coli*.

Na determinação dos coliformes termotolerantes foi utilizada a metodologia de membrana filtrante, segundo APHA, AWWA, WEF (2012).

A confirmação de *Escherichia coli* foi realizada a partir da adaptação de Ibid:

1. Esterilizar, em autoclave a 121 °C por 15 min, 100 ml de água destilada;
2. Dissolver o conteúdo de um vial, do meio de cultura seletivo para *Escherichia coli* (Substrato Cromogênico – COLILERT®) na água esterilizada;
3. Distribuir 10 ml do material em tubos de ensaio esterilizados;
4. Retirar, com uma alça de platina, 10% das colônias dos coliformes termotolerantes (Figura 9) e incubá-las no meio contido nos tubos. Cada colônia deve ser incubada em um único tubo;
5. Levar os tubos com as colônias incubadas para estufa a aproximadamente 35 °C por 24 hs;
6. Decorrido o referido tempo, realizar a confirmação presuntiva da *Escherichia coli* por fluorescência, em lâmpada UV com comprimento de onda de 365 nm.

Figura 9 - Colônias de Coliformes Termotolerantes após período de incubação



3.5.3 Análise parasitológica

Os ovos de helmintos foram escolhidos como indicador parasitológico. Dentre eles foram escolhidos os gêneros *Taenia* sp, *Ancilostomideo* sp e *Trichuris* sp, e as espécies *Ascaris lumbricoides*, *Hymenolepis nana*, *Hymenolepis diminuta*, *Enterobius vermicularis*. Suas escolhas se deu pelo fato de serem os gêneros e espécies mais comumente encontrados no trato intestinal humano e de alguns animais, embora outros também sejam de vida livre.

A determinação de ovos de helmintos foi realizada pelo método da sedimentação de Bailenger (1979), modificado por Ayres e Mara (1996) e detalhado por Zerbini (2000), conforme descrição a seguir:

1. Verter 9 L de amostra (Va) em baldes de 13 L de capacidade, contendo 15 ml de formaldeído P.A;
2. Após, aproximadamente 18 horas, retirar de 90 a 95% do sobrenadante contido em cada balde, por sifonamento, ficando somente o sedimento;
3. Com o auxílio de um béquer de plástico de 1.000 mL, transferir o sedimento para tubos de centrífuga de 50 mL, em cada ponto foram utilizados 4 tubos ou menos a depender do volume do sedimento;
4. Centrifugar os tubos por 10 min em rotação de 3.000 rpm, este procedimento deve ser realizado para cada ponto de amostragem de cada vez, escolher o número de tubos convenientes em cada centrifugação;
5. Juntar os sedimentos contidos nos tubos em apenas um, sendo um tubo por amostra;
6. Centrifugar estes tubos mais uma vez por 10 min e em rotação de 3.000 rpm;
7. Após o procedimento supracitado e com vistas a remoção da gordura contida no sedimento, retirar o sobrenadante de cada tubo, em seguida adicionar um volume corresponde ao sedimento remanescente de solução tampão (pH 4,5) de acetoacética, e o dobro do volume de acetato de etila P.A.;
8. Homogeneizar o conteúdo em equipamento vórtex;
9. Centrifugar os tubos, pela última vez, por 10 min em rotação de 3.000 rpm;
10. Descartar o sobrenadante, deixando apenas o sedimento resultante;
11. Adicionar em cada tubo um volume de sulfato de zinco 33% (densidade de 1,18 – 1,20) correspondente a 5 vezes o volume do sedimento resultante;
12. Adicionar algumas gotas do corante safranina, com vista a identificação dos ovos de helmintos inférteis (os ovos inférteis ficam corados);

13. Homogeneizar o conteúdo em equipamento vórtex (Vf);
14. Com o auxílio de uma pipeta de Pasteur, retirar uma alíquota do material (Vc) e transferir para uma câmara de McMaster;
15. Após 5 min, realizar a contagem dos ovos de helmintos em microscópio óptico (No).

O número total de ovos para cada amostra é determinado pela seguinte equação:

$$N = \frac{Vf * No}{Va * Vc}$$

Onde:

N = número de ovos (ovos/litro)

No = número de ovos contados na câmara de McMaster

Vf = volume do produto final após a adição do Sulfato de zinco e a Safranina (mL)

Vc = volume da câmara de McMaster (0,30 ml)

Va = volume coletado da amostra (9 L)

3.6 AQUISIÇÃO DE DADOS SECUNDÁRIOS E ELABORAÇÃO DE MAPAS

Em algumas etapas da realização do presente estudo, foi necessária a aquisição de dados secundários de alguns órgãos, como Prefeitura Municipal de Campina Grande, Universidade Federal de Campina Grande, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. Além do levantamento de informações a partir de estudos prévios similares, realizados por outros pesquisadores tanto no Brasil como no mundo.

Os dados pluviométricos e de temperaturas máximas e mínimas (de 09 de abril a 17 de setembro do corrente ano) foram adquiridos junto a AESA.

Outras informações relativas ao saneamento básico do município em estudo, foram adquiridas junto a equipe de elaboração do Plano Municipal de Saneamento Básico de Campina Grande.

Para a elaboração do mapa de distribuição populacional na Bacia Urbana do Prado foi realizado o levantamento do número de habitantes por setor censitário de Campina Grande, sendo estes adquiridos junto ao escritório local do IBGE. Como os setores censitários estão inseridos nas sub-bacias ou em parte destas, foi calculado a densidade populacional por setor. Como os limites das sub-bacias não coincidem com os dos setores analisados, foi calculada a média ponderada da densidade populacional por sub-bacia, e posteriormente multiplicada pela

área da mesma, de modo a estimar a população média de cada uma delas. Nesta etapa foi utilizado o software ArcGis 10.2.

3.7 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Inicialmente, os dados físico-químicos e de coliformes termotolerantes foram submetidos a análise exploratória, na qual foi realizada a correção de alguns dados. Posteriormente, foram elaborados gráficos para ilustrar a distribuição destes indicadores. Com vistas a identificação de outliers, foi aplicado o teste de Grubbs, sendo realizada a correção destes. Os dados que não obedeceram a uma distribuição normal (Kolmogorov-Smirnov), foram normalizados, para tanto, inicialmente, foi aplicado o método logarítmico, como este não atendeu a maioria dos conjuntos de dados foi necessário adotar o método da raiz quadrada.

Com os dados normalizados foi aplicada a estatística descritiva (média, desvio padrão, mínimo e máximo) para os indicadores mais relevantes (OD, DBO, DQO, SST, SSV e CTT) dentre os citados anteriormente. Já a ANOVA foi aplicada para todos os indicadores físico-químicos e coliformes termotolerantes, sendo que o resultado gráfico para esta análise (método GT-2) foi empregado apenas para temperatura, pH, OD, DBO, DQO, SST, SSV e CTT. Além destes testes foi realizada a matriz de correlação de Pearson com os scatterplots (gráficos de dispersão) para apresentar os indicadores que têm influência uns sobre os outros, e como é esta correlação. Para esta análise foram escolhidos os pontos mais significativos, que foram P3, P4 e P5.

Para os dados de ovos de helmintos foi aplicada a análise exploratória e a elaboração de gráficos para cada ponto monitorado, com vistas a ilustrar sua distribuição. Posteriormente, foi realizada a estatística descritiva, através da distribuição de frequência entre ovos de helmintos, além da distribuição de frequência absoluta por faixa para cada ponto.

A digitalização dos dados, os testes de outliers, e os demais procedimentos e análises foram realizados no Excel do Pacote Microsoft Office 2013 for Windows, já para testes de normalidades e elaboração das matrizes de correlação de Pearson, foi utilizado o software Action 2.7. Este software é gratuito, podendo ser baixado no Portal Action, o mesmo funciona no ambiente excel com uma espécie de plugin.

4.0 RESULTADOS

Com vistas a uma melhor apresentação dos resultados, foi realizada sua divisão em 4 subcapítulos, o primeiro que trata da situação da manutenção e limpeza do canal estudado, a partir de informações junto à Secretaria de Serviços Urbanos e Meio Ambiente (SESUMA) e o acompanhamento *in loco*; o segundo relacionado aos resultados das análises físico-químicas e microbiológicas, bem como dos testes estatísticos; o terceiro, apresentando as análises para os indicadores parasitológicos (ovos de helmintos); e, por último, a distribuição da população por sub-bacias através de um mapa temático.

4.1 MANUTENÇÃO E LIMPEZA DO CANAL DO PRADO

Conforme ilustrado na Figura 10, frequentemente há o lançamento de resíduos sólidos urbanos no leito do canal; além desse tipo de resíduo, também é possível encontrar resíduos de construção e demolição (RCD), sendo esta presença justificada pelas obras civis que ocorreram nas proximidades ou, até, pela ação de vândalos contra o patrimônio público, não havendo sua remoção.

Figura 10 - Resíduos sólidos (esquerda) e RCD (direita) no leito do Canal do Prado



Em vários pontos ao longo do Canal do Prado é possível identificar a formação de bancos de areia, conforme ilustrado na Figura 11. Também é observada a falta de limpeza nas margens do canal, caracterizada por grande quantidade de vegetação que se desenvolve ao longo do mesmo. Além da vegetação, próximo à Avenida Assis Chateaubriand, há um avanço, cada vez maior, do aterro colocado nas proximidades, para o leito do canal (Figura 12).

Figura 11 - Formação de bancos de areia no leito do Canal do Prado



Figura 12 - Aterro lançado nas proximidades do canal e a vegetação invasora do seu leito



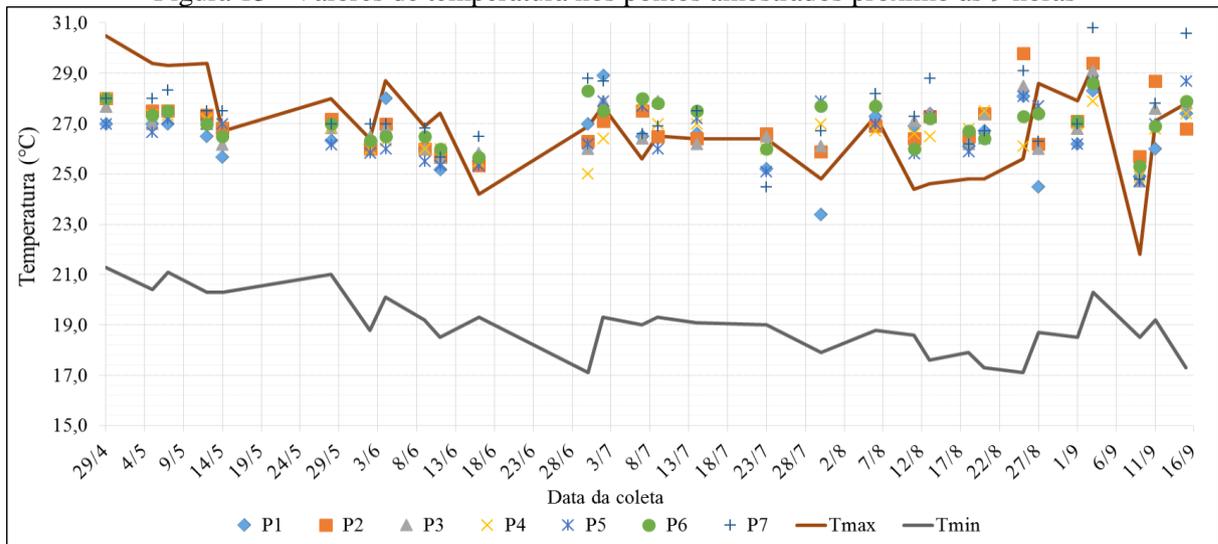
Durante as campanhas de coleta, foi constatada apenas uma limpeza nas margens do canal, tendo sido realizada a capina da vegetação e a retirada de terra das margens.

Conforme informações da SESUMA, as atividades de limpeza, tanto das margens quanto do leito do Canal do Prado e seus contribuintes são realizadas com frequência, no entanto não foi informada qual seria esta frequência.

4.2 INDICADORES FÍSICO-QUÍMICOS E MICROBIOLÓGICOS

Conforme ilustrado na Figura 13, para todos os pontos amostrados, a temperatura se manteve entre 23 e 31 °C. Quando comparadas com a temperatura ambiente (linhas sólidas), máxima e mínima, foi observado que todos os valores se apresentaram acima da mínima e, na maior parte do período de monitoramento, os valores ultrapassaram a temperatura máxima.

Figura 13 - Valores de temperatura nos pontos amostrados próximo às 9 horas



Com vistas a avaliar o comportamento dos demais indicadores de qualidade das águas com relação à pluviosidade, foi estimada a média aritmética da altura de chuva dos 3 últimos dias próximos à coleta, incluindo o dia da mesma. Este procedimento objetivou representar graficamente o comportamento dessa variável, suavizando os picos e permitindo uma melhor visualização de sua influência sobre os parâmetros de qualidade representados na sequência das Figuras 14 a 23.

O pH das águas analisadas (Figura 14) apresentou tanto variação temporal, como entre os pontos monitorados no período inicial da pesquisa; posteriormente o indicador se manteve entre 7 e 8, particularmente após a metade da monitoração. É importante destacar que os pontos P1, P5 e P7, apresentaram os maiores valores, já os pontos P2, P3, P4 e P6, se mantiveram, na maior parte da monitoração, próximos à neutralidade. Aparentemente, a variação da pluviosidade não exerceu influência significativa sobre o pH, nem ao longo do tempo e nem entre os pontos.

A Figura 15 ilustra o comportamento das concentrações de oxigênio dissolvido (OD), com destaque para a do ponto P1, que se sobrepôs aos demais pontos monitorados. Este comportamento é justificado por ser um ponto mais de montante, onde a presença de matéria orgânica biodegradável é mais atenuada que os demais. Foi observada tendência de relação direta entre as concentrações de oxigênio e a precipitação pluviométrica, particularmente no ponto P1.

Figura 14 - Distribuição temporal do pH nos afluentes em estudo

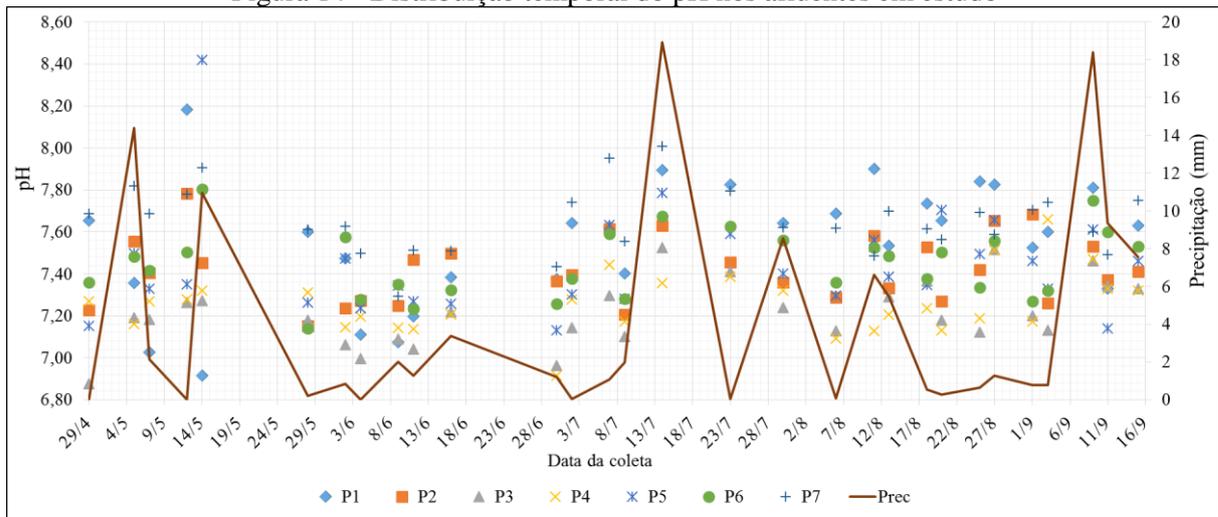
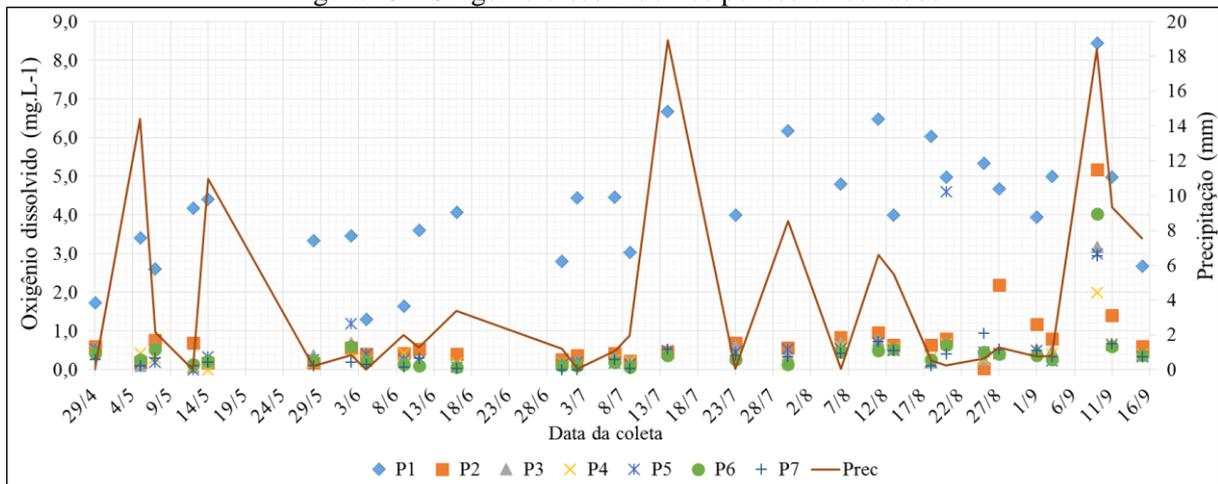


Figura 15 - Oxigênio dissolvido nos pontos amostrados



Conforme ilustrado na Figura 16, o ponto P1 apresentou valores de DBO predominantemente abaixo de 50 mg. L^{-1} , bem inferiores aos observados nos outros pontos, particularmente P4 e P5, que atingiram faixas de concentrações típicas de esgotos sanitários. O ponto P1, localizado na porção de montante do canal é menos sujeito ao lançamento de esgotos que os pontos mais a jusante. Não foi possível estabelecer relação entre o comportamento da DBO com a pluviosidade.

A variação das concentrações da demanda química de oxigênio (DQO) é ilustrada na Figura 17, sendo observada a relação inversa entre este indicador e o OD. Analogamente ao que ocorreu com a DBO, o ponto P1 apresentou os menores valores de DQO, tipicamente abaixo de 300 mg. L^{-1} , por ser o ponto a montante das contribuições. Na Figura 17, pode ser verificado que a pluviosidade tende a influenciar negativamente os valores de DQO, os quais

apresentaram variação temporal ampla atingindo valores típicos de esgotos sanitários, particularmente nos pontos P4 e P5.

Figura 16 - Concentração da BDO afluente ao Canal do Prado

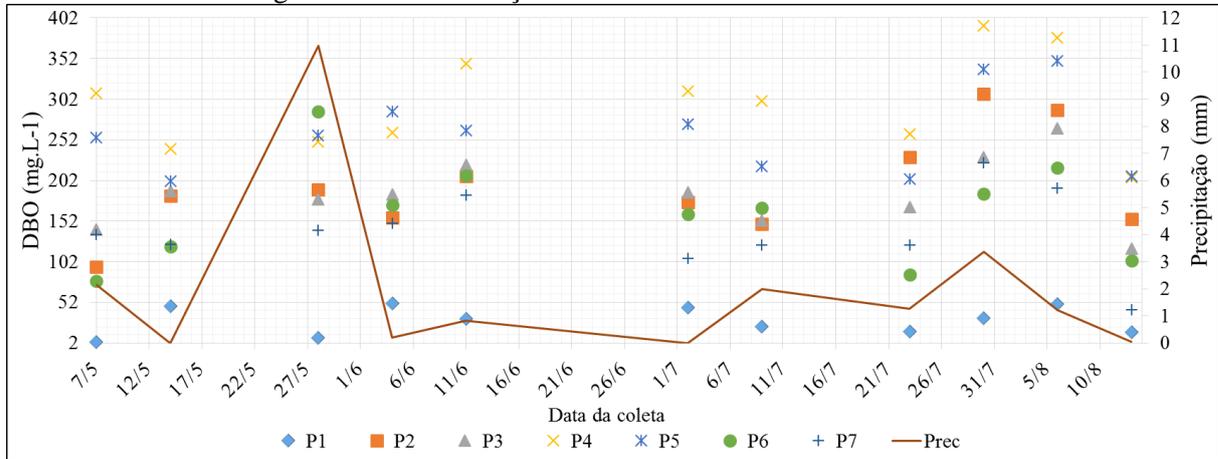
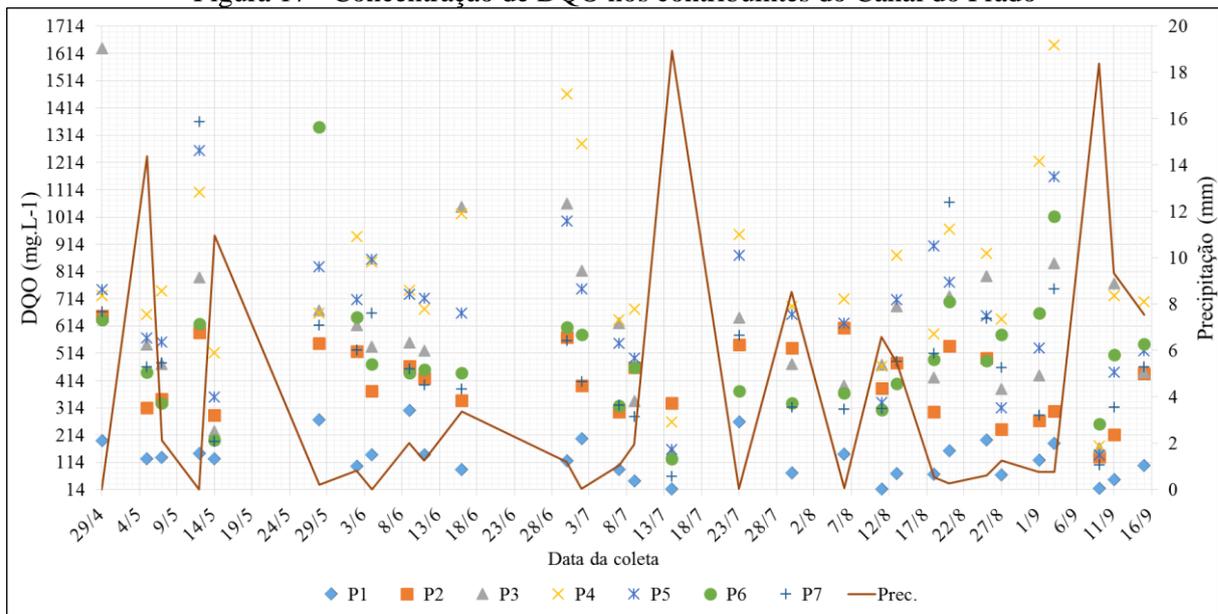
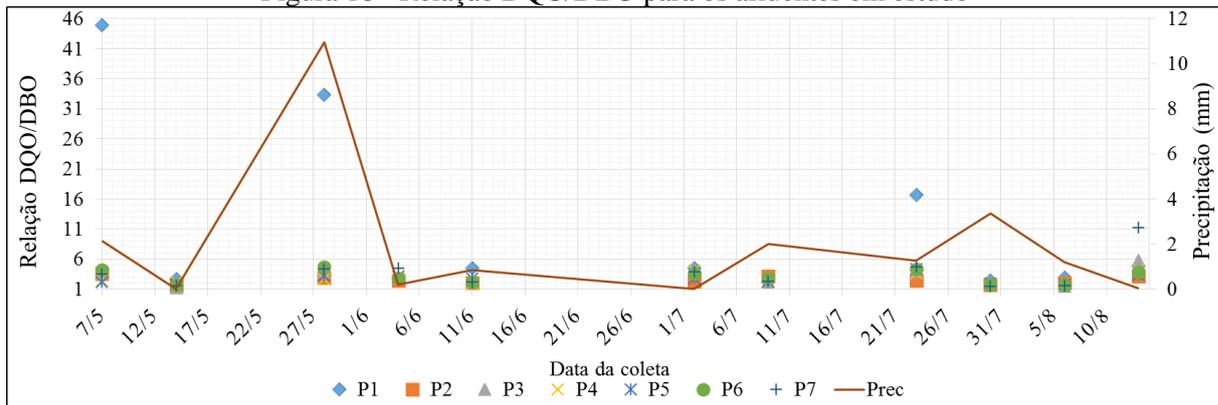


Figura 17 - Concentração de DQO nos contribuintes do Canal do Prado



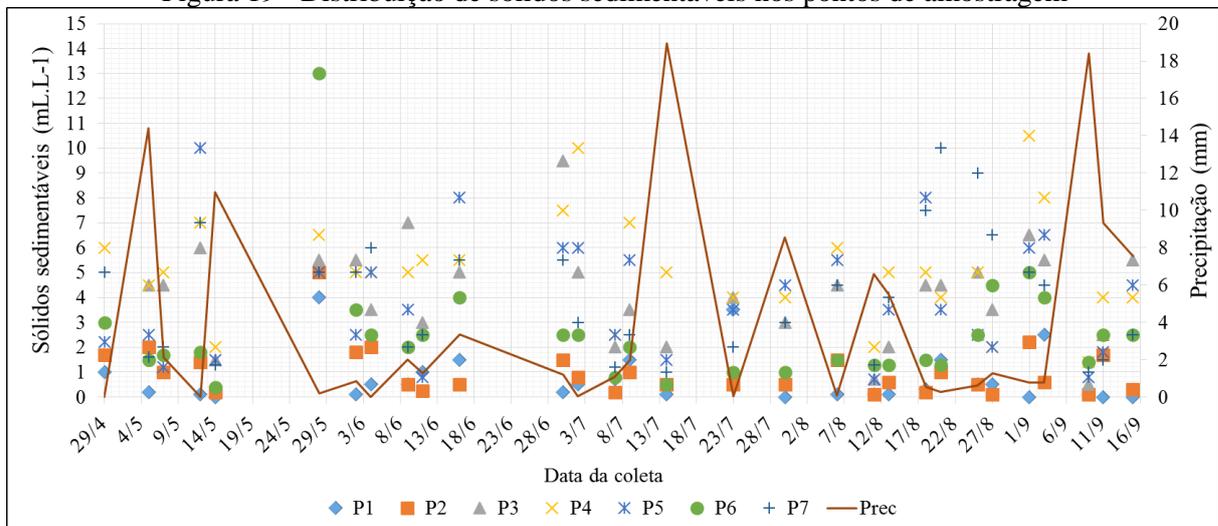
Para a relação DQO/DBO (Figura 18) ocorreram, ocasionalmente, valores extremos somente para o ponto P1, refletindo os mais baixos níveis de matéria orgânica biodegradável. De modo geral, nos outros pontos, mais impactados por esgotos sanitários, essa relação se manteve entre 1 e 6. Não foi possível estabelecer associação entre a relação DQO/DBO e a pluviosidade.

Figura 18 - Relação DQO/DBO para os afluentes em estudo



Com relação à concentração de sólidos sedimentáveis (Ssed), conforme ilustrado na Figura 19, houve uma significativa variação entre os pontos, sendo que P1, P2 e P6, apresentaram os menores valores, contrastando particularmente com os pontos P4 e P5. Aparentemente, as variações de Ssed estão associadas inversamente às variações da pluviosidade.

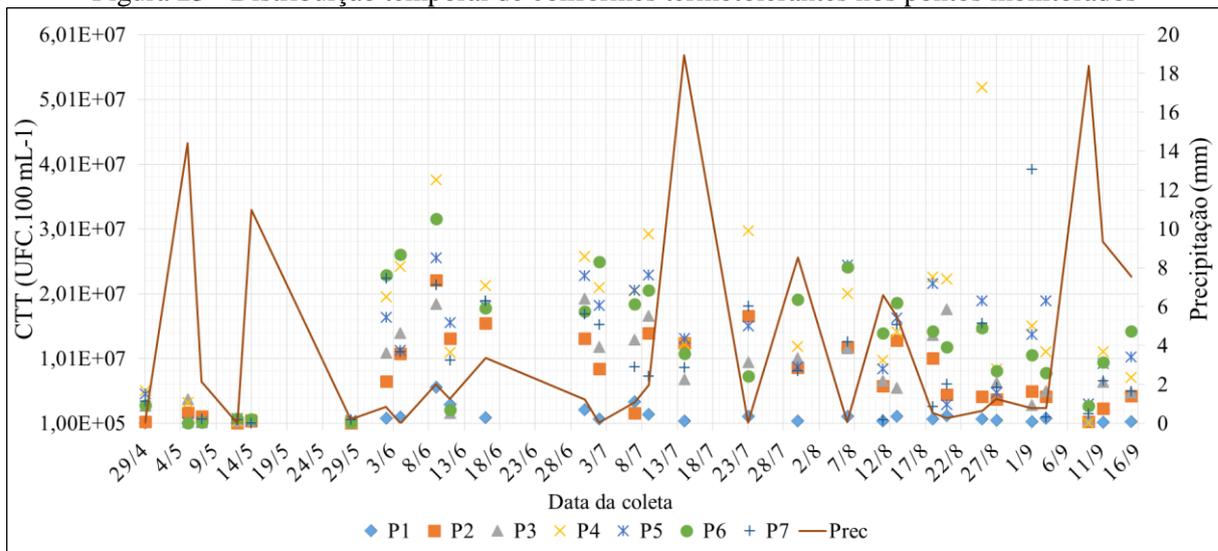
Figura 19 - Distribuição de sólidos sedimentáveis nos pontos de amostragem



As variações de sólidos suspensos totais (Figura 20), voláteis (Figura 21) e fixos (Figura 22) apresentaram, em todos os pontos, comportamento análogo ao das variações e sólidos sedimentáveis, sendo também bastante evidente a relação inversa com a pluviosidade. Nos pontos P4 e P5 as concentrações de SST e SSV foram as mais expressivas, comparáveis às de esgotos sanitários.

As concentrações de coliformes termotolerantes (Figura 23) variaram entre as ordens de 10^5 e 10^7 , demonstrando a existência de associação entre a qualidade das águas do sistema de macrodrenagem e o lançamento de esgotos sanitários. O ponto P1 apresentou os menores valores de CTT, já os demais pontos, particularmente o P4, apresentaram valores bem maiores, típicos de águas residuárias domésticas. Também, foi verificada associação inversa entre a pluviosidade e a variação desses indicadores de contaminação fecal.

Figura 23 - Distribuição temporal de coliformes termotolerantes nos pontos monitorados



A Tabela 1 mostra a distribuição temporal das frequências de positividade de *Escherichia coli* em 10% das colônias de coliformes termotolerantes. Nessa tabela, os numeradores significam as colônias positivas para *E. coli* e os denominadores as colônias analisadas. Os resultados demonstraram a presença de *E. coli* em praticamente todos os testes realizados, indicando que a maioria dos CTT analisados tem as fezes humanas e de animais de sangue quente como fontes.

Tabela 1 - Distribuição temporal da frequência de *E. coli* a partir das colônias de CTT

DATA	Frequência de <i>E. coli</i> em 10% do número de colônias de CTT						
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
30/06/2014	5/5	2/3	3/4	4/5	2/5	4/4	4/4
02/07/2014	2/2	2/2	2/3	4/5	3/4	6/7	2/3
07/07/2014	6/7	1/1	2/3	5/5	5/5	4/4	2/2
09/07/2014	3/3	2/3	4/4	5/6	2/5	4/5	½
14/07/2014	1/1	3/3	2/2	3/3	2/3	2/2	2/2
23/07/2014	3/3	3/4	2/2	6/7	3/4	1/2	4/4
30/07/2014	1/1	2/2	2/2	3/3	3/3	3/4	2/2
06/08/2014	3/3	2/2	3/3	4/4	3/5	6/6	3/3
11/08/2014	1/1	2/2	2/2	2/2	2/2	3/4	1/1
13/08/2014	4/4	3/3	1/2	4/4	4/4	4/4	4/4
18/08/2014	2/2	2/2	3/3	5/5	5/5	3/3	1/1
20/08/2014	3/3	1/1	3/4	5/6	0/1	3/3	0/1
25/08/2014	2/2	1/1	3/3	10/10	4/4	4/5	4/4
27/08/2014	2/2	1/1	2/2	2/2	1/1	1/2	1/1
01/09/2014	1/1	1/1	1/1	3/3	3/3	2/2	6/9
03/09/2014	1/2	1/1	1/1	3/3	4/4	2/2	1/1
09/09/2014	1/1	1/1	2/2	1/1	6/7	5/6	¾
11/09/2014	1/1	1/1	2/2	2/2	1/2	3/3	½
15/09/2014	1/1	1/1	1/1	2/2	3/3	4/4	1/1
17/09/2014	1/1	1/1	2/2	2/2	3/3	1/2	2/2

Para a apresentação da estatística descritiva foram escolhidos apenas os indicadores OD, DBO, DQO, SST, SSV e CTT, tendo em vista que estes reúnem um conjunto de informações mais relevantes para o estudo proposto. Conforme ilustrado na Tabela 2, os valores médios destes indicadores para os pontos P4 e P5 se apresentaram similares aos de esgoto sanitário bruto. Para a DBO, por exemplo, foram encontrados valores acima de 200 mg.L⁻¹, caracterizada tipicamente como de esgotos sanitários, conforme estabelecido por Jordão e Pessôa (2009) e Metcalf e Eddy (2004). Os resultados para DQO confirmam ainda mais a contaminação por esgotos, particularmente por apresentar, na maioria dos pontos amostrados, valores acima de 400 mg.L⁻¹, valor típico de esgoto sanitário classificado (Ibid.) como fraco.

Os valores médios de SST indicam o grande carreamento de material particulado para o leito do canal em estudo, sendo os principais contribuintes os pontos P3, P4 e P5. Situação similar foi verificada para os SSV. É importante ressaltar que os SSV também podem ser utilizados como indicadores de matéria orgânica na ausência de outro mais confiável, portanto, neste trabalho, ele tem um papel importante, quando comparado com os resultados de DBO e DQO, apresentando comportamento semelhante a estes. Os resultados para sólidos em

suspensão são comparáveis aos de esgotos *in natura*, entre fraco e forte, conforme Jordão e Pessôa (2009). As concentrações de SST, aqui verificadas, foram comparáveis às apresentadas pela Water Security Agency (WSA, 2014) para água de drenagem urbana de uma província no Canadá, que variaram entre 129 e 350 mg.L⁻¹.

A concentração de CTT se apresentou de forma mais expressiva para os pontos P4, P5 e P6, com valores médios da ordem de 10⁷, com a maioria mantida acima de 10⁶, o que já é característico para esgotos domésticos *in natura*, conforme Jordão e Pessôa (2009), que apresentam valores entre 10⁶ e 10⁹. Quando comparados aos valores para águas de drenagem, conforme apresentado por Alberta (1999), WSA (2014) e Coelho et al. (2012) foi verificado que, na maioria dos pontos monitorados, os resultados se sobressaem, indicando a situação particular da prevalência de esgoto sanitário.

Os desvios padrões, estimados para todos os indicadores analisados e para todos os pontos monitorados, mostram que a variância do conjunto de dados é relativamente baixa, tendo em vista que os mesmos se aproximam das respectivas médias.

Os resultados aqui analisados também indicam uma tendência de piora espaço-temporal, de montante para jusante, do cenário de poluição do sistema em estudo, notadamente pelos valores máximos, em especial às concentrações de matéria orgânica (DBO, DQO e SSV) e coliformes termotolerantes. Os CTT, de maneira particular, por estarem associados à presença de contaminação predominantemente fecal, se traduzem num alto risco para a saúde ambiental.

Para a análise de variância (ANOVA) também foram selecionados os indicadores considerados mais relevantes, temperatura, pH, OD, DBO, DQO, SST, SSV e CTT. A partir da referida análise foi verificado que todos esses apresentaram diferença significativa, ou seja, o valor da estatística **F** foi maior que o **Fcrítico**, sendo necessária a aplicação do método GT-2 para ilustrar tais diferenças, conforme a Figura 24.

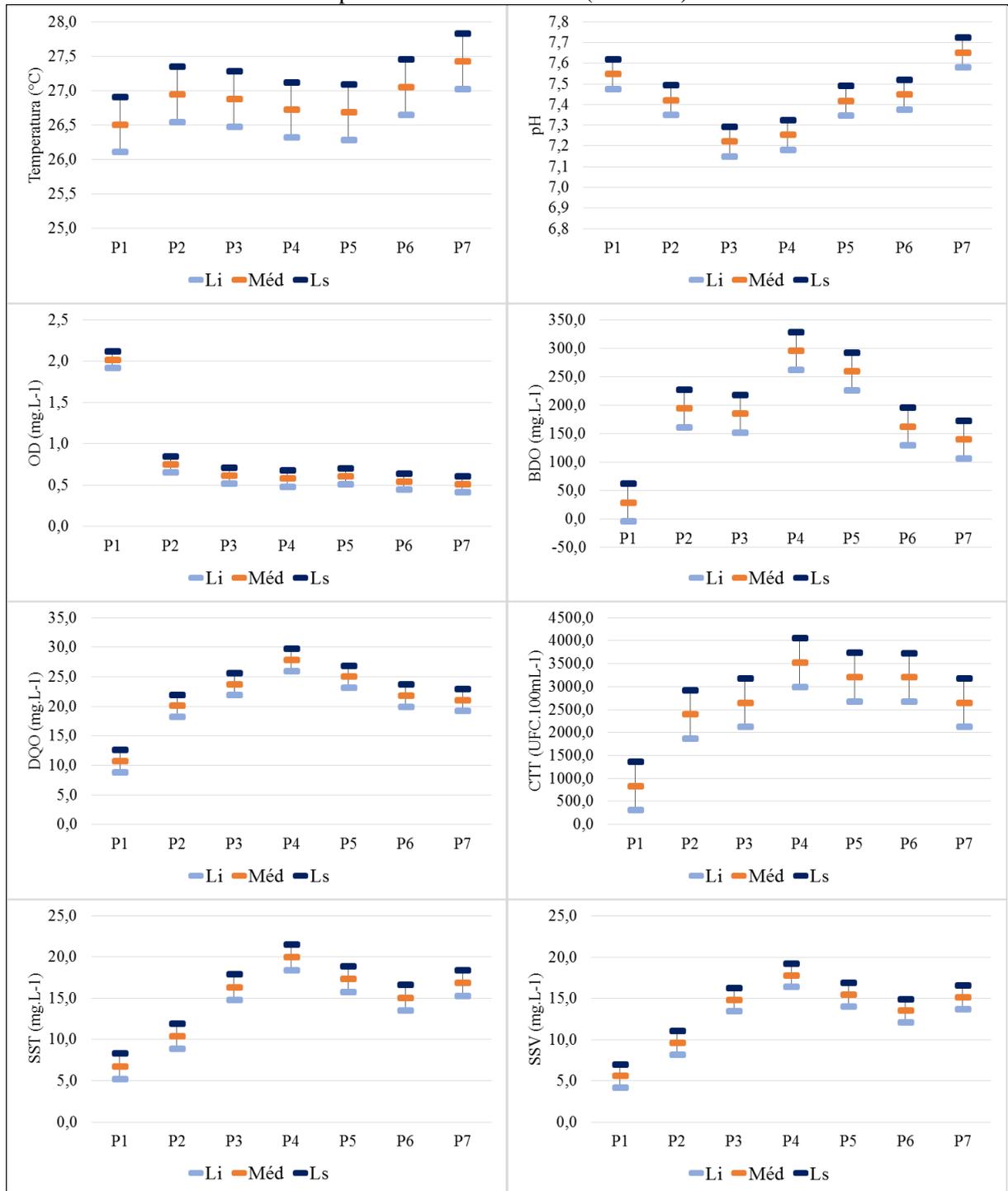
Através da referida figura são ilustrados os pontos com as maiores diferenças para cada indicador. Para o OD, por exemplo, ocorreu diferença entre o ponto P1 e os demais pontos, o que pode estar associado ao lançamento de esgotos sanitários. Também são apresentados os pontos com maior contribuição de esgotos, os pontos P3, P4 e P5 para a DQO, os pontos P4 e P5 para a DBO, e os pontos P4, P5 e P6 para os coliformes termotolerantes.

Tabela 2 - Parâmetros descritivos dos indicadores físico-químicos e microbiológicos monitorados

VARIÁVEL	PONTO	N	MÉD	DP	MÍN	MÁX
OD (mg.L⁻¹)	P1	30	4,07	0,16	1,3	8,4
	P2	30	0,57	0,06	0,0	1,4
	P3	30	0,38	0,03	0,1	0,8
	P4	30	0,33	0,03	0,0	0,7
	P5	30	0,37	0,06	0,0	1,2
	P6	30	0,30	0,03	0,1	0,6
	P7	30	0,26	0,06	0,0	0,9
DBO (mg.L⁻¹)	P1	11	29	18	3	51
	P2	11	194	62	96	308
	P3	11	185	42	118	266
	P4	11	296	59	205	392
	P5	11	259	51	201	349
	P6	11	163	63	78	287
	P7	11	140	48	43	224
DQO (mg.L⁻¹)	P1	30	115	12	15	303
	P2	30	403	11	133	652
	P3	30	564	27	152	1063
	P4	30	776	32	175	1646
	P5	30	626	29	142	1258
	P6	30	476	20	126	1016
	P7	30	444	29	63	1068
SST (mg.L⁻¹)	P1	30	45	6	1	137
	P2	30	108	4	37	194
	P3	30	266	16	89	607
	P4	30	398	24	105	813
	P5	30	300	18	94	712
	P6	30	227	14	77	540
	P7	30	284	26	107	751
SSV (mg.L⁻¹)	P1	30	31	4	0	101
	P2	30	92	4	25	189
	P3	30	220	14	59	503
	P4	30	316	18	69	590
	P5	30	238	15	61	586
	P6	30	182	12	57	413
	P7	30	229	24	67	671
CTT (UFC.100 mL⁻¹)	P1	30	6,95E+05	2,25E+05	8,33E+03	3,38E+06
	P2	30	5,72E+06	1,55E+06	1,00E+05	2,22E+07
	P3	30	7,02E+06	1,54E+06	2,50E+05	1,93E+07
	P4	30	1,24E+07	2,86E+06	1,00E+05	3,77E+07
	P5	30	1,03E+07	2,13E+06	2,17E+05	2,57E+07
	P6	30	1,02E+07	2,38E+06	1,67E+05	3,17E+07
	P7	30	7,02E+06	2,00E+06	5,67E+04	2,25E+07

Nota: **N** – Tamanho amostral, **MÉD** – Média, **DV** – Desvio padrão, **MÍN** – Mínimo e **MÁX** – Máximo.

Figura 24 - Comparação gráfica (Método GT-2) para os indicadores físico-químicos e microbiológicos selecionados para análise de variância (ANOVA) de um fator

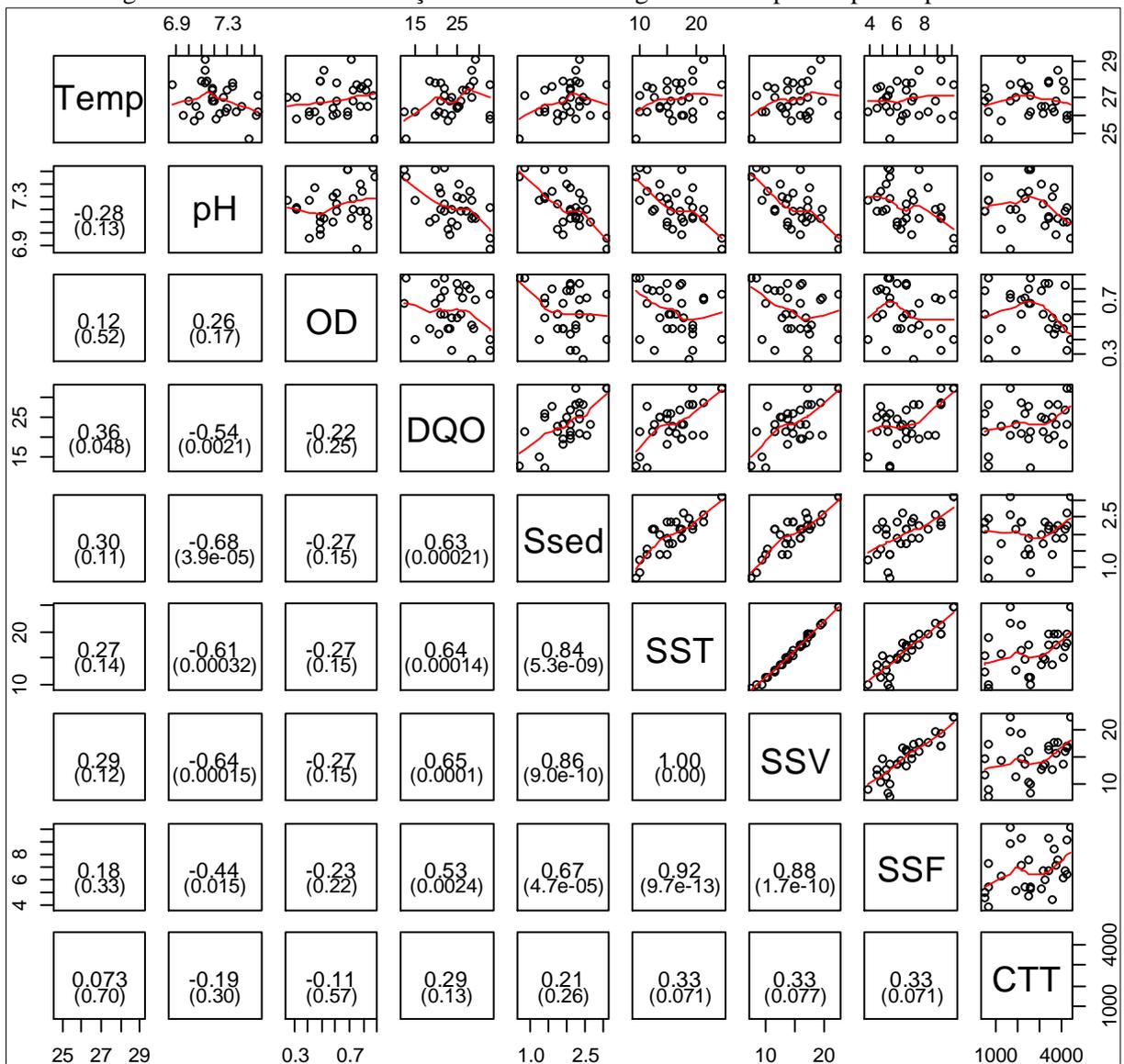


Nota: Li – Limite inferior, Méd – Média, Ls – Limite superior.

Para a análise de correlação de Pearson, foram selecionados os pontos P3, P4 e P5, por apresentarem valores mais significativos para os indicadores físico-químicos e microbiológicos, demonstrando maior frequência de contaminação de origem fecal, conforme ilustrado na Figura 24.

No ponto P3 foi verificada correlação positiva entre a DQO e as diversas frações de sólidos (Figura 25), isto indica que os sólidos contidos nos efluentes analisados possuem, em sua constituição, material orgânico. Foi verificada a ocorrência de correlação positiva entre Ssed e as frações de sólidos suspensos. É importante ressaltar que a significância da correlação é atribuída a partir da comparação do p-valor (valores entre parênteses) com o valor do nível de significância ($\alpha = 0,05$) adotado para essa análise. Já a correlação negativa, entre o pH e DQO, SST, SSV e SSF, pode estar relacionada à produção de ácidos orgânicos, gerado a partir da digestão anaeróbia do material carbonáceo presente nas águas analisadas. Nos diagramas de dispersão (parte superior da matriz) são ilustradas as correlações entre os indicadores.

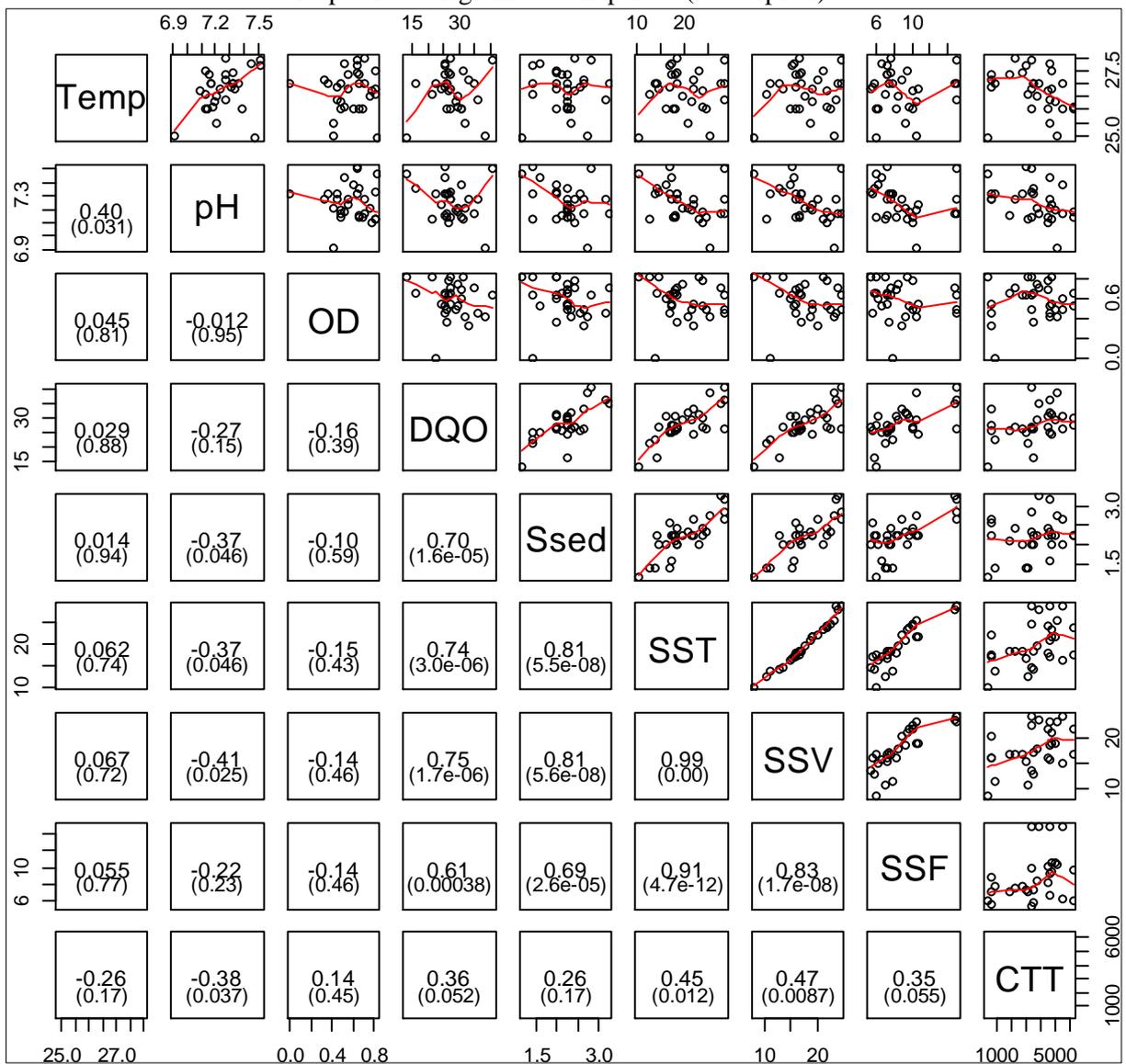
Figura 25 - Matriz de correlação de Pearson e diagrama de dispersão para o ponto P3



Nota: O valor superior é o coeficiente de correlação de Pearson r e o valor entre parênteses é o p-valor.

Para o ponto P4 (Figura 26), é constatado que também houve correlação significativa positiva entre a DQO e todas as frações de sólidos, ou seja, os lançamentos de esgotos no canal em estudo constituem-se de material carbonáceo particulado, apresentando-se na forma de sólidos. Há correlação significativa negativa entre o pH e os CTT, o que já era esperado devido a ação natural do aumento do primeiro sobre a morte de bactérias. A correlação entre o pH e os Ssed, SST e SSV, também pode justificar-se pela formação de ácidos orgânicos, muito embora a DQO não esteja incluída nesta correlação. Os CTT se correlacionaram positivamente com todas as frações de sólidos suspensos, isto aponta para uma contaminação antrópica rica em material fecal particulado, notadamente na forma de sólidos.

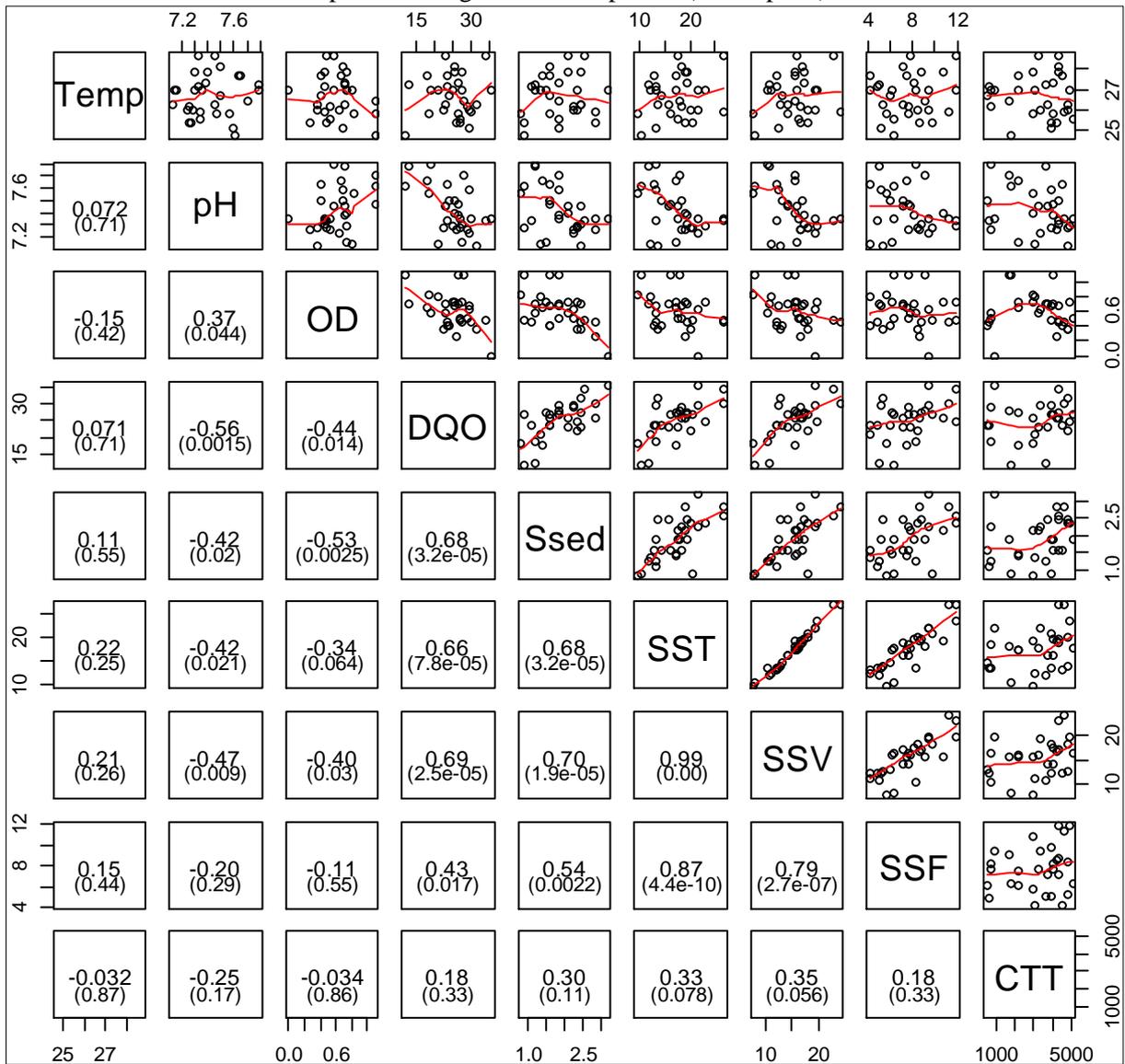
Figura 26 - Coeficientes de correlação de Pearson entre variáveis selecionadas no Ponto P4 e respectivos diagramas de dispersão (scatterplots)



Nota: O valor superior é o coeficiente de correlação de Pearson r e o valor entre parênteses é o p-valor.

A Figura 27 ilustra o comportamento dos indicadores no ponto P5, sendo observadas correlações semelhantes aos pontos P3 e P4, para a DQO e as frações de sólidos, também pelos motivos já apresentados. Houve correlação significativa negativa entre o OD e DQO, Ssed, SST e SSV, sendo uma situação natural, tendo em vista que na decomposição da matéria orgânica há o consumo de oxigênio pelos organismos decompositores que, em função da elevada carga poluidora provocam a exaustão de todo o oxigênio. Também foi verificada correlação significativa negativa entre ao pH e DQO, Ssed, SST e SSV, semelhante ao ponto P4, por motivos discutidos anteriormente.

Figura 27 - Coeficientes de correlação de Pearson entre as variáveis analisadas no ponto P5 e os respectivos diagramas de dispersão (scatterplots)



Nota: O valor superior é o coeficiente de correlação de Pearson r e o valor entre parênteses é o p-valor.

4.3 INDICADOR PARASITOLÓGICO

A Tabela 3 apresenta as frequências de identificação de ovos de helmintos nos pontos de monitoração. Os helmintos mais prevalentes foram *Ascaris lumbricoides*, *Hymenolepis nana*, *Enterobius vermicularis* e *Ancilostomideo sp*, enquanto o menos prevalente foi o *Trichuris sp*. Na maioria dos pontos, os helmintos mais prevalentes se apresentaram em mais de 50% das amostras, num total de 20 campanhas de coleta. Os pontos de amostragem com maior frequência para estes indicadores foram P2, P3, P4 e P5. Estas frequências estão associadas ao lançamento de esgotos sanitários no sistema de drenagem, ensejando a proliferação de doenças infecciosas que acometem o trato intestinal de organismos humanos e de outros animais.

Tabela 3 - Distribuição da frequência dos ovos de helmintos nos pontos monitorados

GÊNERO/ESPÉCIE	FREQUÊNCIA (%)						
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
<i>Ascaris lumbricoides</i>	55	70	80	80	70	55	70
<i>Taenia sp</i>	20	20	20	25	15	15	15
<i>Hymenolepis nana</i>	35	55	55	35	55	65	35
<i>Hymenolepis diminuta</i>	35	30	30	20	15	20	30
<i>Enterobius vermicularis</i>	35	50	70	50	50	55	55
<i>Ancilostomideo sp</i>	25	60	75	65	60	45	50
<i>Trichuris sp</i>	15	15	10	20	15	0	5

Na Tabela 4 são apresentadas as frequências absolutas, distribuídas por faixas para cada helminto analisado e em cada ponto amostrado. Essas faixas de frequências foram definidas com base em metodologia estatística apropriada, tendo sido levados em conta os limites máximos e mínimos dos dados, bem como os números destes. Houve grande variabilidade dos dados, particularmente por se tratar de parasitas cuja ocorrência está condicionada, principalmente, à presença em fezes de indivíduos parasitados pelo organismo adulto.

Mesmo apresentando grande ocorrência de valor nulo, grande atenção deve ser dada a esses parasitas, pois eles apresentam dose infectante baixa. Os resultados aqui verificados são comparáveis aos apresentados por Jiménez (2008), para esgotos domésticos em países como México, Estados Unidos, Ucrânia, França e outros.

Ovos de *Ascaris lumbricoides* foram os que apresentaram os maiores valores, notadamente no ponto P7, ponto situado mais a jusante para o qual tendem a convergir as influências das várias contribuições afluentes ao Canal do Prado. Também é importante destacar que, embora o ponto P1 seja admitido como “sem contribuição de esgotos”, este apresentou frequência para todos os ovos de helmintos, especialmente *A. lumbricoides*, ocorrendo em mais de 50% das campanhas de coleta, em concentração relativamente alta. Vale ressaltar que dentre os parasitas analisados, ele é o mais comumente encontrado no trato intestinal humano nas regiões de clima tropical do mundo.

Em geral, o número de ovos de helmintos se apresentou com maior frequência entre 1 e 25 ovos.L⁻¹, sendo poucas as ocorrências acima de 50 ovos.L⁻¹. Dentre todos os helmintos analisados, o máximo foi de 124 ovos.L⁻¹, para *Ascaris lumbricoides* no ponto P7.

Os valores de ovos de helmintos, apresentados neste trabalho, para o Canal do Prado, também se enquadram na região de menor concentração da faixa de valores típicos para esgoto sanitário (10-1000 ovos.L⁻¹) citada por Blumenthal et al. (2000) e Metcalf e Eddy (2004).

Para avaliar a influência da pluviosidade na concentração desses parasitas foram elaborados gráficos para representar a distribuição dos ovos de helmintos em cada ponto de monitoração ao longo das 20 campanhas de coleta. A pluviosidade está representada por uma linha sólida, conforme ilustrado nas Figuras 28 e 29.

A Figura 28 apresenta os gráficos de P1 a P4, sendo verificada uma forte relação inversa entre a pluviosidade e a concentração de ovos de helmintos em todos os pontos. Isto pode ser atribuído à diluição provocada pelo aumento da vazão de água escoada no canal em estudo e nos seus afluentes.

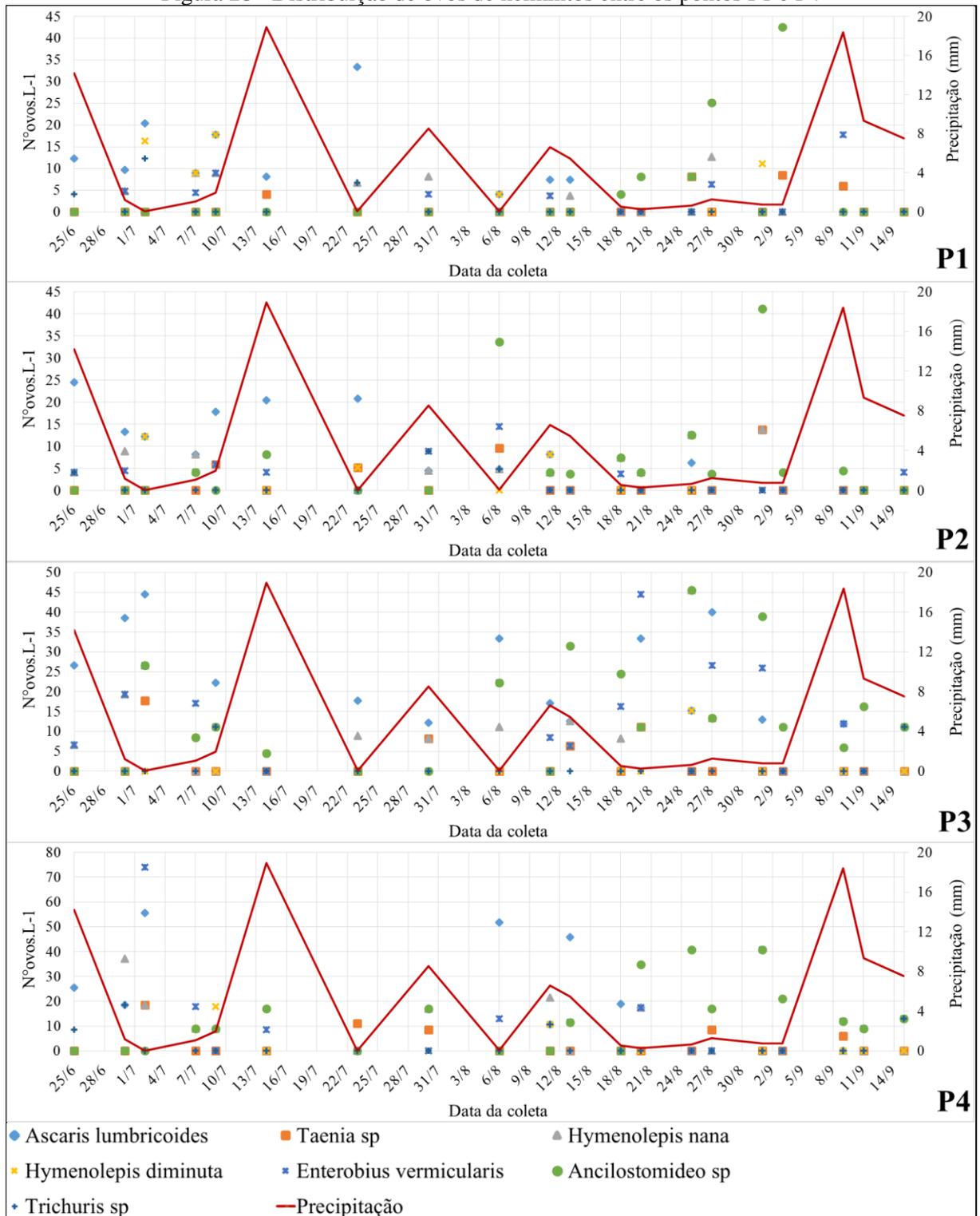
A partir da referida figura, também é possível observar quais os parasitas que ocorrem em maior concentração e em quais pontos, indicando os afluentes mais responsáveis pelas contribuições fecais.

Tabela 4 - Distribuição da frequência absoluta de ovos de helmintos por faixas

PONTO	FAIXA DE FREQUÊNCIA	FREQUÊNCIA ABSOLUTA						
		OVOS DE HELMINTOS ANALISADOS						
		Asc	Tae	Hn	Hd	Ent	Anc	Tric
P1	0	9	16	13	13	13	15	17
	1 — 25	10	4	7	7	7	3	3
	25 — 50	1	0	0	0	0	2	0
	50 — 75	0	0	0	0	0	0	0
	75 — 100	0	0	0	0	0	0	0
	100 — 125	0	0	0	0	0	0	0
P2	0	6	16	9	14	10	8	17
	1 — 25	14	4	11	6	10	10	3
	25 — 50	0	0	0	0	0	2	0
	50 — 75	0	0	0	0	0	0	0
	75 — 100	0	0	0	0	0	0	0
	100 — 125	0	0	0	0	0	0	0
P3	0	4	16	9	14	6	5	18
	1 — 25	10	4	9	6	10	11	2
	25 — 50	6	0	2	0	4	4	0
	50 — 75	0	0	0	0	0	0	0
	75 — 100	0	0	0	0	0	0	0
	100 — 125	0	0	0	0	0	0	0
P4	0	4	15	13	16	10	7	16
	1 — 25	12	5	6	4	8	10	4
	25 — 50	2	0	1	0	1	3	0
	50 — 75	2	0	0	0	1	0	0
	75 — 100	0	0	0	0	0	0	0
	100 — 125	0	0	0	0	0	0	0
P5	0	6	17	9	17	10	8	17
	1 — 25	5	3	9	2	9	8	3
	25 — 50	9	0	2	1	1	4	0
	50 — 75	0	0	0	0	0	0	0
	75 — 100	0	0	0	0	0	0	0
	100 — 125	0	0	0	0	0	0	0
P6	0	9	17	7	16	9	11	20
	1 — 25	9	3	12	3	10	7	0
	25 — 50	2	0	1	1	1	1	0
	50 — 75	0	0	0	0	0	1	0
	75 — 100	0	0	0	0	0	0	0
	100 — 125	0	0	0	0	0	0	0
P7	0	6	17	13	14	9	10	19
	1 — 25	10	3	6	6	8	8	1
	25 — 50	3	0	1	0	3	2	0
	50 — 75	0	0	0	0	0	0	0
	75 — 100	0	0	0	0	0	0	0
	100 — 125	1	0	0	0	0	0	0

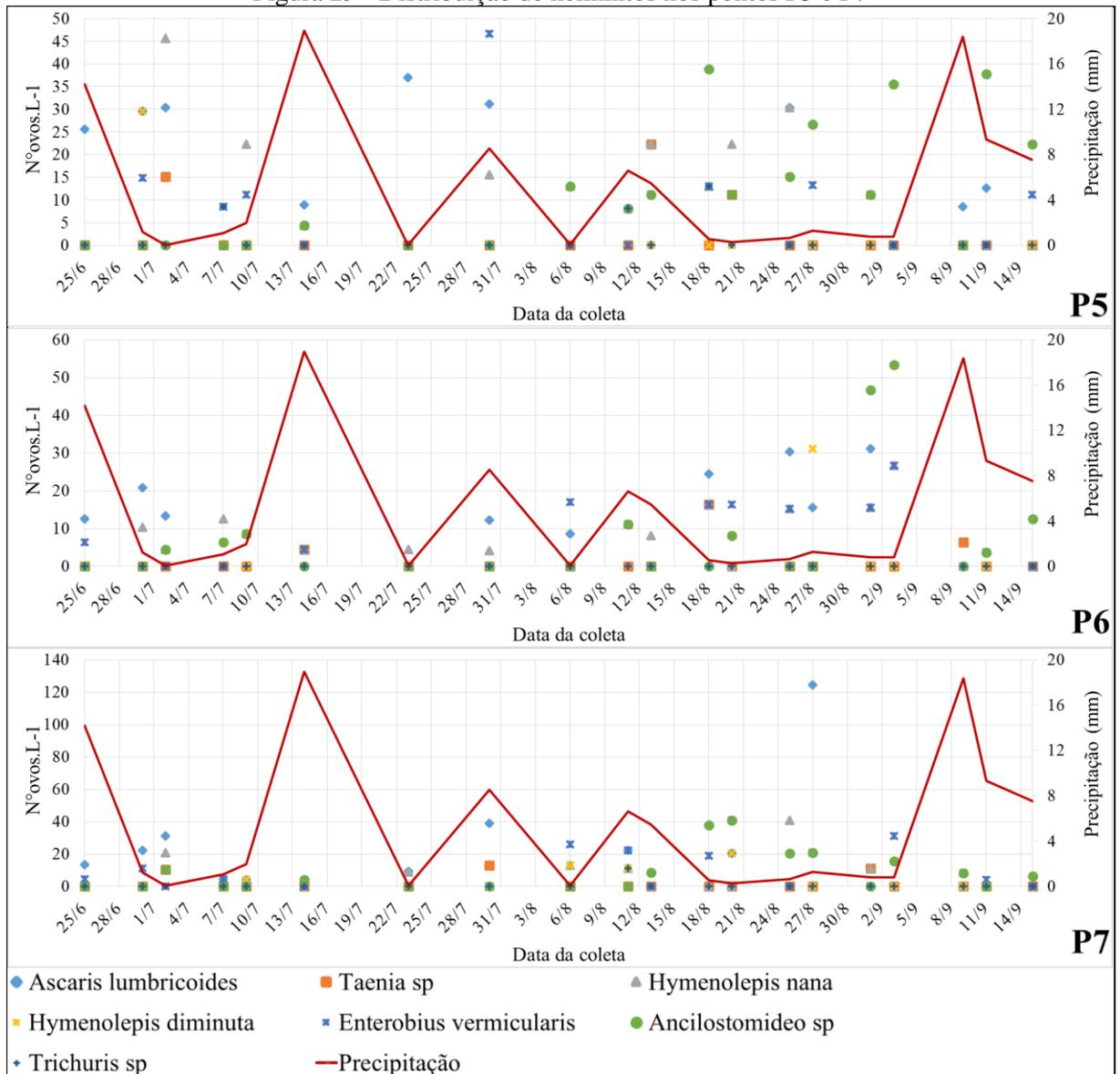
Nota: **Asc** – *Ascaris lumbricoides*, **Tae** – *Taenia* sp, **Hn** – *Hymenolepis nana*, **Hd** – *Hymenolepis diminuta*, **Ent** – *Enterobius vermicularis*, **Anc** – *Ancilostomideo* sp, **Tric** – *Trichuris* sp.

Figura 28 - Distribuição de ovos de helmintos entre os pontos P1 e P4



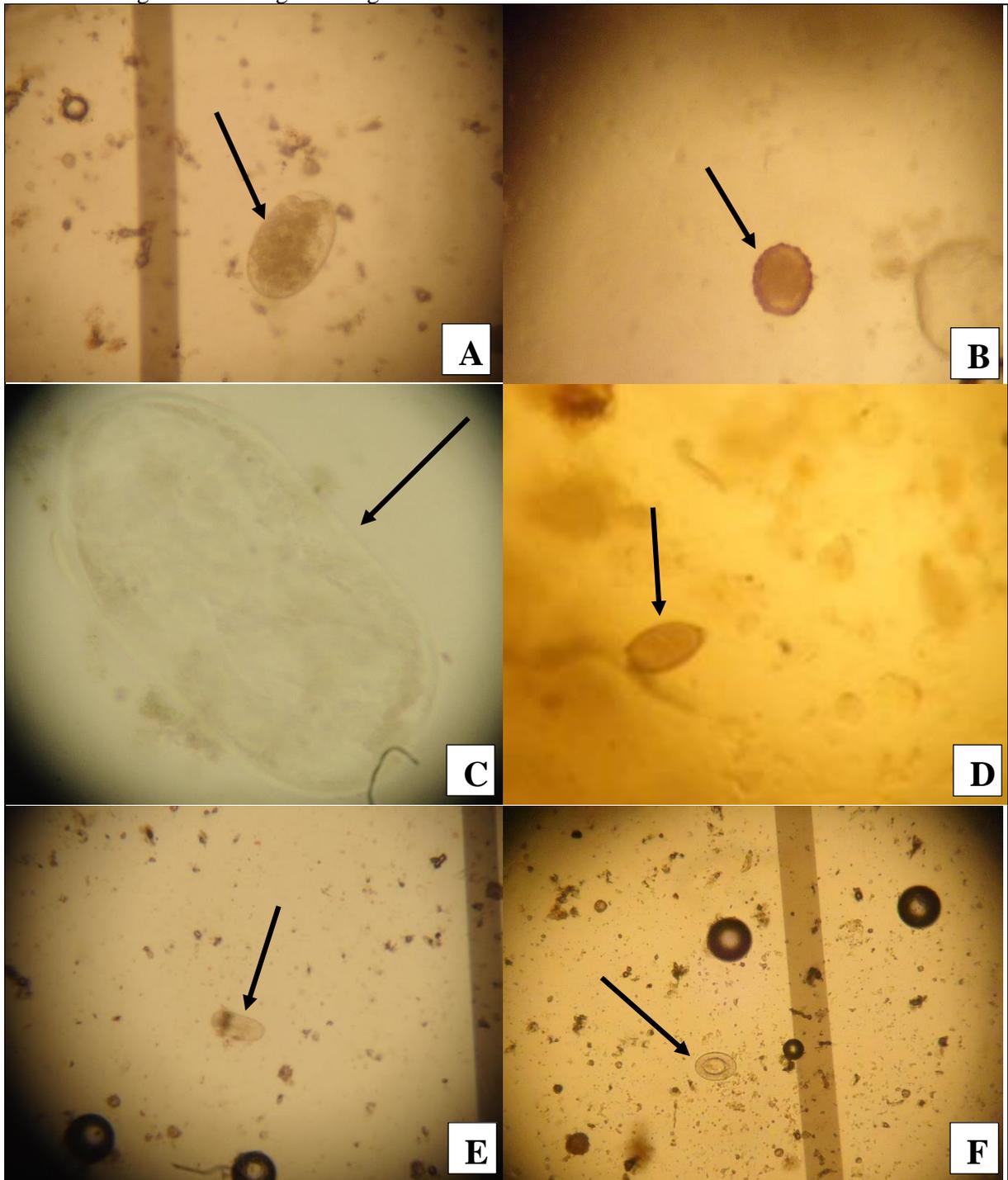
A Figura 29 ilustra o comportamento das concentrações de helmintos frente à pluviosidade para os pontos P5, P6 e P7, tendo sido observado comportamento semelhante aos dos demais pontos, conforme analisado previamente.

Figura 29 - Distribuição de helmintos nos pontos P5 e P7



Na Figura 30 são ilustrados alguns ovos de helmintos estudados nesta pesquisa. Estas imagens foram feitas a partir de fotografia diretamente na ocular do microscópio óptico, utilizado nas análises desses parasitas.

Figura 30 - Fotografias registradas durante as análises dos helmintos estudados



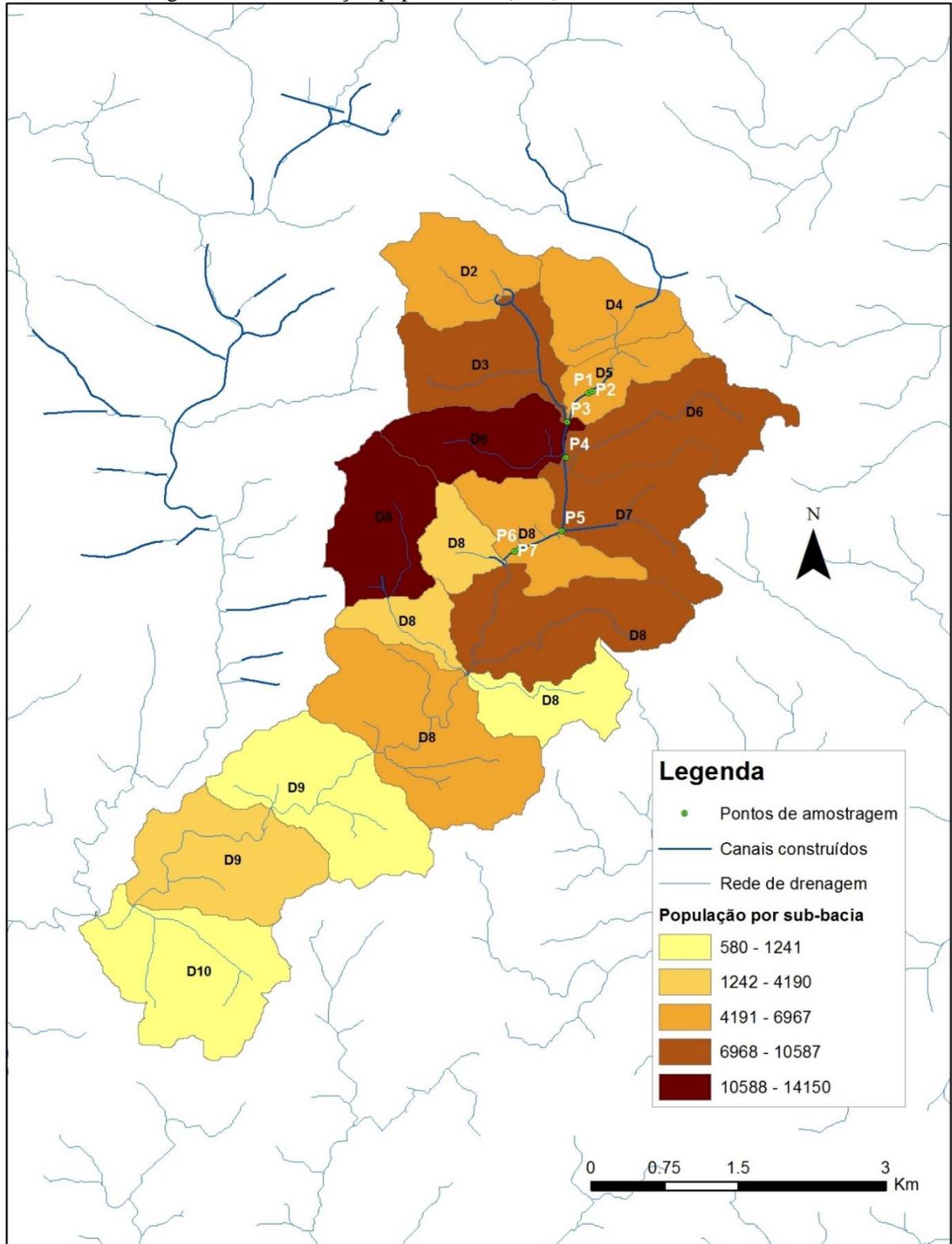
Nota: **A** – *Necator americanus*, **B** – *Ascaris lumbricoides*, **C** – *Ancilostomideo* sp, **D** – *Trichuris* sp, **E** – *Enterobius vermicularis*, **F** – *Hymenolepis nana*. Fotografias registradas em lentes objetivas de 10x.

4.4 DISTRIBUIÇÃO POPULACIONAL POR SUB-BACIA

A Figura 31 ilustra a distribuição populacional nas sub-bacias pertencentes à Bacia Urbana do Prado, sendo possível indicar quais foram as que mais contribuíram para a contaminação das águas de drenagem por esgotos sanitários, além de relacionar esta

contaminação com o número de habitantes por área drenada. De acordo com o posicionamento de cada ponto, também é possível estabelecer, para estudos futuros, relações entre a qualidade das águas drenadas nas sub-bacias e os fatores antrópicos e ambientais que as influenciam.

Figura 31 - Distribuição populacional (hab.) na Bacia Urbana do Prado



5.0 DISCUSSÃO

A qualidade das águas de drenagem analisadas nesta pesquisa se apresenta muito inferior quando comparada com as de outras cidades brasileiras e até mesmo do mundo, particularmente pelos indicadores de matéria orgânica. Conforme apresentado anteriormente, os valores médios de DBO e DQO, na maioria dos pontos, foram acima de 140 mg.L^{-1} e 400 mg.L^{-1} , respectivamente. Estes valores quando comparados aos apresentados na Tabela 5, indicam alta carga de matéria orgânica presente em um sistema de drenagem urbana de águas pluviais, indicando o grande aporte de contaminantes, notadamente aqueles advindos de esgotos sanitários *in natura*. Esta situação ilustra uma realidade nacional, que vem ocorrendo na maioria das cidades, particularmente, naquelas que não possuem sistemas de esgotamento sanitário.

Tabela 5 - Valores máximos para DBO e DQO em água de drenagem no mundo e no Brasil

INDICADOR	Butler e Davies (2011)	Alberta (1999)	WSA (2014)	Laws (2000)	Campana e Bernardes (2010)	Righetto (2009)
DBO (mg.L^{-1})	7-22	49	18	17	-	-
DQO (mg.L^{-1})	20-365	511	121	111	84	400

Segundo Alberta (1999), para a cidade de Edmonton no Canadá, a concentração de coliformes termotolerantes nas águas de drenagem urbana foi da ordem de $1,22 \times 10^5 \text{ UFC.100mL}^{-1}$, e de acordo com a Water Security Agency (WSA, 2014), na província de Saskatchewan, também no Canadá, foram encontrados valores médios de $9,1 \times 10^4 \text{ UFC.100mL}^{-1}$ para o mesmo indicador. Conforme verificado nos resultados, praticamente todos os valores de CTT foram acima destes, indicando que as águas transportadas pelo Canal do Prado são constituídas, predominantemente, por águas residuárias.

No trabalho desenvolvido por Freire (2014), para outra bacia urbana do mesmo município (Canal das Piabas), as águas de drenagem foram caracterizadas como esgoto doméstico fraco, ou seja, sua qualidade foi superior àquelas analisadas nesta pesquisa. A partir destas informações é possível perceber que, embora haja contaminação das águas de drenagem por esgoto no sistema de drenagem urbana de águas pluviais de Campina Grande, a mesma não é distribuída uniformemente no sistema, já que as águas drenadas pela Bacia Urbana do Prado apresentaram valores para estes indicadores que permitem caracterizá-la como esgoto sanitário classificado como médio.

A presença de ovos de helmintos nas águas do Canal do Prado, indica contaminação fecal, e demonstra a ineficiência e fragilidade do sistema de drenagem urbana das águas pluviais, bem como do sistema de esgotamento sanitário concebido. Esta ocorrência representa risco a saúde pública, tendo em vista que parasitas desta natureza apresentam alta resistência a fatores ambientais, alta mobilidade e facilidade de contato com seres humanos e outros animais, tipicamente por via feco-oral.

A presença de tão elevada concentração de indicadores de contaminação fecal em um canal de água pluvial é um indicativo de contribuições clandestinas de esgotos, sendo estas responsáveis pelas principais fontes de poluição difusa nos corpos receptores. Estes mananciais, em sua grande maioria, são responsáveis pelo abastecimento humano de vários municípios e regiões metropolitanas. Para o caso em estudo, por exemplo, as águas do Canal do Prado são afluentes do Riacho Bodocongó, e por conseguinte, desaguam no Rio Paraíba, no qual está localizada a Barragem de Acauã, um dos mais importantes reservatórios do estado, responsável pelo abastecimento de algumas cidades da Mesorregião Agreste da Paraíba.

É importante destacar que a probabilidade da presença destes indicadores em canais de água pluvial ocorre em países desenvolvidos e em países em desenvolvimento. No entanto, a maior carga destes é predominante em países com baixo índice de saneamento básico.

A situação aqui apresentada está inserida numa problemática que ocorre em diversas cidades e regiões metropolitanas do Brasil e de alguns países em desenvolvimento, que é a falta de gestão das águas pluviais urbanas. Alguns países como Austrália, Canadá, Japão, entre outros, são exemplos para o resto do mundo por possuírem diretrizes e padrões, que dão linhas gerais de como deve ser realizada a gestão dessas águas. Como exemplo destes podem ser citados o Urban Stormwater Quality Planning Guidelines, do estado de Queensland, Austrália; Storm Water Standards, em San Diego, Estados Unidos; Stormwater Drainage Manual, Planning, Design and Management, Hong Kong na China. No Brasil a cidade de São Paulo, através da Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano, lançou em 2012 o Manual de drenagem e manejo de águas pluviais: gerenciamento do sistema de drenagem urbana (PMSP, 2012), o qual traz importantes diretrizes para o setor através de diversas informações referentes à legislação pertinente, planos de contingência, operação e controle de tais sistemas.

Através dos documentos supracitados é observado que tais diretrizes ou planos de ação contemplam vários aspectos importantes na gestão das águas pluviais urbanas, como, por exemplo, a legislação vigente, os códigos de conduta municipais ou planos diretores, aspectos como planos de contingências, risco de inundações, planejamento e controle de operações,

aspectos construtivos, entre outros, no entanto, sob o ponto de vista da qualidade destas águas pouco e/ou quase que nenhuma informação faz referência. Este contexto ilustra o descaso ou a não valoração que é dado à qualidade das águas de drenagem pluviais urbana, tendo em vista que estas têm grande influência no ciclo hidrológico, resultando em problemas ambientais, como o aumento das cargas poluidoras em mananciais, disseminação de doenças diarreicas, perda de ecossistemas aquáticos, entre outros, especialmente quando nessas águas estão contidos esgotos sanitários, como é caso aqui estudado.

Esta pesquisa e as desenvolvidas por Feire (2014) e Caminha (2014) ilustram a realidade do sistema de drenagem da cidade de Campina Grande, na qual o conceito do sistema separador absoluto foi sistematicamente destruído pela ocorrência de contribuições crescentes de esgotos para o sistema de águas pluviais e de águas pluviais para o sistema de esgotamento sanitário.

O sistema de esgotamento sanitário da cidade passa por diversos problemas, podendo ser citado o furto de esgoto, através de derivações feitas nos interceptores e emissário, por parte de agricultores, para irrigação de diversas culturas, bem como da significativa diminuição da vazão de esgotos que chega à ETE (GOMES, 2013). A principal consequência do funcionamento de dois sistemas de drenagem deficitários é uma maior prevalência de doenças, particularmente infecções por parasitas oportunistas e contaminação dos ecossistemas aquáticos.

Considerando que as águas de drenagem analisadas se apresentam bastante contaminadas com esgotos domésticos, que elas são dispostas diretamente em corpos receptores naturais e com base na Resolução CONAMA 430/2011 (BRASIL, 2011), foi constatado que os valores de temperatura e pH se apresentaram dentro do preconizado, mas DBO e sólidos sedimentáveis foram maiores que 120 mg.L^{-1} e 1 mL.L^{-1} , respectivamente, no ponto P7 (ponto a jusante de todos os lançamentos). Isto indica que a disposição destas águas pode causar maior impacto ao ambiente que as águas residuárias tratadas efluentes de ETE.

A partir do quadro apresentado surge a necessidade de se propor medidas capazes de eliminar ou mesmo mitigar tais impactos, através de ações simples, como um trabalho de sensibilização das populações inseridas na Bacia Urbana do Prado, mostrando para estas a real situação das águas de drenagem e como elas podem contribuir para o melhoramento das condições ambientais, não sendo conivente com o lançamento de resíduos líquidos e sólidos no leito do canal. Também neste contexto, a população é vista como um agente fiscalizador, tanto de si mesma, quanto do poder público, exigindo melhorias e denunciando, principalmente as ações clandestinas de lançamento ou de ligações de esgotos nos sistemas de drenagem urbana.

6.0 CONCLUSÕES

A partir deste trabalho é possível concluir que:

- De acordo com os indicadores analisados, as águas drenadas pela Bacia Urbana do Prado, apresentam características típicas de esgoto sanitário classificado como médio;
- Os resultados da qualidade das águas aqui analisadas indicam um alto perigo para as populações que residem próximas a estes canais, principalmente para aquelas que estão a jusante, nas áreas periurbanas, que tendem a fazer uso de quaisquer águas para cultivo agrícola e outras finalidades;
- A pluviosidade apresentou grande influência na qualidade das águas da bacia urbana em estudo, principalmente pela sua capacidade de arraste e diluição dos contaminantes;
- Os ovos de helmintos se mostraram importantes indicadores de contaminação fecal para as águas em estudo, tendo em vista que, durante o levantamento bibliográfico para a realização desta pesquisa, não foi encontrada nenhuma referência quanto à utilização destes parasitas como indicadores de qualidade de águas de drenagem pluvial urbana;
- Houve influência da densidade populacional por sub-bacia sobre a distribuição da contaminação fecal no canal em estudo.

7.0 RECOMENDAÇÕES

Para a realização de trabalhos semelhantes a este, com base no mesmo objeto de estudo recomenda-se:

- Realizar um estudo de vazões em todos os pontos de amostragem, com vistas a apresentar a carga de cada poluente, sendo possível indicar a carga por habitante através dos dados dos setores censitários;
- Realizar o monitoramento de outros indicadores microbiológicos, a exemplo de *Enterococcus*, para a caracterização da contaminação fecal mais antiga;
- Ampliar a utilização de indicadores físico-químicos, como condutividade elétrica e RAS (razão de absorção de sódio), bem como a série nitrogenada e fósforo, para que seja estimada a capacidade de eutrofização dessas águas, conforme é realizada em algumas cidades do Brasil e do mundo; isto contribuiria para uma política de uso destas águas na agricultura;
- Realizar um estudo mais específico de autodepuração, envolvendo outros pontos de monitoração a jusante destes, com vistas a analisar a qualidade destas águas ao longo dos córregos que as conduzem até a bacia hidráulica de destino, já que esta é utilizada para o abastecimento humano;
- Aplicar metodologias de modelagem da quantidade e qualidade da água para o canal em estudo, com vistas à proposição de um instrumento de gestão das águas urbanas;
- Utilizar metodologias de análise de risco em áreas próximas e a jusante do canal, para avaliar e gerenciar os riscos que estas populações e os ecossistemas, particularmente o aquático, estão expostos;
- Aplicar os estudos sobre a qualidade das águas do sistema de drenagem de Campina Grande para outras bacias urbanas que não foram contempladas, de modo a gerar um diagnóstico mais completo do sistema;
- Aumentar o nível de detalhamento da pesquisa para as sub-bacias, com vistas a identificar e/ou indicar, de forma precisa, as principais fontes deste tipo de poluição.

REFERÊNCIAS

- AHLMAN, S. *Modelling of substance flows in urban drainage systems*. 2006. Tese (Doutorado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Técnica Chalmers. Gotemburgo – Suécia, 2006.
- ALBERTA. *STORMWATER MANAGEMENT GUIDELINES for the Province of Alberta*. Alberta: Alberta Environmental Protection, 1999.
- APHA, AWWA, WEF. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 22th ed. Washington, D.C. 2012.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). *NBR 9648 de 30 de novembro de 1986*. Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário. Rio de Janeiro: ABNT, 1986.
- AYRES, R.; MARA, D. D. *Analysis of wastewater for use in agriculture. A laboratory manual of parasitological and bacteriological techniques*. Geneva: WHO, 1996.
- BAILINGER, J. *Mechanisms of parasitological concentration in coprology and their practical consequences*. Journal of American Medical Technology, Vol 41, p 65-71, 1979.
- BLUMENTHAL, U. J.; MARA, D. D.; PEASEY, A.; RUIZ-PALACIOS, G.; STOTT, R. *Guidelines for the microbiological quality of treated wastewater used in agriculture: recommendations for revising WHO guidelines*. Bulletin of the World Health Organization. Geneva: WHO, 2000.
- BRASIL. Ministério das Cidades. *Plano Nacional de Saneamento Básico - PLANSAB*. Brasília: Ministério das Cidades, 2013.
- _____. Ministério das Cidades. *Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos - 2012*. Brasília: SNIS, 2012.
- _____. Ministério das Cidades. *Guia para a elaboração de Planos Municipais de Saneamento Básico*. 2 ed. Brasília: Ministério das Cidades, 2011a.
- _____. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). *RESOLUÇÃO N° 430, DE 13 DE MAIO DE 2011*. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução N° 357, de 17 de março de 2005. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2011b.
- _____. *LEI N° 12.305, DE 2 DE AGOSTO DE 2010a*. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm>. Acesso em: 22 out 2014.
- _____. Ministério da Saúde. *DOENÇAS INFECCIOSAS E PARASITÁRIAS - GUIA DE BOLSO*. Brasília: Ministério da Saúde, 2010b.

_____. *Lei 11.445 de 5 de janeiro de 2007*. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho 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/111445.htm>. Acesso em: 29 set 2014.

_____. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde - FUNASA. *Manual de saneamento*. 3 ed. Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2006a.

_____. Ministério da Saúde. *VIGILÂNCIA E CONTROLE DA QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO*. Brasília: Ministério da Saúde, 2006b.

_____. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). *Resolução N° 357, de 17 de Março de 2005*. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2005.

BURIAN, S.J.; EDWARDS, F.G. *Historical perspectives of urban drainage*. Global Solutions for Urban Drainage; CD-ROM Proceedings of the 9th International Conference on Urban Drainage. Portland-OR, P. 8-13, 2002.

BUTLER, D.; DAVIES, J. W. *Urban Drainage*. 3 ed. London: Spon Press. 2011.

CAMINHA, M. J. *DEGRADAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DO SISTEMA DE DRENAGEM DE SUB-BACIAS URBANAS DE CAMPINA GRANDE - PARAÍBA*. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande-PB, 2014.

CAMPANA, N. A.; BERNARDES, R. S. *Qualidade do escoamento na rede de drenagem pluvial urbana: a situação de Brasília-DF*. REGA, Vol 7, N° 2, p 53-65, 2010.

CANADA. Minister of Health. *Guidelines for Canadian Drinking Water Quality: Guideline Technical Document – Escherichia coli*. Ottawa. Minister of Health, 2013.

COELHO, F. R.; SANTOS, A. R.; CORTEZ, F. S.; PUSCEDDU, F. H.; TOMA, W.; GUIMARÃES, L. L. *Caracterização da qualidade das águas dos canais de Santos (São Paulo, Brasil)*. UNISANTA BioScience, Vol 1, N° 2, p 54-59, 2012.

DIAS, A. P. *Análise da interconexão dos sistemas de esgotos sanitário e pluvial da cidade do Rio de Janeiro: Valorização das coleções hídricas sob perspectiva sistêmica*. 2003. Dissertação de Mestrado (Engenharia Ambiental) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro-RJ, 2003.

FERNANDES, C. *Microdrenagem - Um Estudo Inicial*. Campina Grande: DEC/CCT/UFPB, 2002.

FREIRE, J. R. P. *ANÁLISE DO SISTEMA SEPARADOR ABSOLUTO NO ÂMBITO DA DRENAGEM PLUVIAL DA CIDADE DE CAMPINA GRANDE - ESTUDO DE CASO DO CANAL DAS PIABAS*. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande-PB, 2014.

GODINHO, V. M. *Estudo sobre a ocorrência de ovos de helmintos e viabilidade de Ascaris sp em lodos anaeróbios in natura e submetidos à higienização por caleação e por tratamento térmico*. 2003. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte - MG, 2003.

GOMES, E. F. *PERDAS DE VAZÃO E SEUS EFEITOS NA OPERAÇÃO DO SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO DE CAMPINA GRANDE-PB*. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande-PB, 2013.

HILL, D. *A history of engineering in classical and medieval times*. London: Croom Helm Ltd., 1984.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. *IBGE Cidades*. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/home.php>>. Acesso em: 28 de setembro de 2014.

_____. *PESQUISA NACIONAL DE SANEAMENTO BÁSICO 2008*. Rio de Janeiro: IBGE, 2008

Instituto Trata Brasil. *Ranking do saneamento - Instituto Trata Brasil*. São Paulo: GO associados, 2013.

JIMÉNEZ, B. *Helminth Ova Control in Wastewater and Sludge for Agricultural Reuse*. In: W.O.K. Grabow (ed.) *Water reuse new paradigm towards integrated water resources management in Encyclopedia of Biological, Physiological and Health Sciences, Water and Health*, Vol. II, p 429-449, 2008.

JIMÉNEZ, B.; MAYA C.; GALVÁN, M. *Helminth ova control in wastewater and sludge for advanced and conventional sanitation*. *Water Science Technology*, Vol 56, N° 5, p 43–51, 2007.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. *Tratamento de Esgotos Domésticos*. 5 ed. ABES: Rio de Janeiro, 2009.

LAWS, E. A. *AQUATIC POLLUTION – AN INTRODUCTORY TEXT*. 3rd ed. United States of America: John Wiley & Sons, 2000.

LEONETI, A. B.; PRADO, E. L. do; OLIVEIRA, S. V. W. de. *Saneamento básico no Brasil: considerações sobre investimentos e sustentabilidade para o século XXI*. *Revista de Administração Pública – RAP*, Vol 45, N° 2, p 331-348, 2011.

MACEDO, M. J. H.; GUEDES, R. V. de S.; SOUSA, F. de A. S. *MONITORAMENTO E INTENSIDADE DAS SECAS E CHUVAS NA CIDADE DE CAMPINA GRANDE/PB*. *Revista Brasileira de Climatologia*, Vol 8, p 105-117, 2011.

METCALF & EDDY. *Wastewater Engineering – Treatment and Reuse*. 4 ed. Singapura: Mc Graw Hill, 2004.

NEVES, D. P.; MELO, A. L. de; LINARDI, P. M. *Parasitologia Humana*. 11 ed. São Paulo: ATHENEU, 2005.

NOLLET, L. M. L. *HANDBOOK OF WATER ANALYSIS*. 2 ed. Boca Raton: CRC Press, 2007.

ONU. *Nações Unidas do Brasil*. Disponível em: < <http://www.onu.org.br/25-bilhoes-de-pessoas-nao-tem-acesso-a-saneamento-basico-em-todo-o-mundo-alerta-onu/>>. Acesso em: 29 set 2014.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CAMPINA GRANDE - PMCG. *SECRETARIA DE SERVIÇOS URBANOS E MEIO AMBIENTE (SESUMA)*. Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos do Município de Campina Grande-PB. Campina Grande, 2014a.

_____. *SECRETARIA DE PLANEJAMENTO. Diagnóstico da Situação dos Serviços de Saneamento Básico*. In: *Elaboração do Plano Municipal de Saneamento Básico do Município de Campina Grande*. Campina Grande: UFCG, 2014b.

_____. *Lei complementar Nº 003, de 09 de outubro de 2006*. Revisão do Plano Diretor do Município de Campina Grande, Prefeitura Municipal de Campina Grande. LEI COMPLEMENTAR Nº033/2006.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO – PMSP. Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano. Plano Municipal de Gestão do Sistema de Águas Pluviais de São Paulo. *Manual de drenagem e manejo de águas pluviais: gerenciamento do sistema de drenagem urbana*. São Paulo: SMDU, 2012.

RAMOS, C. L; BARROS, M. T. L; PALOS, J. C. F. (coords.). *Diretrizes Básicas para Projetos de Drenagem Urbana no Município de São Paulo*. São Paulo: FCTH (Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica), 1999.

REZENDE, S. C.; HELLER, L. *O saneamento no Brasil – Políticas e interfaces*. 2 ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2008.

RIGHETTO, A. M (coord.). *Manejo de Águas Pluviais Urbanas*. Rio de Janeiro: ABES, 2009.

ROSSO, T. C. A.; DIAS, A. P.; GIORDANO, G. *Vulnerabilidade dos sistemas de esgotamento sanitário da cidade do Rio de Janeiro, RJ, Brasil– relato de um caso de estudo*. Revista Recursos Hídricos, Vol. 32, 2011.

SANTOS, J.G. *Análise parasitológica em esgotos tratados utilizados na agricultura*. 2010. Dissertação (Mestrado em saúde pública) – Universidade de São Paulo – Faculdade de Saúde Pública. São Paulo, 2010.

SCHUELLER, T. R. *Controlling Urban Runoff: A Practical Manual for Planning and Designing Urban BMPs*. Washington, D.C.: Metropolitan Information Center, 1987.

TAVARES, T. M.; CARDOSO, D. D. P.; BRITO, W. M. E. D. *Vírus entéricos veiculados por água: aspectos microbiológicos e de controle de qualidade da água*. Revista de Patologia Tropical, Vol. 34, p 85-104, 2005.

TEIXEIRA, J. C.; LEAL, F. C. T. *Desafios no controle de doenças de veiculação hídrica associadas ao tratamento e ao abastecimento de água para consumo humano*. In: VI Simpósio italo brasileiro de engenharia sanitária e ambiental. Vitória: ABES, 2002.

TSUTIYA, M. T.; SOBRINHO, P. A. *COLETA E TRANSPORTE DE ESGOTO SANITÁRIO*. Rio de Janeiro: ABES, 2011.

TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. La L.; BARROS, M. T. de. (coords.). *Drenagem Urbana*. Porto Alegre: Editora da Universidade/UFRGS, 1995.

TUCCI, C. E. M. *Urban drainage in specific climates*. International Hydrological Programme – IHP-V. Technical Documents in Hydrology. Paris: UNESCO, 2001.

_____. *Gerenciamento da drenagem urbana*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Vol 7, Nº 1, p 5-27, 2002.

_____. *Gestão de águas pluviais urbanas*. SANEAMENTO PARA TODOS. V. 4. Brasília: Ministério das Cidades, 2006a.

_____. *Água no meio urbano*. In: REBOUÇAS, A. da C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. *Águas Doces no Brasil Capital Ecológico, Uso e Conservação*. São Paulo: Escrituras, 2006b.

_____. *Águas urbanas*. Estudos Avançados, Vol 22, Nº 63, p 97-112, 2008.

Water Security Agency - WSA. *Stormwater Guidelines EPB 322*. Saskatchewan: WSA, 2014.

World Health Organization - WHO. *Progress on Drinking Water and Sanitation, 2014 Update*. Switzerland: WHO, 2014a.

_____. *Health through safe drinking water and basic sanitation*. Disponível em: <http://www.who.int/water_sanitation_health/mdg1/en/>. Acesso em: 29 de setembro de 2014b.

_____. *Research Priorities for Helminth Infections*. Switzerland: WHO, 2012.

_____. *Water, Sanitation and Hygiene Links to Health*. Switzerland: WHO, 2004.

_____. *Water Quality Monitoring - A Practical Guide to the Design and Implementation of Freshwater*. Quality Studies and Monitoring Programmes. Switzerland: WHO, 1996.

ZERBINI, A. M. *Identificação e análise de viabilidade de ovos de helmintos em um sistema de tratamento de esgotos domésticos constituído de reatores anaeróbios e rampas de escoamento superficial*. 2000. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais-MG, 2000.

ZOPPOU, C. *Review of urban storm water models*. Environmental Modelling & Software, vol 16, p 195-231, 2001.