



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA CIVIL
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
CAMPUS I – CAMPINA GRANDE**

JOSEFA RAFAELA PESSOA FREIRE

**ANÁLISE DO SISTEMA SEPARADOR ABSOLUTO NO ÂMBITO DA
DRENAGEM PLUVIAL DA CIDADE DE CAMPINA GRANDE -
ESTUDO DE CASO DO CANAL DAS PIABAS**

**CAMPINA GRANDE - PB
FEVEREIRO 2014**

JOSEFA RAFAELA PESSOA FREIRE

**ANÁLISE DO SISTEMA SEPARADOR ABSOLUTO NO ÂMBITO DA
DRENAGEM PLUVIAL DA CIDADE DE CAMPINA GRANDE -
ESTUDO DE CASO DO CANAL DAS PIABAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental (PPGECA) 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

Orientadora:

Profa. Dra. PATRÍCIA HERMÍNIO CUNHA FEITOSA

Coorientadora:

Profa. Dra. MÔNICA DE AMORIM COURA

CAMPINA GRANDE - PB

FEVEREIRO 2014

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

- F866a Freire, Josefa Rafaela Pessoa.
Análise do Sistema separador absoluto no âmbito da drenagem pluvial da cidade de campina Grande – Estudo de caso do canal de Piabas / Josefa Rafaela Pessoa Freire. – Campina Grande, 2014.
91 f. : il. Color.
- Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.
- "Orientação: Profª Drª. Patrícia Hermínio Cunha Feitosa, Profª. Drª. Mônica de Amorim Coura".
Referências.
1. Sistema Separador Absoluto. 2. Drenagem Pluvial urbana. 3. Riscos Epidemiológicos e Ambientais. I. Feitosa, Patrícia Hermínio Cunha. II. Coura, Mônica de Amorim. III. Título.

CDU 626.862.4(043)

JOSEFA RAFAELA PESSOA FREIRE

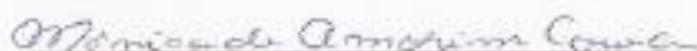
ANÁLISE DO SISTEMA SEPARADOR ABSOLUTO NO ÂMBITO DA DRENAGEM
PLUVIAL DA CIDADE DE CAMPINA GRANDE - ESTUDO DE CASO DO CANAL
DAS PIABAS

DISSERTAÇÃO APROVADA EM: 21/02/2014

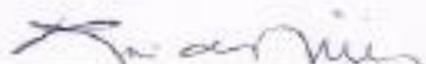
COMISSÃO EXAMINADORA



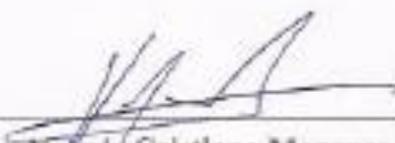
Prof. Dra. Patrícia Herminio Cunha Feitosa
Universidade Federal de Campina Grande - UFCG
Orientadora



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



Prof. Dr. Rui de Oliveira
Universidade Federal de Campina Grande - UFCG
Examinador Interno



Prof. Dr. Valmir Cristiano Marques de Arruda
Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE
Examinador Externo

CAMPINA GRANDE - PB
FEVEREIRO 2014

Dedico este trabalho aos meus Pais Adriana e Girolano e ao meu noivo Giuliano, fontes de minha inspiração, por todo o apoio necessário e pela força nos momentos difíceis, me incentivando a lutar pelos meus objetivos e superar as dificuldades.

AGRADECIMENTOS

A Deus, sempre presente em minha vida e fonte de perseverança para a conclusão deste trabalho.

Aos meus Pais Adriana e Girolano por todo amor, carinho, incentivo e companheirismo dedicados a mim em todos os momentos da minha vida. Por me ensinarem a seguir o caminho do bem e perseverar em busca de meus sonhos.

Ao meu noivo Giuliano Talles, por todo amor e apoio durante os momentos difíceis, pela árdua espera e compreensão nos meus momentos de ausência.

À minha avó Terezinha (*in memoriam*), por todo amor e carinho dedicados a mim.

Aos meus tios Ana, Maria e João que, apesar da distância física, sempre me incentivaram e me acompanharam durante esta importante etapa da minha vida acadêmica, em especial ao meu tio Tadeu por sempre acreditar no meu potencial.

Às minhas orientadoras, professora Patrícia e professora Mônica pela orientação, confiança e oportunidades oferecidas, fundamentais para a realização deste trabalho.

Ao professor Rui de Oliveira pela paciência, dedicação e confiança durante a realização deste trabalho.

Aos professores da Área de Engenharia Sanitária, em especial a professora Celeide, pela orientação e cooperação neste trabalho.

Aos meus amigos, Jôsiane Caminha, Pablo Luís e Narcísio Cabral, pelo companheirismo e por tornarem as longas horas no laboratório em momentos alegres e de aprendizagem.

Aos funcionários do Laboratório de Saneamento da UFCG, Francisco Bandeira (Tiquinho), Valmária (Val), Savana (Savaninha), Cristina (Cris) e Antônio, pela amizade e pelo apoio prestado durante a realização da pesquisa.

Ao Laboratório de Hidráulica, especialmente ao senhor Haroldo pelo auxílio na realização das coletas.

À banca examinadora, especialmente, ao professor Valmir por aceitar o convite e pela valiosa contribuição para o melhoramento deste trabalho.

À CAPES pelo apoio financeiro.

Enfim, agradeço a todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a elaboração deste trabalho. Meu sincero e eterno agradecimento.

RESUMO

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. 91 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande. 2014.

A cidade de Campina Grande tem apresentado sérios problemas de alagamentos e inundações nos períodos de chuva, gerados pela deficiência na gestão do sistema separador absoluto adotado, bem como pelo precário investimento no setor de saneamento, contribuindo para a existência de riscos epidemiológicos e ambientais. Este trabalho teve como objetivo analisar o sistema separador absoluto no âmbito da drenagem pluvial da cidade de Campina Grande, com base no estudo de caso do canal das Piabas. Ao longo do canal foram selecionadas cinco pontos de amostragem, para avaliar o comportamento das características das águas. Os indicadores de qualidade da água adotados neste trabalho foram turbidez, SST, DBO, DQO, OD e CTT, com a finalidade de identificar a existência de contaminação por esgoto. Para analisar a possibilidade do uso deste efluente para reúso agrícola, visto que a jusante do canal, o corpo receptor é usado para irrigação de cultivos, sob a forma de reúso indireto e não planejado, decidiu-se acrescentar outros indicadores como, dureza de cálcio e de magnésio, e sódio, para posterior elaboração da RAS, além da condutividade elétrica. Avaliando-se os resultados dos indicadores analisados foi observado que, todos os pontos apresentaram contaminação por esgoto, sendo o ponto P1o que se encontra menos poluído, evidenciando a ocorrência do aporte de esgoto ao longo do canal. Foi concluído que a água do canal das Piabas se caracteriza como esgoto doméstico fraco, mostrando assim, que o sistema adotado não funciona como separador absoluto, expondo a população a riscos epidemiológicos, e comprometendo a qualidade dos corpos receptores. Diante da classificação encontrada em relação à RAS e a CE, os valores estavam entre as faixas média e muito alta no que diz respeito a CE, e entre baixo e forte quanto ao risco de sódio, havendo uma maior ocorrência na classificação C3-S2 (alto risco de salinidade e médio risco de sódio), conclui-se, portanto, que o uso contínuo e não planejado das águas do canal das Piabas apresenta risco para aproveitamento na atividade de irrigação.

PALAVRAS-CHAVE: Sistema separador absoluto; drenagem pluvial urbana; riscos epidemiológicos e ambientais.

ABSTRACT

FREIRE, J. R. P. **Analysis of absolute separator system within the rainwater drainage of Campina Grande city - Case study of the Piabas Canal.** 2014. 91 p. Thesis (Master's) – Federal University of Campina Grande, Campina Grande. 2014.

The city of Campina Grande has presented serious problems of waterlogging and flooding during the rainy season, generated by a deficiency in the management of the absolute separation system adopted, as well as the poor investment in the sanitation sector, contributing to the existence of epidemiological and environmental risks. This study aimed to analyze the absolute separation system in the context of rainwater drainage of Campina Grande, based on the case study of the canal of Piabas. Along the canal five sample points were selected to evaluate the behavior of the water quality. The indicators of water quality adopted in this work were turbidity, TSS, BOD, COD, DO and CTT, in order to identify the existence of contamination by sewage. To investigate the possible use of this effluent for agricultural reuse, since the downstream canal, the receiver body is used to irrigate crops in the form of indirect reuse and unplanned, it was decided to add other indicators such as calcium and magnesium hardness, and sodium, for further elaboration of the SAR, in addition to electrical conductivity. Evaluating the results of the indicators analyzed was observed that all points were contaminated by sewage, and the point P1 which is less polluted, evidencing the occurrence of sewage contribution along the canal. It was concluded that water of canal of Piabas characterized as weak domestic sewage, thereby showing that the system adopted does not work as an absolute separator, exposing the population to epidemiological risks, and affecting the quality of receiving bodies. Front of the classification found in relation to SAR and EC, the values were between average and very high bands in relation to EC, and between low and strong as sodium risk, with a higher incidence in the classification C3-S2 (high salinity risk and medium sodium risk), it is concluded, therefore, that the continuous and unplanned use of water from canal of Piabas presents risk for use in irrigation activity.

KEYWORDS: Absolute separator system; urban rainwater drainage; epidemiological and environmental risks.

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 3 - REVISÃO DE LITERATURA	20
Figura 3.1 - A Cloaca Máxima.	21
Figura 3.2 - O “Tigre” de Debret.	24
Figura 3.3 - Diagrama de classificação das águas para fins de irrigação segundo o USDA.	54
Capítulo 4 - MATERIAL E MÉTODOS	59
Figura 4.1 - Localização do município de Campina Grande nas regiões do médio e baixo Paraíba. A região em marrom representa toda a área do município de Campina Grande.	59
Figura 4.2 - Mapa das bacias de esgotamento sanitário de Campina Grande – PB.	61
Figura 4.3 - Mapa de localização do canal das Piabas nos bairros de Campina Grande.	62
Figura 4.4 - Bifurcação no canal.	63
Figura 4.5 - Contribuição de esgoto doméstico.	63
Figura 4.6 - Mapa de localização dos pontos amostrais e limitação da área em estudo.	64
Figura 4.7 - Ilustrações dos pontos amostrais.	66
Figura 4.8 - Material utilizado para coleta das amostras de água do canal das Piabas.	67
Figura 4.9 - Frascos utilizados na coleta das amostras.	67
Figura 4.10 Determinação de: DBO (a), dureza de cálcio (b), coliformes termotolerantes (c) e DQO (d).	68
Capítulo 5 - APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	71
Figura 5.1 - Variação temporal de DBO₅, DQO, SST e turbidez, com base na média móvel 5 a 5, e a precipitação, em amostras coletadas nos pontos P1, P2, P3, P4 e P5, entre abril e agosto de 2013.	72
Figura 5.2 - Variação temporal de CE, CTT, OD com base na média móvel 5 a 5, e a precipitação, em amostras coletadas nos pontos P1, P2, P3, P4 e P5, entre abril e agosto de 2013.	73
Figura 5.3- Gráficos BOX PLOT para DBO₅, DQO, SST e turbidez obtidos na monitoração dos pontos P1, P2, P3, P4 e P5, no período de abril a agosto de 2013.	74

- Figura 5.4** - Gráfico BOX PLOT para CE, CTT e OD obtido na monitoração dos pontos P1, P2, P3, P4 e P5, no período de abril a agosto de 2013. 75
- Figura 5.5** - Contribuições de esgoto e resíduos sólidos no canal das Piabas. 78
- Figura 5.6** - Gráfico GT-2 das concentrações de DBO e DQO obtidos na monitoração dos pontos P1, P2, P3, P4 e P5, no período de abril a agosto de 2013. 79
- Figura 5.7**- Gráfico GT-2 das concentrações de SST, Turbidez, CE e CTT obtidos na monitoração dos pontos P1, P2, P3, P4 e P5, no período de abril a agosto de 2013. 80
- Figura 5.8**- Classificação quanto ao risco de sódio e a condutividade elétrica obtida na monitoração dos pontos P1, P2, P3, P4 e P5, no período de abril a agosto de 2013. 82

LISTA DE TABELAS

Capítulo 3 - REVISÃO DE LITERATURA	20
Tabela 3.1 - Valores típicos de parâmetros de carga orgânica (mg/L) no esgoto.	29
Tabela 3.2 - Dispositivos hidráulicos que compõem os sistemas de drenagem urbana.	29
Tabela 3.3 - Valores médios de parâmetros de qualidade de águas pluviais em mg/L.	39
Tabela 3.4 - Comparação de concentrações de poluentes em meio urbano e rural.	39
Tabela 3.5 - Qualidade das águas pluviais em meio urbano em diferentes locais.	40
Tabela 3.6 - Concentração média dos parâmetros da qualidade do escoamento pluvial para a bacia de retenção alagada.	43
Tabela 3.7 - Comparação dos aspectos da água no meio urbano.	45
Tabela 3.8 - Medidas estruturais de controle de cheias.	46
Tabela 3.9 - Problemas potenciais relacionados com a água de irrigação.	55
Capítulo 4 – MATERIAL E MÉTODOS	59
Tabela 4.1 - Identificação dos pontos de coleta.	64
Tabela 4.2 - Distância entre os pontos amostrais.	65
Tabela 4.3 - Métodos analíticos empregados na determinação das variáveis analisadas.	69
Capítulo 5 - APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	71
Tabela 5.1 - Parâmetros descritivos das variáveis, físicas, químicas e microbiológicas determinadas nos pontos de monitoração entre abril e agosto de 2013.	77
Tabela 5.2 - Valores da estatística F e os correspondentes valores críticos (F_{cr}).	78

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANOVA	Análise de Variância
APHA	American Public Health Association
AWWA	American Water Works Association
BNH	Banco Nacional da Habitação
CE	Condutividade elétrica
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
CAGEPA	Companhia de Água e Esgotos da Paraíba
CTT	Coliformes Termotolerantes
DBO ₅	Demanda Bioquímica de Oxigênio de 5 (cinco) dias
DNOCS	Departamento Nacional de Obras Contra as Secas
DQO	Demanda Química de Oxigênio
DP	Desvio Padrão
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
EUA	Estados Unidos da América
FAE	Fundos de Financiamento para Água e Esgotos
FGTS	Fundo de Garantia do Tempo de Serviço
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IOCS	Inspetoria de Obras Contra as Secas
MÁX	Valor máximo
MÉD	Média
MÍN	Valor mínimo
N	Tamanho amostral
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
OMS	Organização Mundial de Saúde
P	Ponto amostral
PLANASA	Plano Nacional de Saneamento
PRONURB	Programa de Saneamento para Núcleos Urbanos
PROSANEAR	Programa de Saneamento para População de Baixa Renda
Ph	Potencial Hidrogeniônico

RAS	Razão de Adsorção de Sódio
SANECAP	Companhia de Saneamento da Capital
SST	Sólidos Suspensos Totais
SAAE	Serviço Autônomo de Água e Esgoto
SANESA	Saneamento de Campina Grande
UEPB	Universidade Estadual da Paraíba
UFCG	Universidade Federal de Campina Grande
UNICEF	United Nations International Childrens Emergency Fund
VAR	Variância

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	17
1.0 INTRODUÇÃO.....	17
CAPÍTULO 2	19
2.0 OBJETIVOS.....	19
2.1 Objetivo geral.....	19
2.2 Objetivos específicos.....	19
CAPÍTULO 3	20
3.0 REVISÃO DE LITERATURA.....	20
3.1 Evolução do saneamento.....	20
3.1.1 No mundo.....	20
3.1.2 No Brasil.....	23
3.1.3 Na Paraíba e em Campina Grande.....	26
3.2 Caracterização dos sistemas de esgotamento.....	27
3.2.1 Componentes do sistema de drenagem pluvial.....	29
3.2.2 Tipos de sistemas.....	30
3.2.2.1 Unitário.....	31
3.2.2.2 Separador parcial.....	31
3.2.2.3 Separador absoluto.....	32
3.2.2.4 Entraves dos sistemas separadores absolutos.....	32
3.3 Sistema de drenagem pluvial.....	33
3.3.1 Histórico do sistema de drenagem urbana.....	34
3.3.2 Inundações.....	35
3.3.3 Microdrenagem e macrodrenagem.....	36
3.4 Qualidade das águas de drenagem urbana.....	38
3.4.1 Indicadores de qualidade da água de drenagem pluvial.....	39
3.4.2 Impactos sobre a qualidade da água no corpo receptor.....	40
3.4.3 Contribuição de esgotos em sistemas de drenagem pluvial.....	42
3.5 Gestão de águas pluviais urbanas.....	44
3.5.1 Tipos de medidas de controle.....	45
3.5.2 Gestão sustentável.....	47
3.5.3 Medidas sustentáveis.....	48

3.6 Reúso.....	49
3.6.1 Definições.....	50
3.6.2 Reúso na agricultura.....	51
3.6.3 Riscos associados ao reúso.....	55
3.6.4 Experiências nacionais sobre a regulamentação do reúso de água.....	57
CAPÍTULO 4.....	59
4.0 MATERIAL E MÉTODOS.....	59
4.1 Caracterização da área de estudo.....	59
4.1.1 O sistema de esgotamento sanitário de Campina Grande.....	60
4.1.2 O sistema de drenagem pluvial de Campina Grande.....	61
4.1.3 O Canal das Piabas.....	62
4.2 Pontos de amostragem.....	64
4.3 Indicadores analisados.....	68
4.3.1 Razão de Adsorção de sódio.....	69
4.4 Métodos estatísticos.....	70
CAPÍTULO 5.....	71
5.0 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	71
5.1 Análise estatística.....	74
5.2 Avaliação da potencialidade para o reúso agrícola.....	81
CAPÍTULO 6.....	83
6.0 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	83
CAPÍTULO 7.....	85
7.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	85

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

O crescimento demográfico ocasiona o aumento na demanda de água, pois é inerente ao homem o consumo de água como uma necessidade básica para a execução de suas atividades diárias, gerando assim resíduos líquidos, que são comumente chamados de esgotos. Após o consumo, a água que antes era potável se torna uma ameaça, seja ela de origem doméstica ou industrial, uma vez que, na primeira os dejetos humanos podem veicular microrganismos patogênicos e, assim, disseminar doenças como diarreias infecciosas, febre tifoide, ascaridíase, teníase, etc, e a segunda, geralmente apresenta compostos químicos nocivos para a saúde e de difícil remoção nos processos de tratamento, tornando o mesmo oneroso.

No Brasil, o crescimento demográfico associado ao êxodo rural tem conduzido à expansão dos centros urbanos, onde a população se torna ainda mais vulnerável ao contato com os esgotos. Então, torna-se indispensável afastar as possibilidades de seu contato com o homem e o meio em que ele habita. O afastamento dos esgotos dos centros urbanos para as ETE's deve ocorrer de forma sanitariamente segura e ambientalmente adequada e, para tal fim, são construídos os sistemas de esgotamento sanitário.

A urbanização ocorrida nas últimas décadas, notadamente nos países em desenvolvimento, dentre os quais o Brasil, é um dos fatores responsáveis pelo agravamento dos problemas relacionados às inundações nas cidades, aumentando a frequência e os níveis das cheias. Isto ocorre devido à impermeabilização crescente das bacias hidrográficas, e à ocupação inadequada das regiões ribeirinhas aos cursos d'água (RAMOS et al., 1999).

Para Nóbrega (2012), Campina Grande apresentou um acelerado processo de urbanização nos últimos anos, novas áreas foram ocupadas favorecendo o aumento do escoamento superficial, provocado por obras de pavimentação, que impermeabilizam o solo, e a construção dos mais diversos tipos de edificações. Consequentemente, a cidade tem apresentado sérios problemas nos períodos de chuva, gerados pelo grande acúmulo do volume de água escoada superficialmente. A falta de investimentos do poder público na expansão dos sistemas de drenagem urbana e as falhas dos sistemas que se encontram implantados também contribuem para o fenômeno de inundação das bacias urbanas.

Um fato evidente neste cenário de desenvolvimento é que as cidades não estão preparadas para esse crescimento, pois, entre outros problemas, em geral os sistemas de saneamento básico também não estão preparados para o aumento na demanda por água potável e geração de águas residuárias. No Brasil, segundo o Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento - SNIS (2011), o atendimento de água potável é de 82,4% quando consideradas as áreas urbanas e rurais do País, e o atendimento em coleta de esgotos chega apenas a 48,1% da população brasileira. A outra parte da população que não tem acesso a esses serviços vive em ambientes insalubres suscetíveis às doenças, uma vez que os investimentos em saneamento não acompanham o crescimento populacional.

No Brasil, as doenças de transmissão feco-oral especialmente as diarreias, representam em média mais de 80% das doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado. Ter ou não acesso a uma água de qualidade e um bom sistema de coleta e tratamento de esgoto faz toda a diferença para controlar estas doenças que sobrecarregam o sistema de saúde, ocupam milhares de leitos hospitalares, afetam crianças e a população como um todo (INSTITUTO TRATA BRASIL, 2011). Muito poderia ser evitado mediante a aplicação de investimentos no setor do saneamento fazendo-se cumprir o que está previsto na Lei 11.445/2007, que tem por princípio a universalização dos serviços de saneamento básico. O cumprimento da lei traria, não só benefícios econômicos como melhorias na qualidade de vida da população brasileira.

De acordo com o SNIS (2011) a população brasileira, produz em média 9,3 bilhões de litros de esgoto por dia. Desse total, 5,9 bilhões de litros não recebem nenhum tratamento (64%), poluindo solos e mananciais, além de expor a população a riscos epidemiológicos.

Diante de tal situação é notória a importância da crescente preocupação com o saneamento básico, uma vez que, este está relacionado diretamente com as questões de saúde pública. Desta forma, os sistemas de saneamento básico (distribuição de água potável, coleta de esgoto e resíduos sólidos, e drenagem urbana) surgem com o objetivo de amenizar esses problemas.

Apesar, dos avanços no setor, ainda estamos longe de atingir uma situação ideal, visto que, em determinadas circunstâncias, percebemos alguns retrocessos. Um exemplo são os sistemas de esgotamento sanitário do tipo separador absoluto que têm sido adotados nas cidades brasileiras. Nesses, águas de drenagem e águas residuárias devem ser conduzidas em condutos diferentes, mas, na prática, na maioria do tempo, ambas são veiculadas em um único canal configurando-se como um sistema separador parcial. É perceptível que há uma deficiência na gestão desses sistemas e neste sentido, torna-se importante analisar a aplicação do sistema separador absoluto.

CAPÍTULO 2

2.0 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

- Analisar o sistema separador absoluto no âmbito da drenagem pluvial da cidade de Campina Grande, com base no estudo de caso do Canal das Piabas.

2.2 Objetivos Específicos

- Analisar a qualidade da água de drenagem do Canal das Piabas;
- Avaliar a influência da pluviometria na qualidade das águas;
- Identificar as causas da poluição no canal;
- Analisar as condições de operação e manutenção do canal de drenagem e
- Avaliar a potencialidade da água de drenagem para o reuso agrícola.

3.0 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Evolução do saneamento

No decorrer dos anos, a infraestrutura relacionada ao setor do saneamento evoluiu bastante. Medidas simples como a purificação da água por meio de fervura passaram a ser substituídas por processos mais complexos, conhecidos como tratamentos convencionais. Com o esgoto não foi diferente, o lançamento direto de esgotos nas vias ou em corpos hídricos mais próximos, e as soluções individuais como fossas sépticas foram gradativamente trocados por complexos sistemas de coleta de esgoto, com posterior tratamento dos efluentes, fazendo-se uso das mais diversas tecnologias em busca de alternativas que acarretassem menor risco à saúde e ao meio ambiente.

A própria definição de saneamento evoluiu com o tempo, passando de saneamento básico para ambiental. O primeiro engloba abastecimento de água potável, coleta e tratamento de esgoto e drenagem urbana, enquanto que o segundo, além dos serviços citados anteriormente, contempla de acordo com a Organização Mundial de Saúde (OMS), o controle de todos os fatores do meio físico do homem, que exercem ou podem exercer efeitos nocivos sobre o bem estar físico, mental e social. De outra forma, pode-se dizer que saneamento caracteriza o conjunto de ações socioeconômicas que têm por objetivo alcançar Salubridade Ambiental (GUIMARÃES et al, 2013).

Apesar dos avanços observados no setor do saneamento no país, o acesso ao saneamento é uma realidade para poucos brasileiros. Segundo o Instituto Trata Brasil, de acordo com os dados do Relatório da Organização Mundial da Saúde e UNICEF: “Joint Monitoring Programme for Water Supply and Sanitation (JMP) – 2012”, em 2010, 780 milhões de pessoas, o que corresponde a 11% da população mundial, ainda não possuía acesso à água potável, e 2,5 bilhões de pessoas (37%) viviam sem esgotamento sanitário adequado, dos quais 40 milhões são brasileiros.

3.1.1 No Mundo

A história do saneamento e sua associação à saúde humana remontam às mais antigas culturas. Desde a antiguidade o homem já percebia que a água suja e os resíduos sólidos podiam transmitir doenças e por isso começou a adotar medidas para dispor de água limpa e livrar-se de seus dejetos.

No desenvolvimento da civilização greco-romana, são inúmeras as referências às práticas sanitárias e higiênicas vigentes, e à construção do conhecimento relativo à associação entre esses cuidados e o controle das doenças. Das práticas sanitárias coletivas mais marcantes na Antiguidade pode-se citar a construção de aquedutos, banhos públicos, termas e esgotos romanos, tendo como símbolo histórico a conhecida Cloaca Máxima de Roma (BRASIL, 2006). A Cloaca Máxima (Figura 3.1) foi construída na Roma Antiga, destinada à drenagem dos esgotos da cidade, que eram encaminhados para o rio Tibre.

Figura 3.1: A Cloaca Máxima.



Fonte: The history blog, 2013.

Com o uso de práticas inadequadas na disposição dos resíduos houve vários surtos de doenças. Para Benchimol (1990), julgava-se na época que os constantes surtos de doenças eram devidos aos gases fétidos que se desprendiam das valas, alagadiços, sumidouros e fossas negras, contaminando quem passasse por perto. Segundo as concepções médicas dominantes, esses focos contaminavam o ar com seus pútridos miasmas, propiciando uma infinidade de moléstias.

No século XVIII, na Itália, foi verificado verificou-se que as áreas alagadiças provocavam a mortalidade de animais e pessoas e, então, surgiu a *Teoria dos Miasmas*. Esta considerava que a transmissão da doença era provocada por emanações gasosas, originadas da matéria orgânica em decomposição nos solos contaminados.

Para Dias (2003) a evolução do saneamento, pode ser caracterizada pela sequência das seguintes fases: higienista, de racionalização e normalização dos cálculos hidrológicos e científica-ambiental do ciclo hidrológico urbano.

Na fase higienista, os governantes despertam para a necessidade de proporcionar ambientes salubres para o ser humano, liderada por médicos que defendiam a eliminação das áreas alagadas. As fossas e valas que recebiam os esgotos foram aterradas, e substituídas por canalizações dos sistemas de esgotos sanitários e pluviais organizados.

Na segunda fase, chamada de racionalização e normalização dos cálculos hidrológicos, Dias (2003) relata que as epidemias de cólera nas grandes cidades da Europa do século XIX, principalmente nos anos de 1832 e 1849, impulsionaram as intervenções implementadas pelos engenheiros e urbanistas. Nesta fase procurava-se determinar e normalizar melhor o cálculo hidrológico para dimensionamento das obras hidráulicas.

A terceira fase foi denominada de científica e ambiental do ciclo hidrológico urbano, com duas vertentes. A primeira voltada para o aspecto científico, similar à segunda fase, onde a preocupação era afastar rapidamente as águas sem análises temporais e espaciais detalhadas e sem cuidados com possíveis impactos ambientais, apresentando-se limitada na prevenção de enchentes dos centros urbanos, comprometendo os recursos hídricos (DIAS, 2003). A vertente ambiental surge diante dessa ineficácia, onde é percebida se percebe a necessidade de ir além, de buscar soluções para equacionar ou pelo menos compreender os problemas existentes. Dessa forma é necessário recorrer à Ecologia, pois através dela é possível entender as interações entre os organismos e seu ambiente, e assim analisar de forma mais detalhada as ações antrópicas, visto que, foi devido à intervenção humana que tudo teve início.

Dias (2003), relata que frente aos problemas ambientais e ao não entendimento da complexidade dos ecossistemas, nasceu o Ambientalismo.

No âmbito internacional, a questão ambiental tornou-se relevante e resultou em grandes conferências mundiais sobre o tema. Como, a *Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano*, em Estocolmo, 1972, a *Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável* (“Rio-92”), entre outras manifestações.

O conceito de desenvolvimento sustentável foi consolidado na “Rio-92”, pautado na sustentabilidade ambiental, econômica e sociopolítica, tendo como definição, o desenvolvimento capaz de atender às necessidades atuais, sem comprometer a capacidade de atender às necessidades das futuras gerações.

Vale salientar que na Rio-92, surgiram dois importantes documentos: a Agenda 21, que pode ser definida como um instrumento de planejamento para a construção de sociedades

sustentáveis (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2013), e a Carta da Terra que é uma declaração de princípios éticos fundamentais para a construção, de uma sociedade global justa, sustentável e pacífica (CARTA DA TERRA, 2013).

3.1.2 No Brasil

A exploração de ciclos econômicos como, açúcar, café, extrativismo do pau-brasil, pecuária, entre outros, desencadearam contínua exploração dos recursos do meio ambiente e, conseqüentemente, degradação dos ecossistemas. Todo esse desenvolvimento ocasionou um crescimento significativo nos centros urbanos, os quais, a cada dia, ficavam mais aglomerados e com menos espaços para abrigar os imigrantes.

Dias (2003), comenta que no Brasil assim como no restante do mundo as primeiras ações voltadas para o saneamento foram designadas ao escoamento das águas pluviais, através da construção de valas empregadas na drenagem das áreas alagadas, descarte de lixo e dejetos, configurando desta forma, ambientes insalubres propícios ao desenvolvimento de focos de doenças, abrigo de vetores e mau cheiro. Na cidade do Rio de Janeiro, no século XVII, valas abertas cortavam os logradouros públicos, e com o aumento populacional, foram difundidas valas contaminadas por dejetos humanos e animais.

Além das valas existiam os “*Tigres*” (Figura 3.2), os quais foram bastante explorados. Os escravos eram uma mão de obra amplamente utilizada nos serviços domésticos dos grandes casarões, dos logradouros, na construção civil e também no transporte dos dejetos. À noite os escravos transportavam barris cheios de urina e fezes, que eram depositados em praias e valas. Tanto as valas, como os “*Tigres*” contaminavam água, solo e ar.

Figura 3.2: O “Tigre” de Debret.



Fonte: Dias, 2003.

As soluções coletivas de saneamento no Brasil surgiram em meados século XIX, estando fortemente associadas ao controle de doenças infectocontagiosas. A fase higienista no país foi protagonizada por Oswaldo Cruz e Pereira Passos, os quais trouxeram novos conceitos sobre saúde e propuseram medidas de intervenção no espaço urbano e mudanças nos hábitos higiênicos da população. Mas não foi fácil essa mudança, pois grande parte da população era composta por pessoas com baixo nível educacional e hábitos de higiene precários.

Segundo Brasil (2011), o saneamento no Brasil passou por algumas fases até os dias atuais, tendo sua trajetória em 1904, na fase higienista. Cinco anos depois ocorreu a criação da Inspetoria de Obras Contra as Secas (Iocs) que foi transformada no Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (Dnocs), visando a integração do desenvolvimento regional. Esse órgão atua até hoje e tem como finalidade o beneficiamento de áreas irrigadas e obras de proteção contra as secas e inundações, e subsidiar nos campos do saneamento básico, assistência às populações atingidas por calamidades públicas, além de prestar cooperação aos municípios.

Em 1918 foi divulgado o diagnóstico sobre as condições de saúde da população brasileira, através da Liga Pró-saneamento, que impulsionou o movimento sanitário, que tinha como objetivo principal despertar governantes para a necessidade do saneamento rural (BRASIL, 2006).

Para Brasil (2011), nos anos posteriores, foram criadas novas estruturas administrativas na tentativa de melhorar as condições de saneamento, constituindo os

departamentos estaduais e federais sob a forma de administração centralizada, prática que mostrou sua fragilidade quando os municípios, sem condições de gerirem os próprios sistemas, viram os recursos investidos desperdiçados, graças à própria incapacidade de administrá-los e mantê-los. Esse cenário muda e anos depois alguns municípios buscam sua autonomia, e criam os Serviços Autônomos de Água e Esgoto (SAAE).

A ampliação dos serviços de saneamento básico, em larga escala, começou no Brasil na década de 1970, em virtude de que a partir dessa época o País passou a ser predominantemente urbano, em consequência do êxodo rural. Nesse período as pessoas abandonavam o campo e migravam para os centros urbanos em busca de melhores condições de vida. Frente a essa realidade e para suprir as crescentes demandas foi criado e implementado, no início dos anos 70, o Sistema Nacional de Saneamento, integrado pelo Plano Nacional de Saneamento (Planasa), pelo Banco Nacional da Habitação (BNH) e pelo Fundo de Garantia do Tempo de Serviço (FGTS).

A primeira iniciativa do governo federal no setor de saneamento foi o Planasa. Segundo o artigo 3º do Decreto nº 82.587, de 6 de junho de 1978, o PLANASA tinha como objetivos:

- a eliminação do déficit e a manutenção do equilíbrio entre a demanda e a oferta de serviços públicos de água e de esgotos, em núcleos urbanos, tendo por base planejamento, programação e controle sistematizados;
- a auto-sustentação financeira do setor de saneamento básico, através da evolução dos recursos a nível estadual, dos Fundos de Financiamento para Água e Esgotos (FAE);
- a adequação dos níveis tarifários às possibilidades dos usuários, sem prejuízo do equilíbrio entre receita e custo dos serviços, levando em conta a produtividade do capital e do trabalho;
- o desenvolvimento institucional das companhias estaduais de saneamento básico, através de programas de treinamento e assistência técnica, e;
- a realização de programas de pesquisas tecnológicas no campo do saneamento básico.

O Planasa foi implementado na época do chamado “milagre brasileiro”. Nesse período houve um acentuado crescimento do PIB brasileiro, o surgimento de grandes programas na tentativa de eliminar o déficit em saneamento e a criação de várias companhias estaduais de água e esgotos, onde maioria dos municípios concederam a gestão do saneamento aos estados. No ano de 1989 o Planasa foi extinto em consequência do elevado endividamento e dos

descumprimentos dos contratos por parte das companhias estaduais de saneamento e dos estados (BRASIL, 2006).

Após a dispersão dos organismos que fomentavam o Planasa e declínio deste plano, sem que suas metas fossem atingidas, foi criado o Programa de Saneamento para Núcleos Urbanos (Pronurb) e o Programa de Saneamento para População de Baixa Renda (Prosanear) para implantar sistemas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário em favelas e periferias urbanas, com a participação da comunidade (BRASIL, 2011).

O marco regulatório do saneamento no Brasil ocorreu em 2007, com a sanção da Lei nº 11.445/2007, que estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico e institui a Política Nacional de Saneamento Básico.

Inicia-se nesse momento uma nova e desafiadora fase do saneamento no Brasil, onde o protagonista principal é o município como o titular dos serviços de saneamento básico. Ficaram definidas mais claramente as competências municipais quanto ao planejamento, ação indelegável a outro ente, à prestação, à regulação, à fiscalização dos serviços e à promoção da participação e controle social (BRASIL, 2011).

Apesar de todos esses esforços para melhorar o atendimento dos serviços de saneamento, muito ainda deve ser feito para se atingir as condições desejadas.

Em 2011, segundo uma pesquisa realizada pelo Instituto Trata Brasil, a média de coleta de esgoto nas 100 maiores cidades brasileiras, não ultrapassava 60%. Quando se extrapola a aferição para o país, os números disponíveis são ainda mais alarmantes, 46,2% da população não têm suas residências conectadas a redes de esgoto. Do esgoto gerado no Brasil apenas cerca de 1/3 é tratado.

3.1.3 Na Paraíba e em Campina Grande

O primeiro projeto para a implantação de um sistema de esgotamento sanitário, na Paraíba, aconteceu em 26 de junho de 1922, quando foi autorizado empréstimo para a construção de uma rede de esgotos em João Pessoa. Uma série de fatos se sucederam até 26 de julho de 1972, quando as companhias de Saneamento da Capital (Sanecap) e de Saneamento de Campina Grande (Sanesa) foram incorporadas pela Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (Cagepa). Dessa união, surgiu a empresa, nos moldes mantidos até hoje. Outras experiências de implantação de sistemas de abastecimento foram implementadas em vários municípios paraibanos, embaladas pela criação das comissões municipais de abastecimento (PARAÍBA, 2013).

Em Campina Grande o primeiro projeto de esgotamento sanitário data de 1936, com execução entre 1937 e 1938. Segundo Gomes (2013) nesse projeto, executado pelo Escritório Saturnino de Brito, foi adotado o escoamento por gravidade, dispensando-se a utilização de estações elevatórias, correspondendo atualmente aos bairros da Prata, São José e Centro da cidade. Além da rede coletora, ligações domiciliares e um emissário, este mesmo escritório apresentou o projeto de uma estação de tratamento secundário de esgotos com capacidade prevista para 100L/s que se denominou Estação da Depuradora. Esta foi prevista por não existir nas imediações da cidade nenhum rio de elevada vazão capaz de suportar o lançamento direto dos despejos. A estação Depuradora encontra-se hoje desativada, sendo utilizada para fins de pesquisas pela Universidade Federal de Campina Grande - UFCG e Universidade Estadual da Paraíba - UEPB.

De acordo com a Paraíba (1985), entre 1969 e 1972, a PLANIDRO- Engenharia e Consultoria, contratada pela Cagepa, elaborou um novo projeto que compreenderia além da ampliação da rede coletora e projeto dos interceptores da Depuradora e Bodocongó, o projeto de uma estação de tratamento através de duas lagoas retangulares com dimensões (105m x 140m), aeradas em série, prevendo-se em cada uma delas a instalação de 12 aeradores. Foram instalados 10 aeradores na primeira e dois na segunda.

Almeida (2007) relata que na 1ª etapa as obras foram iniciadas em 1973 e concluídas em 1974. Projetada para cobrir toda a área edificada da cidade e atender a uma população de 250.000 habitantes, com alcance de plano fixado em 25 anos.

3.2 Caracterização dos Sistemas de Esgotamento

Uma cidade deve contemplar dois tipos de sistemas de esgotamento, os sanitários e os pluviais. O sanitário é um conjunto de condutos e obras destinadas a coletar, transportar e destinar de forma segura as vazões de esgoto sanitário (domésticos e industriais), enquanto que o sistema de drenagem pluvial é um conjunto de estruturas que visam melhorar as condições de escoamento das águas das chuvas, evitando problemas como inundações, erosões e assoreamentos. Ambos compõem os serviços de saneamento ambiental, sendo assim constituintes da infraestrutura urbana. Seus objetivos são (BRASIL, 2006):

Objetivos Sanitários

Coletar, transportar e dispor de forma rápida e segura as águas residuárias; eliminar a poluição e reduzir e eliminar as doenças de transmissão hídrica.

Objetivos Sociais

Controle estético do ambiente e melhoria das condições de conforto e bem estar da população.

Objetivos Econômicos

Aumento da expectativa de vida dos indivíduos economicamente ativos e preservação dos recursos naturais, valorizando as propriedades e promovendo o desenvolvimento industrial e comercial.

De acordo com Dias (2003) a rede responsável pela coleta e pelo transporte dos esgotos é constituída por ramais prediais, coletores de esgoto, coletores tronco, interceptores, emissários e acessórios (tubos de inspeção e limpeza, terminais de limpeza, sifão invertido, poços de visitas e caixas de passagem) tendo como função encaminhar o líquido de forma segura sob os aspectos sanitário e ambiental até seu destino final. São necessárias para isso as seguintes condições técnicas:

- Coletar, transportar e afastar o esgoto sanitário o mais rapidamente possível a fim de impedir a septicidade;
- Permitir a continuidade da coleta e transporte;
- Garantir a estanqueidade, impedindo a passagem do esgoto para o ambiente externo ao sistema;
- Minimizar a formação de gases;
- Facilitar inspeções, desobstruções e manutenção em geral;
- Oferecer flexibilidade operacional.

Jordão e Pessôa (2011) abordam que as características físicas de um esgoto podem ser interpretadas pela obtenção das grandezas correspondentes às seguintes determinações: matéria sólida, temperatura, odor, cor e turbidez. A origem dos esgotos permite classificar suas características químicas em dois grupos: matéria orgânica e inorgânica. Segundo os autores a DBO do esgoto doméstico varia entre 100 e 400 mg/L e a DQO varia entre 200 e 800 mg/L. Podendo ele ser classificado em forte, médio e fraco (Tabela 3.1).

Tabela 3.1: Valores típicos de parâmetros de carga orgânica (mg/L) no esgoto.

Parâmetro	Esg. Forte	Esg. Médio	Esg. Fraco
DQO	800	400	200
DBO	400	200	100

Fonte: Jordão e Pessoa, 2011.

3.2.1 Componentes do sistema de drenagem pluvial

Dentre os dispositivos hidráulicos que compõem os sistemas de drenagem urbana, estão detalhados a seguir (Tabela 3.2) os mais frequentemente empregados:

Tabela 3.2: Dispositivos hidráulicos que compõem os sistemas de drenagem urbana.

Guia	conhecida como meio-fio, é a faixa longitudinal de separação do passeio com o leito viário, constituindo-se geralmente de peças de granito argamassadas.
Sarjeta	canal longitudinal, em geral triangular, situado entre a guia e a pista de rolamento, destinado a coletar e conduzir as águas de escoamento superficial até os pontos de coleta
Bocas coletoras	denominadas de bocas de lobo, são estruturas hidráulicas para captação das águas superficiais transportadas pelas sarjetas e sarjetões; em geral situam-se sob o passeio ou sob a sarjeta
Galerias	são condutos destinados ao transporte das águas captadas nas bocas coletoras até os pontos de lançamento; tecnicamente denominadas de galerias tendo em vista serem construídas com diâmetro mínimo de 400mm.
Condutos de ligação	denominados de tubulações de ligação, são destinados ao transporte da água coletada nas bocas coletoras até às galerias pluviais
Poços de visita	são câmaras visitáveis situadas em pontos previamente determinados, destinadas a permitir a inspeção e limpeza dos condutos subterrâneos

Fonte: Fernandes, 2002.

Dias (2003), comenta que as cotas topográficas definem as bacias de drenagem pluvial e esgotamento sanitário e proporcionam um escoamento gravitário, com lâmina livre. Um aspecto relevante na operação desses sistemas é o de proporcionar condições para que o fluxo não sofra mudanças bruscas e assim ocasione o depósito de materiais e/ou desprendimento de gases. Para que isso não ocorra é necessário fornecer facilidade e agilidade no escoamento, de forma que se estabeleça um meio termo, pois uma redução na perda de carga garante a velocidade de escoamento, otimiza o sistema e seus custos.

Ainda de acordo com o autor as subdivisões das bacias de esgotamento são feitas de acordo com o nível de especificações, escala de estudo e área considerada pelo projeto, tornando mais fácil a incorporação e articulação do sistema como um todo e a identificação e

priorização das medidas preventivas e corretivas. Esses sistemas devem estar aptos a constantes mudanças e assim acompanhar as contínuas modificações dos centros urbanos.

3.2.2 Tipos de sistemas

Os sistemas de esgotamentos podem ser individuais ou coletivos. A escolha depende das condições locais como, densidade populacional e aspectos financeiros. Para Irion e Silveira (2013) os sistemas individuais são adotados normalmente para o atendimento unifamiliar e são constituídos por uma fossa séptica e um dispositivo de infiltração no solo que poderá ser um sumidouro ou outro dispositivo de irrigação subsuperficial (valas). Os sistemas coletivos são adotados para o atendimento de aglomerados urbanos e são constituídos de canalizações que recebem os esgotos para transportá-los adequadamente ao destino final. O atendimento de uma comunidade, exemplo, uma vila ou um loteamento, poderá ser feito com uma fossa séptica coletiva que terá também a função de tratamento dos esgotos, desde que exista área disponível e que as características do solo e de nível de lençol subterrâneo permitam a infiltração dos esgotos sem riscos de contaminação.

Existe ainda uma subdivisão dos sistemas coletivos que podem ser unitários, separadores absolutos ou separadores parciais, sendo isso possível devido ao desenvolvimento científico e tecnológico que proporcionaram a evolução desses sistemas com características distintas, especialmente nos aspectos qualitativo e quantitativo das vazões conduzidas, sendo o separador absoluto amplamente difundido nos tempos atuais.

Volschan et al., (2009), consideram que a principal justificativa para a distinção de aplicação dos dois tipos de sistema de esgotamento sanitário se deve aos regimes de chuvas que caracterizam os climas temperado e tropical. Enquanto o clima temperado convive, frequentemente, com baixa intensidade pluviométrica, o clima tropical é sujeito a chuvas de elevada intensidade, porém de menor frequência. Caso os sistemas unitários fossem implantados em áreas de clima tropical, estes deveriam ser projetados com elevada capacidade hidráulica para coletar, transportar e tratar as chuvas intensas além de estarem sujeitos, em períodos de tempo seco, somente ao aporte de esgotos sanitários e, portanto, hidráulicamente subutilizados.

3.2.2.1 Unitário

A maioria das cidades da América do Norte e da Europa implantaram as redes de esgotamento em épocas anteriores ao surgimento do sistema separador e, por isso, adotaram os sistemas unitários (TSUTIYA e BUENO, 2004).

Neste sistema as águas pluviais, as residuárias e de infiltração são veiculadas através de um único sistema. O mesmo não é largamente implantado por exigir, inicialmente, elevados investimentos, devidos ao grande diâmetro das canalizações, bem como também por apresentar alguns inconvenientes (BRASIL, 2006):

- Dificulta o controle da poluição a jusante aumentando o custo do tratamento, devido aos grandes volumes de esgotos coletados e transportados em épocas de chuvas;
- Inicialmente exige altos investimentos na construção de grandes galerias necessárias ao transporte das vazões máximas do projeto;
- Riscos de refluxo do esgoto sanitário para o interior das residências, em épocas de cheias.

Diante destas situações é praticamente inconcebível nos dias de hoje, serem adotados sistemas unitários de esgotamento. No Brasil é obrigatório o emprego do sistema separador absoluto.

3.2.2.2 Separador Parcial

Para Tsutiya e Bueno (2004), o sistema separador parcial assim como o absoluto é constituído de redes de esgoto e de galerias de águas pluviais, porém apresentando algumas diferenças, pois no último não é admitido o recebimento de águas das chuvas, enquanto que no sistema parcial a rede de esgoto é projetada para receber águas residuárias, uma parcela águas pluviais (águas que escoam de telhados, calçadas, etc.) e as águas de infiltração do subsolo. O restante das águas pluviais escoam em outra tubulação separada.

Este sistema é admitido em algumas cidades brasileiras, a exemplo de Porto Alegre e Joinville, porém com o compromisso da separação futura do escoamento dos efluentes de esgoto em condutos diferentes daqueles para as águas pluviais. A adoção do sistema separador parcial pode vir a solucionar ou amenizar temporária e imediatamente os impactos ou problemas causados pela captação e condução das águas de chuvas e de esgoto sanitário na mesma rede coletora, deixando para as futuras gerações graves problemas de difíceis soluções, como por exemplo, a contaminação dos córregos e rios (FESTI, 2006).

3.2.2.3 Separador absoluto

O sistema separador absoluto foi idealizado e implantado nos Estados Unidos em 1879, visando aspectos práticos e econômicos. Em 1912, a cidade de São Paulo adotou o sistema separador absoluto em substituição ao sistema separador parcial (VOLSCHAN et al., 2009).

Neste sistema as águas residuárias e de infiltração são transportadas separadamente das águas pluviais, apresentando como vantagem redução no custo (canalizações de menor diâmetro), mas apresenta ainda outras vantagens como (TSUTIYA e BUENO, 2004):

- Custa menos, pelo fato de empregar tubos de diâmetros bem menores e de fabricação industrial (manilhas, tubos de PVC, etc);
- Oferece mais flexibilidade para a execução por etapas, de acordo com as prioridades (prioridade maior para a rede sanitária);
- Reduz consideravelmente o custo do afastamento das águas pluviais, pelo fato de permitir o seu lançamento no curso de água mais próximo, sem a necessidade de tratamento;
- Reduz a extensão das canalizações de grande diâmetro em uma cidade, pelo fato de não exigir a construção de galerias em todas as ruas.

3.2.2.4 Entraves dos sistemas separadores absolutos

Apesar do nome separador absoluto, esse sistema não é em sua totalidade separador, visto que, segundo a NBR 9648/86 no conceito de esgoto sanitário está inserida parcela de esgoto doméstico e industrial, águas de infiltração (contribuições originárias do subsolo) e a contribuição pluvial parasitária (a parcela do escoamento superficial absorvida pela rede de esgoto), esta última ocorre devido à condução clandestina ou acidental das águas pluviais.

Essas águas não deveriam chegar ao sistema de esgoto. Para Rosso et al., (2011), isso ocorre provavelmente pelas reminiscências de sistemas antigos, falta de prioridade aos serviços de operação, manutenção e conservação das instalações do sistema, que proporcionam a permanência de ligações clandestinas, descontrole sobre as ligações prediais irregulares, pelo padrão de urbanização adotado e falta de planejamento urbano, além de aspectos culturais.

Visto que no Brasil é adotado o sistema separador absoluto, as águas pluviais não deveriam chegar ao sistema de esgoto, ou vice versa, mas a realidade é outra, temos sistema

separador absoluto funcionando como separador parcial. No país algumas cidades enfrentam este problema.

Segundo Tsutiya et al., (2003) os sistemas de esgotos sanitários não funcionam como previsto nas normas brasileiras, que estabelecem o sistema separador absoluto. Na realidade, os sistemas operam como sistema separador parcial, pois quantidades significativas de águas indevidas são introduzidas nos coletores e nas ETEs, devido à ocorrência de chuvas. Este aumento de vazão pode comprometer o processo de tratamento provocando o arraste de sólidos, ou extravasamento, enviado aos corpos receptores, provocando problemas ambientais.

Rosso et al., (2011) apresentam a problemática das interconexões entre os sistemas de esgotamento sanitário - separador absoluto - e de drenagem pluvial e seus impactos sobre a hidrografia da cidade do Rio de Janeiro. Concluem que mesmo nos países com excelentes meios de controle técnico de equipamentos públicos, as duas redes de esgotos jamais atingem uma total separação. A diferença está no nível desta interconexão e na respectiva vulnerabilidade e comprometimento do sistema que, no caso do Rio de Janeiro, vem tornando-se incapaz de atender às premissas ambientais, o que é exemplificado pelo estado de degradação dos ambientes hídricos.

De acordo com Volschan et al., (2009) a comparação entre o sistema unitário e o separador absoluto, demonstra as vantagens técnicas, econômicas e ambientais do sistema separador. Adotado no Brasil, o mesmo deve ser mantido, mesmo que, a maioria dos sistemas projetados como separadores absolutos, esteja atuando como unitários devido às contribuições clandestinas de águas pluviais.

Para diminuir essas contribuições é necessário investir na gestão dos sistemas de esgotamento, associada à educação sanitária e ambiental das populações.

3.3 Sistema de drenagem pluvial

O crescimento urbano tem sido caracterizado pela expansão irregular da periferia com pouca obediência à regulamentação urbana relacionada com o Plano Diretor Municipal (STEFANI et al., 2005), resultando no comprometimento da sustentabilidade hídrica das cidades, o que tem produzido um impacto significativo na infraestrutura de recursos hídricos, principalmente nos sistemas de drenagem de águas pluviais.

As interações entre as atividades antrópicas e o ciclo da água, se não cautelosamente assistidas, podem gerar riscos à população. Butler e Davies (2011) dividem essas interações

em dois grupos: da retirada da água do ciclo hidrológico para prover e suprir às necessidades humanas, e da cobertura da terra com superfícies impermeáveis que alteram o curso natural da água da chuva. Ainda de acordo com Butler e Davies, essas interações dão origem a dois tipos de água que necessitam de drenagem: *águas residuais* e *águas pluviais*.

3.3.1 Histórico do sistema de drenagem urbana

Buscar um panorama da drenagem urbana ao longo da história implica fazer uma viagem há 3000 anos antes de Cristo. Burian e Edwards (2002) evidenciam que relatos históricos de civilizações antigas como os Indus e os Minoanos já construíam os primeiros sistemas de drenagem urbana visando coletar águas das chuvas, evitar inundações e transportar resíduos. Os Persas construíam cisternas para coletar as águas da chuva e de escoamentos para uso não potável.

Os Romanos se destacam pelos avanços introduzidos nos sistemas de drenagem. Hill (1984) afirma que os Romanos foram a única civilização em toda a Ásia Ocidental e Europa, da Antiguidade até os anos 1800, a construir um sistema viário planejado cuidadosamente com superfícies devidamente drenadas. Roma possuía aquedutos que traziam água para a cidade. Uma das construções mais famosas de Roma é a Cloaca Máxima, um dos primeiros sistemas de coleta de esgoto do mundo que funciona até hoje.

Com o passar dos séculos a drenagem urbana se manteve como uma das principais preocupações do homem durante a construção das cidades. A modernização desses sistemas de drenagem teve início na Europa, no século XIX. Hoje, no Brasil, todas as cidades com mais de 20 mil habitantes devem ter um plano diretor (BRASIL, 2001). Nele deve estar incluso um diagnóstico da drenagem urbana para que se tenha uma ocupação e expansão sustentável das terras.

Por definição, os sistemas de drenagem fazem parte dos quatro componentes do Saneamento Básico, que engloba também os sistemas de abastecimento d'água, de esgotos sanitários e coleta de resíduos sólidos. Em sua essência, a drenagem urbana tem por finalidade a prevenção de inundações, alagamentos, preservação da vida e do meio ambiente. Fernandes (2002) cita como benefícios de um sistema de drenagem eficiente:

- ✓ desenvolvimento do sistema viário;
- ✓ redução de gastos com manutenção das vias públicas;
- ✓ valorização das propriedades existentes na área beneficiada;

- ✓ escoamento rápido das águas superficiais, facilitando o tráfego por ocasião das precipitações;
- ✓ rebaixamento do lençol freático;
- ✓ recuperação de áreas alagadas ou alagáveis;
- ✓ segurança e conforto para a população habitante ou transeunte pela área de projeto.

No Brasil, um dos maiores problemas das águas urbanas é a deficiência na coleta e tratamento de esgoto doméstico que gera grande contaminação das águas pluviais e dos mananciais pelo esgoto *in natura* (SILVEIRA, 2002).

3.3.2 Inundações

As palavras cheia e enchente têm como origem o verbo encher, do Latim *implere*, que significa: ocupar o vazio, a capacidade ou a superfície de; e tornar cheio ou repleto. Quando as águas do rio elevam-se até a altura de suas margens, contudo, sem transbordar nas áreas adjacentes, é correto dizer que ocorre uma enchente. A partir do momento em que as águas transbordam, ocorre uma inundação (KOBAYAMA e GOERL, 2011).

Tucci e Bertoni (2003) comentam que o escoamento pluvial pode produzir inundações e impactos nas áreas urbanas devido a dois processos que ocorrem isoladamente ou combinados: *Inundações de áreas ribeirinhas e inundações devido à urbanização*.

Inundações de áreas ribeirinhas

Segundo os autores, os rios geralmente possuem dois leitos, o leito menor onde a água escoar na maioria do tempo e o leito maior, que é inundado com risco geralmente entre 1,5 e 2 anos. O impacto devido à inundação ocorre quando a população ocupa o leito maior do rio, ficando sujeita a inundação. Estas enchentes ocorrem, principalmente, pelo processo natural no qual o rio escoar pelo seu leito maior. Este tipo de enchente é decorrência de processo natural do ciclo hidrológico. Essas condições ocorrem, em geral, devido às seguintes ações:

- ✓ loteamento de áreas de riscos por empresários;
- ✓ invasão de áreas ribeirinhas, que pertencem ao poder público, pela população de baixa renda;
- ✓ ocupação de áreas de médio risco, que são atingidas com frequência menor, mas que quando o são, sofrem prejuízos significativos.

Inundações devido à urbanização

A impermeabilização, ocupação do solo e a construção da rede de condutos pluviais, promovem o aumento, a frequência e a magnitude das enchentes. O desenvolvimento urbano pode também produzir obstruções ao escoamento, como aterros e pontes, drenagens inadequadas e obstruções ao escoamento junto a condutos e assoreamento. À medida que a cidade se urbaniza, em geral, ocorrem os seguintes impactos (TUCCI e BERTONI, 2003):

- ✓ aumento das vazões máximas (em até 7 vezes) e da sua frequência devido ao aumento da capacidade de escoamento através de condutos e canais e impermeabilização das superfícies;
- ✓ aumento da produção de sedimentos devido à desproteção das superfícies e à produção de resíduos sólidos (lixo);
- ✓ deterioração da qualidade da água superficial e subterrânea, devido à lavagem das ruas, transporte de material sólido e às ligações clandestinas de esgoto domésticos e pluvial e contaminação de aquíferos.

3.3.3 Microdrenagem e Macrodrenagem

Conforme supracitado, as águas pluviais precisam ser devidamente drenadas através de sistemas e atividades para diminuir os riscos de inundações. Essas atividades podem ser classificadas de acordo com sua dimensão/abrangência: *macrodrenagem* e *microdrenagem*.

Microdrenagem

Os sistemas de microdrenagem incluem a coleta e afastamento das áreas superficiais e subterrâneas através de pequenas e médias galerias (FERNANDES, 2002). Seu percurso é traçado em função da arquitetura urbana, ou seja, as vazões são conduzidas pelas ruas da área que o sistema abrange. Seus componentes são (BRASIL, 2006):

- boca de lobo: dispositivos para captação de águas pluviais, localizados nas sarjetas;
- sarjetas: elemento de drenagem das vias públicas. A calha formada é a receptora das águas pluviais que incidem sobre as vias públicas e que para elas escoam;
- poço de visita: dispositivos localizados em pontos convenientes do sistema de galerias para permitirem mudança de direção, mudança de declividade, mudança de diâmetro e limpeza das canalizações;
- tubos de ligações: são canalizações destinadas a conduzir as águas pluviais captadas nas bocas de lobo para a galeria ou para os poços de visita; e
- condutos: obras destinadas à condução das águas superficiais coletadas.

Macro drenagem

A macro drenagem destina-se ao escoamento final das águas escoadas superficialmente, inclusive as captadas pelas estruturas de micro drenagem; conseqüentemente são dimensionadas para grandes vazões e com maiores velocidade de escoamento (MIRANDA, 2013).

Brasil (2006) comenta que a macro drenagem é um conjunto de obras que visam melhorar as condições de escoamento de forma a atenuar os problemas de erosão, assoreamento e inundações ao longo dos principais talvegues (fundos de vale). Ela é responsável pelo escoamento final das águas, a qual pode ser formada por canais naturais ou artificiais, galerias de grandes dimensões e estruturas auxiliares. A macro drenagem de uma zona urbana corresponde à rede de drenagem natural pré-existente nos terrenos antes da ocupação, sendo constituída pelos igarapés, córregos, riachos e rios localizados nos talvegues e vales. Os elementos da macro drenagem são, além da própria micro drenagem, galerias de grande porte, canais e rios canalizados.

Ainda de acordo com Brasil (2006) as obras de macro drenagem consistem em:

- retificação e/ou ampliação das seções de cursos naturais;
- construção de canais artificiais ou galerias de grandes dimensões;
- estruturas auxiliares para proteção contra erosões e assoreamento, travessias (obras de arte) e estações de bombeamento.

Na macro drenagem merecem destaque os canais abertos, tendo, por isso, sido escolhido como objeto de pesquisa do presente trabalho. Para Ramos et al., (1999), dentro de uma concepção geral, das mais comuns em drenagem urbana, que trata do aumento da condutividade hidráulica, a adoção de canais abertos em projetos de drenagem urbana sempre é uma solução que deve ser cogitada como primeira possibilidade pelas seguintes principais razões:

- possibilidade de veiculação de vazões superiores à de projeto mesmo com prejuízo da borda livre;
- facilidade de manutenção e limpeza;
- possibilidade de adoção de seção transversal de configuração mista com maior economia de investimentos;
- possibilidade de integração paisagística com valorização das áreas ribeirinhas, quando há espaço disponível;
- maior facilidade para ampliações futuras, caso seja necessário.

Ainda segundo os autores, os canais abertos apresentam, por outro lado, restrições à sua implantação em situações em que os espaços disponíveis sejam reduzidos, como é o caso de áreas de grande concentração urbana.

3.4 Qualidade das águas de drenagem urbana

Comumente associamos a poluição da água ao processo de urbanização devido ao lançamento de efluentes domésticos e industriais nos corpos hídricos. Mas, segundo Porto (1995), é perceptível que parte da poluição gerada em áreas urbanas tem origem no escoamento superficial sobre áreas impermeáveis, áreas em fase de construção, depósitos de lixo ou resíduos industriais, entre outros. O escoamento superficial da água, nesses locais, carrega o material solto e solúvel que encontra, transportando assim, cargas poluidoras significativas para os corpos hídricos.

A poluição ocasionada pelo escoamento superficial tem seu início no ciclo hidrológico, uma vez que os eventos pluviométricos provocam uma lavagem das superfícies urbanas contaminadas com diferentes componentes orgânicos e inorgânicos. Esses poluentes têm origens diversificadas, entre os quais podem ser enumerados: o trânsito de veículos automotores (resíduos de combustíveis, lubrificantes); a abrasão e o desgaste das vias públicas pelo tráfego veicular; os resíduos de vegetação (folhas e galhos de árvores); o lixo acumulado nas vias e calçadas; os resíduos orgânicos de pássaros e animais domésticos; as atividades de construção e indústria; os efluentes de sistemas sépticos defeituosos ou ineficientes, esgoto doméstico que não é coletado e escoado através da drenagem e a deposição de poluentes atmosféricos (TUCCI, 2003; BOLLMANN e MARQUES, 2006).

Diante de sistemas sanitários ineficientes, percebe-se um aumento da presença de poluentes nos sistemas de drenagem de águas pluviais urbanas, além daqueles esperados pela lavagem natural das áreas drenadas, cujos poluentes estão associados aos diferentes usos e ocupação do solo.

Para Porto (1995) os principais poluentes carregados para os corpos receptores são sedimentos, matéria orgânica, metais como cobre, zinco, manganês, ferro e chumbo, hidrocarbonetos provenientes do petróleo, tóxicos como os pesticidas e os poluentes do ar, que se depositam sobre as superfícies.

3.4.1 Indicadores de qualidade da água de drenagem pluvial

Tucci (1997) relata que a qualidade da água pluvial não é melhor que a do efluente de um tratamento secundário. A quantidade de material suspenso na drenagem pluvial é superior à encontrada no esgoto *in natura*, e mais significativa no início das enchentes. A qualidade da água da rede de drenagem pluvial depende de fatores como limpeza urbana e sua frequência, intensidade da precipitação e sua distribuição temporal e espacial, época do ano e tipo de uso da área urbana. Os principais indicadores da qualidade dessa água são os parâmetros que caracterizam a poluição orgânica e a quantidade de metais. Na Tabela 3.3 são apresentados os valores médios de parâmetros de qualidade de águas pluviais, medidos em algumas cidades.

Tabela 3.3 - Valores médios de parâmetros de qualidade de águas pluviais em mg/L.

Parâmetro	Durham (1)	Cincinatti (2)	Tulsa (3)	P. Alegre (4)
DBO		19	11,8	31,8
Sólidos totais	1440		545	1523
PH		7,5	7,4	7,2
Coliformes (NMP/100ml)	23.000		18.000	1,5x10 ⁷
Ferro	12			30,3
Chumbo	0,46			0,19
Amônia		0,4		1,0

1 - Colson (1974); 2 - Weibel et al. (1964); 3 - AVCO (1970), 4 - Ide (1984).

Fonte: Tucci, 1997.

A Tabela 3.4 apresenta uma comparação das concentrações de poluentes (DBO, DQO, SST e óleos/hidrocarbonetos) em meio urbano e rural.

Tabela 3.4: Comparação de concentrações de poluentes em meio urbano e rural.

Parâmetro	Meio Rural	Meio urbano
DQO (mg/l)	300	5-3100
DBO (mg/l)	25-165	1-700
SST (mg/l)	11-5500	2-11300
Óleos/hidrocarbonetos (mg/l)	28-400	0-110

Fonte: Vale, 2011.

Considerando que, um mesmo poluente apresenta valores distintos de um local para outro, a Tabela 3.5 apresenta a qualidade das águas pluviais em meio urbano em alguns casos.

Tabela 3.5: Qualidade das águas pluviais em meio urbano em diferentes locais.

Estudo	SST (mg/l)	DQO (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)	Pb (mg/l)	Zn (mg/l)	Cu (mg/l)
Valores típicos – EUA (Field et al., 1993)	415	115	20	-	-	-
Concentrações obtidas na Suíça (Gromaire –Mertz, 1998)	64-182 (5-960)	58-138 (20-543)	6-28 (2-191)	-	-	-
Base de dados QASTOR, França (Ferreira, 2006)	160-460 [643-3800]	80-320 [500-1500]	13-130 [50-750]	-	-	-
CME obtidos na Europa (Ferreira, 2006)	190 (21-2582)	85 (20-365)	11 (7-22)	-	-	-
Concentrações típicas nos EUA (U. S. Enviromental Protection Agency, 2004)	67-101	-	25-100	0,37	0,17	0,03
CME obtidas no Irão (Taebi e Droste, 2003)	149 (43-467)	649 (139-2542)	-	0,314 (0,018-0,558)	0,453 (0,015-2,386)	-
CME obtidas na Coreia (Choe et al., 2002)	193 (43-123)	197 (80-313)	83 (106-279)	-	-	-
Concentrações em Lisboa, Ajuda (Adaptado de Ferreira, 2006)	390,3 (8,0-2300,0)	202,8 (2,0-1100,0)	31,9 (2,0-241,0)	-	-	-
Concentrações em Lisboa, Ajuda (Adaptado de Gondim, 2008)	280 (50-520)	246 (25-660)	85 (10-250)	-	-	-

Legenda: x – concentrações médias; (x-x) intervalo de valores observados; [x-x] – concentrações médias dos eventos mais poluídos

Fonte: Adaptado de Vale, 2011.

3.4.2 Impactos sobre a qualidade da água no corpo receptor

O aporte contínuo de poluentes nos corpos receptores, ocasionado por lançamentos de resíduos líquidos e sólidos, compromete a qualidade da água. Uma preocupação relacionada aos níveis dos poluentes é quanto a sua remoção. Uma vez presentes, e não removidos podem

causar uma série de alterações na qualidade dos corpos receptores. Existem três classes de impactos desencadeados nos ambientes receptores pelo aporte de poluentes carreados pelas águas de chuva: i) mudanças de curta duração na qualidade da água durante e após precipitações, com o aumento da concentração de alguns poluentes como toxinas e bactérias; ii) impactos de longa duração provocados pelo efeito cumulativo do lançamento de poluentes (principalmente metais pesados e compostos organoquímicos); e iii) impactos físicos devido à erosão e deposição de resíduos sólidos em eventos chuvosos repetidos, que alteram os habitats aquáticos que se depositam sobre as superfícies (BELOTTI, 2011).

Ramos et al., (1999) relatam que a magnitude do impacto causado pelo lançamento da drenagem urbana depende de fatores como o estado do corpo d'água antes do lançamento, sua capacidade assimilativa e, ainda, da quantidade e distribuição das chuvas, uso do solo na bacia, tipo e quantidade de poluente arrastado. Os problemas então gerados podem ser agrupados em seis grandes categorias: alterações estéticas, depósitos de sedimentos, depleção da concentração de oxigênio dissolvido, contaminação por organismos patogênicos, eutrofização e danos devidos à presença de tóxicos.

As principais modificações estéticas são associadas à concentração dos sólidos quando presentes, afetam a transparência da água, aumentam a turbidez, alteram a cor modificando, assim, a aparência do corpo hídrico.

Para Belotti (2011), a disposição de sedimentos no corpo d'água receptor produz importantes alterações morfológicas, dentre as quais sua gradual colmatação e consequente redução da capacidade de descarga líquida, além de afetar de forma importante os ecossistemas aquáticos, em função do aumento de turbidez e consequente diminuição da transparência da água. Outro fator de importância diz respeito à fração mais fina dos sedimentos, as argilas, que por processos de adsorção acabam sendo transportadores de outros poluentes como metais, amônia, fertilizantes, pesticidas, e outros tóxicos.

A matéria orgânica presente nos esgotos é uma característica de primordial importância, sendo a causadora do principal problema de poluição para os corpos d'água: o consumo de oxigênio dissolvido pelos microrganismos nos seus processos metabólicos de utilização e estabilização da matéria orgânica. Esse consumo reduz os níveis de OD, prejudicando a permanência dos organismos de vida aquática (VON SPERLING, 2005).

Os coliformes termotolerantes são organismos indicadores de contaminação fecal, quando presentes no corpo receptor, comprometem o seu uso para vários fins, por exemplo abastecimento humano, recreação, pesca e irrigação. O aparecimento de material fecal em

águas de drenagem urbana ocorre devido às ligações clandestinas de esgotos e dejetos de animais.

A eutrofização do corpo d'água ocorre devido ao seu enriquecimento ocasionado pelo aporte de nutrientes como nitrogênio e fósforo, resultando na fertilização do meio aquático, aumentando significativamente as populações do fitoplâncton. Esse processo provoca uma redução nas concentrações de oxigênio dissolvido o que acarreta a mortandade de peixes.

A presença de metais pesados, pesticidas e outros produtos tóxicos no escoamento superficial urbano é nociva ao ecossistema aquático e prejudica o uso do corpo receptor para abastecimento humano, irrigação e recreação. Muitos desses poluentes se acumulam no sedimento, tornando sua permanência no ecossistema bastante longa, a toxicidade depende de fatores, como, a forma química na qual se encontra o elemento (PORTO, 1995).

Em cidades americanas e europeias, a poluição difusa tem sido estudada e quantificada, sendo propostas medidas de controle. No Brasil, a poluição devido às cargas difusas tem sido pouco estudada, uma vez que os lançamentos de esgotos domésticos ainda não foram suficientemente solucionados (PAZ et al., 2004).

3.4.3 Contribuição de esgotos em sistemas de drenagem pluvial

No Brasil, por norma, tem sido adotado o sistema separador absoluto, para dimensionar os sistemas de esgotamento sanitário. Em sua configuração as águas residuárias e de infiltração, são drenadas em um sistema independente das águas pluviais. Contudo, na prática, percebe-se que parcelas significativas de águas de chuvas afluem aos sistemas de esgoto, assim como parcelas de esgotos dirigem-se para a rede de drenagem pluvial. Desta forma, temos um sistema separador parcial. Essa realidade é preocupante, visto que os sistemas não estão preparados para tal situação, expondo desta forma a população a riscos sanitários e os recursos hídricos a contaminação.

Diante desta realidade, a literatura nacional traz alguns estudos referentes ao tema das interconexões desses sistemas. Contudo, percebe-se que são mais comuns pesquisas relacionadas à contribuição de águas residuárias no sistema de esgoto e não o inverso.

Tsutiya e Bueno (2003) realizaram uma pesquisa no estado de São Paulo e constataram que as ligações de esgoto, devem ser analisadas. Mesmo em bairros considerados como de ocupação recente, foi perceptível que a introdução de águas de chuvas na rede coletora é substancial e, portanto, a sistemática de inspeção e liberação da ligação tem demonstrado ser incapaz de evitar a ligação considerada “clandestina” de água de chuva na

rede de esgoto. Os autores recomendam a adoção, de um a de 30% sobre a vazão máxima de esgoto no período seco, e a taxa de contribuição de águas pluviais de 3 l/s.km, ou seja, metade do valor preconizado pela norma NBR 12207 da ABNT. Valores acima devem ser extravasados para não prejudicar o funcionamento do sistema de esgoto, de modo que o projeto já deve prever essa contribuição adicional.

Tsutiya et al., (2003), na cidade de Franca-SP, concluíram que, para o ano de 2002, foi obtida uma taxa de contribuição de esgoto nas águas pluviais afluentes à ETE Franca de 2,60 a 2,72 L/s.km e exclusivamente para águas pluviais, descontando-se a vazão média de esgoto tratado de 2,13 a 2,26 L/s.km, confirmando-se a existência considerável de contribuição de águas pluviais ao sistema de esgotamento sanitário.

Essas contribuições ocorrem porque, na elaboração dos projetos e dimensionamento de sistema de esgotamento sanitário, não são consideradas adequadamente as contribuições das águas pluviais, podendo assim ocorrer sobrecarga no sistema, comprometendo todo o seu funcionamento. Quando essa contribuição é superestimada, sem a aplicação de um índice confiável, poderá ocasionar um superdimensionamento do sistema, comprometendo seu funcionamento e onerando os investimentos financeiros na implantação, operação e manutenção do sistema. A falta de um coeficiente confiável e o desenvolvimento de práticas conservadoras contribuem para o agravamento dessa situação, (FESTI, 2003).

Campanha et al., (2007), analisaram o aspecto qualitativo das bacias de retenção localizadas no Plano Piloto da cidade de Brasília – DF (Tabela 3.6), e constataram que ocorrem contaminações das águas pluviais pelas ligações clandestinas de esgotos domésticos.

Tabela 3.6: Concentração média dos parâmetros da qualidade do escoamento pluvial para a bacia de retenção alagada.

Temp. (°)	pH	Condut. (µs/cm)	DQO (mg/l)	DBO (mg/l)	Sol. Suspen. (mg/l)	Nitrato (mg/l)	Coliformes Totais (NMP/100ml)	Coliformes Termotoler. (NMP/100ml)
23	6,9	211,14	55,9	22,1	9,4	0,3	251.000	236.000

Fonte: Campanha et al., 2007.

Paz et al., (2004), avaliando a influência do escoamento superficial na qualidade das águas na bacia hidrográfica Alto da Colina, no município de Santa Maria, RS, concluíram que ocorre contaminação das águas pela presença acentuada de material orgânico e bacteriano originários da descarga do sistema de esgotos combinados do loteamento Alto da Colina no corpo d'água e também pelo lançamento de resíduos sólidos no mesmo. Foi possível observar uma maior concentração de coliformes totais e fecais no início do escoamento, fato que pode

ser atribuído à lavagem dos depósitos de sedimentos do sistema de esgotamento combinado do loteamento Alto da Colina. Os valores de DBO_5 variam de 3,5 mg/L, em tempo seco, a 18,1 mg/L, em tempo úmido.

Devido aos problemas acima relatados, é comum dizer que os sistemas separadores estão funcionando como unitários, no entanto Dias (2003) defende que, o fato dos coletores de drenagem pluvial receberem aportes de esgoto sanitário devido às interconexões, em áreas contempladas pelo sistema separador absoluto, não torna o sistema unitário, uma vez que o tipo de efluente define diversas características das unidades que compõem os respectivos sistemas. Portanto, o transporte de esgoto sanitário pelo sistema de drenagem pluvial e o aporte de águas pluviais no sistema de esgotamento sanitário, são situações atípicas ao sistema separador absoluto.

O sistema separador absoluto adotado no Brasil é considerado por muitos o mais adequado, por atender aos aspectos sanitários, ambientais e financeiros, tendo em vista que sua implantação é menos onerosa. Porém, existem alternativas que, em condições adequadas, podem ser aceitas, desde que atendam rigorosamente aos critérios de projeto, construção e operação. É importante destacar que qualquer alternativa adotada requer um conjunto de medidas que contemplem controle, fiscalização e monitoramento das interconexões entre os sistemas. Os projetos que não contemplarem essas medidas não serão eficientes quanto ao controle da poluição gerada pelos centros urbanos aos corpos receptores.

As modificações nos processos hidrológicos e de qualidade da água ocasionadas pela urbanização e pela ineficácia dos dispositivos empregados no escoamento das águas pluviais urbanas indicam a necessidade de pesquisas, que visem novas alternativas para o seu controle, buscando inovar a configuração de gestão para a questão das águas pluviais urbanas.

3.5 Gestão de águas pluviais urbanas

A urbanização altera as características do espaço natural, áreas antes permeáveis tornam-se impermeáveis pela presença de ruas, calçadas e telhados. Dessa forma, aumenta a velocidade do escoamento superficial, exigindo canais com maiores dimensões, que nem sempre são implantados, causando as chamadas inundações urbanas. Silveira (2002) comenta que, em síntese, a urbanização desequilibra o fluxo natural das águas, seja ela mesma alterando os volumes dos diversos processos hidrológicos, seja interpondo-se ao caminho natural delas.

Tucci (2002) fazendo uma comparação dos cenários de desenvolvimento e aspectos de saneamento, entre países desenvolvidos e o Brasil (Tabela 3.7), mostra que nos países desenvolvidos a maior parte dos problemas foi solucionada quanto ao abastecimento de água, tratamento de esgoto e controle quantitativo da drenagem urbana.

Tabela 3.7 - Comparação dos aspectos da água no meio urbano.

Infra-estrutura urbana	Países desenvolvidos	Brasil
<i>Abastecimento de água</i>	Resolvidos, cobertura total	Grande parte atendida, tendência de redução da disponibilidade devido à contaminação, grande quantidade de perdas na rede;
<i>Esgotamento sanitário</i>	Cobertura quase total	Falta de rede e estações de tratamento; as que existem não conseguem coletar esgoto como projetado;
<i>Drenagem urbana</i>	Controlados os aspectos quantitativos; Desenvolvimento de investimentos para controle dos aspectos de qualidade da água	Grandes inundações devido à ampliação de inundações; Controle que agrava as inundações através de canalização; Aspectos de qualidade da água nem mesmo foram identificados.
<i>Inundações ribeirinhas</i>	Medidas de controle não-estruturais como seguro e zoneamento de inundações	Grandes prejuízos por falta de política de controle

Fonte: Tucci, 2002.

Para Tucci (2005), no Brasil, o controle atual do escoamento na drenagem urbana tem sido realizado de forma equivocada com sensíveis prejuízos para a população. A origem dos impactos é devida principalmente a dois tipos de erros: o primeiro diz respeito ao *princípio dos projetos de drenagem*: “A melhor drenagem é a que retira a água pluvial excedente o mais rápido possível do seu local de origem”. O segundo diz respeito à *avaliação e controle por trechos*: na microdrenagem os projetos aumentam a vazão e transferem todo o seu volume para jusante. Na macrodrenagem são construídos canais para evitar a inundação em cada trecho crítico. Este tipo de solução segue a visão particular de um trecho da bacia, sem que as consequências sejam previstas para o restante da mesma ou dentro de diferentes horizontes de ocupação urbana. A canalização dos pontos críticos acaba apenas transferindo a inundação de um lugar para outro na bacia.

3.5.1 Tipos de medidas de controle

As medidas adotadas para o controle das inundações podem ser classificadas em estruturais e não-estruturais. As medidas estruturais, segundo Filho et al., (2000) são medidas essencialmente construtivas, que modificam as características hidráulicas de rio, projetadas com o intuito de controlar as inundações, inclui a construção de barragens, reservatórios de retenção, diques, melhoramento de canal de rio, entre outros. Para Tucci (1993), as medidas estruturais podem ser intensivas ou extensivas. A Tabela 3.8 mostra algumas medidas estruturais de controle de cheias.

Tabela 3.8: Medidas estruturais de controle de cheias.

MEDIDA	PRINCIPAL VANTAGEM	PRINCIPAL DESVANTAGEM	APLICAÇÃO
MEDIDAS EXTENSIVAS			
<i>Cobertura Vegetal</i>	Redução do pico de cheia	Impraticável para grandes áreas	Pequenas bacias
<i>Controle de perda</i>	Redução do assoreamento	Impraticável para grandes áreas	Pequenas bacias
MEDIDAS INTENSIVAS			
Diques e polderes	Alto grau de proteção de uma área	Danos significativos caso ocorram falhas	Grandes rios
<i>Melhoria do Canal</i>			
Redução da rugosidade por obstrução	Aumento da vazão com pouco investimento	Efeito localizado	Pequenos rios
Corte de meandro	Ampliação da área protegida e aceleração do escoamento	Impacto negativo em rio com fundo aluvionar	Área de inundação estreita
<i>Reservatórios</i>			
Todos os reservatórios	Controle a jusante	Localização difícil	Bacias intermediárias
Reservatórios com comportas	Mais eficiente com o mesmo volume	Vulnerável a erros humanos	Projetos de usos múltiplos
Reservatório para cheias	Operação com o mínimo de perdas	Custo não partilhado	Restrito ao controle de enchentes
<i>Mudança de canal</i>			
Caminho das cheias	Amortecimento de volume	Depende da topografia	Grandes bacias
Desvios	Redução da vazão do canal principal	Depende da topografia	Bacias médias e grandes

Fonte: Dias e Antunes, 2010.

As medidas não-estruturais não envolvem alterações físicas, envolvem práticas de gerenciamento como regulamentação do uso e ocupação no solo, prevenção de enchentes, sistema de alerta (com coleta e transmissão de informações com base nas quais a defesa civil

acompanha a situação e planeja suas ações) e relocação da população que reside em áreas de riscos e mudança de comportamento (TUCCI, 1997).

Tucci (2002) aborda que para prevenir as inundações são necessárias medidas que controlem o escoamento. Estas medidas podem ser classificadas, de acordo com sua ação na bacia hidrográfica:

- *Distribuída ou na fonte*: age no controle sobre o lote, estacionamentos, praças e passeios.
- *Na microdrenagem*: age sobre o hidrograma resultante de um ou mais loteamentos. Para que o acréscimo de vazão máxima não seja transferido para jusante, utiliza-se o amortecimento do volume gerado, através de dispositivos como tanques, lagos e pequenos reservatórios abertos ou enterrados, entre outros.
- *Na macrodrenagem*: controla os principais riachos urbanos. No Brasil o controle da macrodrenagem tem sido realizado através de canalizações. A solução de controle numa bacia urbana envolve a combinação de medidas distribuídas, mas principalmente a combinação do aumento de capacidade com o amortecimento.

3.5.2 Gestão sustentável

Para Dias e Antunes (2010), diante do cenário constante de enchentes, surge a necessidade de projetar sistemas de drenagem mais eficazes através da adoção de medidas sustentáveis, já que aumentar a capacidade de escoamento das redes seria muito oneroso e, em condições meteorológicas extremas, talvez não solucionasse o problema como um todo, nem em longo prazo. Surge então o conceito de drenagem sustentável, que objetiva o controle do escoamento superficial o mais próximo possível do local onde a precipitação atinge o solo, isto é, tem-se um controle de escoamento na fonte.

Apesar da drenagem sustentável ser mais adequada, ainda não é muito difundida no Brasil, isso ocorre principalmente porque a implantação do conceito sustentável é mais caro, um vez que exige a integração de várias áreas e equipes multidisciplinares. Segundo Silveira (2002) algumas capitais, como Rio de Janeiro, Belo Horizonte, Porto Alegre e Curitiba, promoveram ações no sentido de estabelecer planos diretores de drenagem urbana, seguindo os preceitos do conceito ambiental que passa pela conscientização de que a drenagem urbana deve ser integrada ao planejamento ambiental das cidades, deixando de ser apenas um mero problema de engenharia.

Uma alternativa indicada para a adoção de medidas sustentáveis é pôr em prática os princípios da drenagem sustentável, visto que esses são essenciais para o bom desenvolvimento de um programa consistente de drenagem urbana. Para Tucci e Genz (1995) a drenagem urbana moderna deve ter os seguintes princípios:

- Os impactos de quaisquer medidas não devem ser transferidos para jusante;
- Propor medidas de controle para o conjunto da bacia;
- Controle permanente na ocupação do solo e áreas de risco ;
- Educação ambiental qualificada para o técnico, população e poder público;
- Competência técnico-administrativa dos órgãos públicos gestores e
- Atualização de normas brasileiras sobre drenagem urbana.

O resultado é que a área alterada passa a ter um comportamento similar às condições hidrológicas de pré-desenvolvimento, significando menor escoamento superficial, menores níveis de erosão e de poluição das águas e, conseqüentemente, menores investimentos para a mitigação de impactos a jusante (DIAS e ANTUNES, 2010). Na realidade o que se propõe é uma mudança no modelo de gestão que vem sendo adotado até então, que passe de caráter sanitário para ambiental, visto que esse último atende aos objetivos de ambos, porém de uma forma ambientalmente adequada, seguindo os princípios descritos acima, destacando o controle na fonte.

3.5.3 Medidas sustentáveis

Dias e Antunes (2010) comentam que o modelo sustentável propõe medidas tanto estruturais quanto não-estruturais e incorpora técnicas inovadoras da engenharia como a construção de estacionamentos permeáveis, pavimentos porosos, telhados verdes e de canais abertos com vegetação a fim de atenuar as vazões de pico e reduzir a concentração de poluentes das águas de chuva nas áreas urbanas.

Entre as medidas estruturais merece destaque as de controle distribuídas ou na fonte. Para Tucci (2005) as principais medidas de controle no lote, estacionamento, parques e passeios são denominadas normalmente, de controle na fonte, são elas: aumento de áreas de infiltração e percolação, e dispositivos de armazenamento temporário em reservatórios residenciais ou telhados.

As medidas não-estruturais quando trabalhadas em conjunto com as anteriores produzem significativa redução nos prejuízos ocasionados pelas inundações. São elas, plano

diretor de drenagem urbana, zoneamento de áreas inundáveis, educação ambiental, entre outras.

A falta de planos diretores de drenagem urbana, que busquem solucionar os problemas da drenagem, considerando a bacia hidrográfica como área de gestão, atrelada à inexistência de mecanismos administrativos e legais que possibilitem uma adequada gestão dos efeitos do processo de urbanização sobre as inundações e a elaboração imprópria de grande parte dos projetos de drenagem urbana, colaboram para o agravamento do problema na maioria das cidades brasileiras. De forma geral, para solucionar os problemas na drenagem urbana, é preciso considerar uma combinação de medidas estruturais e não estruturais, bem como avaliar interferências de outros sistemas de saneamento básico nos sistemas de drenagem urbana, de forma a respeitar o uso para o qual o mesmo foi planejado.

3.6 Reúso

Por muito tempo acreditou-se que a água fosse um recurso infinito, porém o aumento da demanda para o consumo humano, agrícola e industrial, mudaram essa realidade e, hoje, nos deparamos com a limitação das reservas de água doce no planeta. Tal situação revela a premente necessidade de buscar estratégias que visem racionalizar a utilização dos recursos hídricos e diminuir a demanda, uma forma encontrada foi a de reutilização da água.

Hespanhol (2002) relata que, nas regiões áridas e semiáridas, a água se tornou um fator limitante para o desenvolvimento urbano, industrial e agrícola. Planejadores e entidades gestoras de recursos hídricos procuram, continuamente, novas fontes de recursos para complementar à pequena disponibilidade hídrica. Entretanto, o fenômeno da escassez não é atributo exclusivo das regiões áridas e semiáridas. Muitas regiões com recursos hídricos abundantes, mas insuficientes para satisfazer demandas excessivamente elevadas, também experimentam conflitos de usos e sofrem restrições de consumo, que afetam o desenvolvimento econômico e a qualidade de vida.

Frente a esta realidade, a possibilidade do reúso de esgotos tratados surge como uma alternativa a ser implantada nos processos de gestão dos recursos hídricos, uma vez que pode substituir o uso de águas que são destinadas a fins agrícolas, entre outros. Ao adotar essa medida, ocorre uma redução na demanda sobre os corpos hídricos e economia de volumes significativos de água de melhor qualidade, substituídos por água de qualidade inferior.

Bernardi (2003) comenta que, a reutilização de águas residuárias, de uma maneira geral, e das domésticas, de forma particular, promove as seguintes vantagens:

- Propicia o uso sustentável dos recursos hídricos;
- Minimiza a poluição hídrica nos mananciais;
- Estimula o uso racional de águas de boa qualidade;
- Possibilita a economia de dispêndios com fertilizantes e matéria orgânica;
- Provoca aumento da produtividade agrícola;
- Permite maximizar a infraestrutura de abastecimento de água e tratamento de esgotos pela utilização múltipla da água aduzida.

O reúso também apresenta algumas desvantagens (Cunha, 2008):

- Os impactos negativos (as águas durante a reutilização vão concentrando os poluentes, alterando as características do esgoto doméstico dificultando o seu tratamento e a autodepuração);
- Os riscos associados à saúde humana (transmissão de doenças infecciosas devido aos patógenos presentes nos esgotos; às substâncias químicas e a produtos farmacêuticos);
- A aceitabilidade (a opinião pública é fundamental para a viabilidade do reúso).

3.6.1 Definições

A Organização Mundial da Saúde lançou em 1973 (WHO 1973, *apud* Moruzzi, 2008), um documento com a classificação dos tipos de reúsos em diferentes modalidades, segundo seus usos e finalidades, de acordo com as seguintes definições:

- *Reúso indireto*: ocorre quando a água já usada, uma ou mais vezes para uso doméstico ou industrial, é descarregada nas águas superficiais ou subterrâneas e utilizadas novamente a jusante, de forma diluída; este tipo de reúso quando feito através de ações planejadas é tido como reúso indireto intencional, do contrário, será reúso indireto não intencional;
- *Reúso direto*: é o uso planejado e deliberado de esgotos tratados para certas finalidades como irrigação, uso industrial, recarga de aquífero e água potável;
- *Reciclagem interna*: é o reúso da água internamente a instalações industriais, tendo como objetivo a economia de água e o controle da poluição.

O reúso ainda pode ser classificado de acordo com a intenção em realizá-lo:

- *O reúso intencional ou planejado*: ocorre quando há conhecimento de sua realização, ou seja, decorre de uma ação humana consciente. O reúso intencional ou planejado

implica a existência de um sistema de tratamento de efluentes que atenda aos padrões de qualidade requeridos pelo novo uso que se deseja fazer da água.

- *O reúso não intencional ou não planejado*: normalmente ocorre no reúso indireto, quando o efluente é despejado no meio ambiente e aqueles que fazem o uso das águas a jusante destes lançamentos não têm consciência desta ocorrência.

De acordo com Cunha (2008) o reúso é classificado de acordo com o seu destino, estabelecendo as seguintes modalidades: urbano, industrial, recreação, pesca, navegação e agrícola. Esse último tipo de reúso não potável para fins agrícolas é classificado segundo o tipo de cultura que o utiliza, apresentando-se em dois grupos. No primeiro grupo, plantas não comestíveis, silvicultura, pastagens, fibras e sementes e no segundo grupo, plantas consumidas cozidas e cruas.

3.6.2 Reúso na agricultura

Bernardi (2003) aborda que a atividade de irrigação é a maior consumidora de água entre os diversos usos desse recurso natural. Dentro dela, os consumos específicos variam bastante, a depender do método de irrigação empregado. A natureza do solo, as exigências das diferentes culturas e os índices de evaporação das regiões são elementos importantes para se definir o consumo de água para irrigação.

As reaplicações de água com retorno expressivo está na utilização das águas servidas do meio urbano para um segundo uso na agricultura. Apesar de serem consideradas “poluídas”, as águas servidas contêm nutrientes que beneficiam o solo. Em geral, o setor agrícola dispense vultosos recursos em fertilizantes químicos para compensar as necessidades das culturas em nitrogênio, fósforo e potássio, que estão contidos em grandes quantidades nas águas servidas de origem urbana ou doméstica. Estudos realizados na Califórnia, Israel e Portugal demonstraram que diversas culturas irrigadas com águas servidas requerem pouca ou nenhuma complementação adicional de fertilizantes químicos ou orgânicos (BERNARDI, 2003).

Para Mancuso e Santos (2007) os componentes considerados importantes em águas de reúso para irrigação agrícola, levando em conta seus efeitos sobre as plantas, são a salinidade, as substâncias tóxicas, o sódio, o cloro e os nutrientes.

A classificação da água segundo o U.S. Salinity Laboratory Staff utiliza a condutividade elétrica (CE) para avaliar o risco de salinidade e a RAS para avaliar o risco de sodicidade (MONTEIRO et al. 2009).

A infiltração, em geral, aumenta com a salinidade e, diminui com a redução, ou, o aumento no teor de sódio em relação ao cálcio e magnésio (RAS). Desta forma, para avaliar o efeito final da qualidade da água, devem-se considerar estes dois fatores (NOVULARI, 2003).

Salinidade

A presença de sais em excesso (salinidade), oriundos do próprio solo ou da água, reduz a disponibilidade da água para as plantas, a tal ponto que afetam seus rendimentos. As culturas não respondem da mesma forma à salinidade: algumas produzem rendimentos aceitáveis a níveis altos e outras são sensíveis a níveis relativamente baixos (NOVULARI, 2003).

Mancuso e Santos (2007) classificam as plantas em quatro categorias, quanto ao nível de aceitação de salinidade:

- ✓ Sensíveis: feijão, cenoura, cebola, maçã, cítricos;
- ✓ Moderadamente sensíveis: milho, amendoim, cana-de-açúcar, alface, batata, tomate;
- ✓ Moderadamente tolerantes: soja, sorgo, trigo, mamão, aveia, cevada para forragem;
- ✓ Tolerantes: cevada, algodão, aspargos, jojoba, centeio, beterraba.

Sodicidade

O excesso de sódio em relação ao cálcio e magnésio diminui a permeabilidade dos solos, provocando uma redução nas taxas de infiltração de água e, em consequência, a absorção de água pelas plantas.

Razão de Adsorção de Sódio

A Razão de Adsorção de Sódio (RAS) refere-se ao risco de sodicidade (elevada quantidade da concentração de sódio em relação às de outros sais) no solo. Quando presente na água para irrigação o sódio pode ser adsorvido pelos solos levando-os ao endurecimento e consequente impermeabilização. Para determinar a quantidade de sódio prejudicial, é necessário analisar também os teores de cálcio e magnésio, visto que estes agem no deslocamento do sódio contido no solo.

A proporção relativa de sódio é expressa através do RAS:

$$RAS = \frac{Na^+}{\left(\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2} \right)^{\frac{1}{2}}}$$

Eq. 3.1

Segundo SILVA *et al.*, (2011) numa avaliação qualitativa, as águas se dividem em quatro classes de salinidade à medida que aumenta a concentração de sais e, conseqüentemente, sua condutividade elétrica, recebendo denominações sucessivas de C1, C2, C3 e C4, de acordo com os limites apresentados por Richards (1954), com as seguintes interpretações:

C1 (CE= 0 – 250 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) – Água de baixa salinidade. Pode ser usada para irrigação da maioria das culturas, em quase todos os tipos de solos, com muito pouca probabilidade de que se desenvolvam problemas de salinidade.

C2 (CE = 250 – 750 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) – Água de média salinidade. Pode ser usada sempre quando houver uma lixiviação moderada de sais.

C3 (CE = 750 – 2250 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) – Água de alta salinidade. Pode ser usada em solos com drenagem deficiente.

C4 (CE = 2250 - 5000 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) – Água de muito alta salinidade. Não é apropriada para irrigação sob condições normais, porém pode ser usada ocasionalmente, em circunstâncias especiais.

Silva *et al.*, (2011) dividiu as águas em quatro classes tomando como base valores limites de RAS em função da CE de acordo com o seguinte:

S1 (RAS < 18,87 – 4,44logCE) – água com baixa concentração de sódio. Pode ser usada para irrigação na maioria dos solos, com pouca probabilidade de se atingir níveis perigosos de sódio trocável.

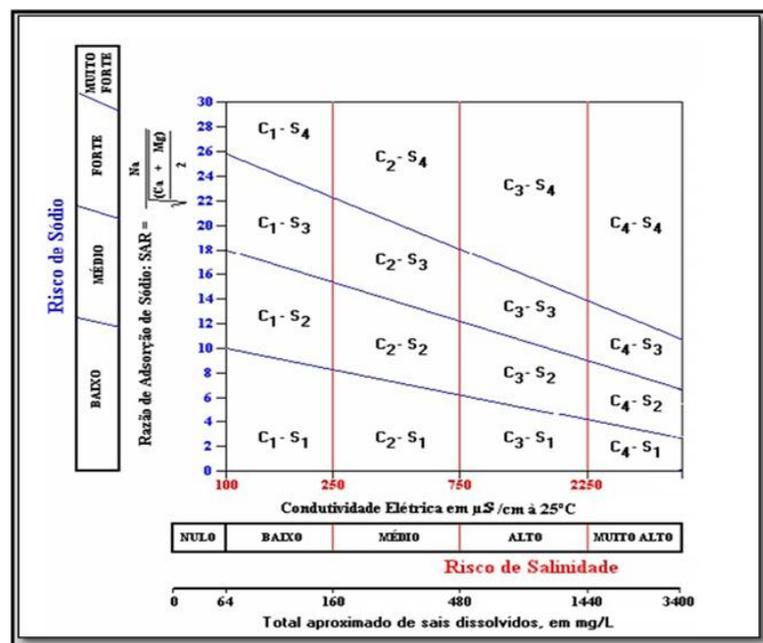
S2 (18,87 – 4,44logCE < RAS < 31,31 - 6,66logCE) – água com média concentração de sódio. Em solos de textura fina (argiloso) o sódio dessa classe de água apresenta um perigo considerável de dispersão com redução de permeabilidade.

S3 (31,31 - 6,66logCE < RAS < 43,75 – 8,87logCE) – água com alta concentração de sódio. Pode produzir níveis tóxicos de sódio trocável na maioria dos solos, necessitando de práticas especiais de manejo: boa drenagem, alta lixiviação, bem como a adição de condicionadores orgânicos.

S4 ($RAS > 43,75 - 8,87\log CE$) – água de muito alta concentração de sódio. É uma classe inadequada para irrigação exceto quando sua salinidade é baixa ou média e quando a dissolução do cálcio do solo e aplicação de condicionadores não se torna antieconômica.

O diagrama da Figura 3.3 foi desenvolvido pelo Departamento de Agricultura Norte-americano (USDA), que estabeleceu o risco ocasionado pela salinidade, em função de dois fatores: o RAS e o teor total de sais da água, determinado a partir da condutividade elétrica.

Figura 3.3 Diagrama de classificação das águas para fins de irrigação segundo o USDA.



Fonte: Silva et al., 2011.

A qualidade da água pode ser avaliada por uma ou mais características físicas, químicas e biológicas e usos específicos podem ter diferentes requisitos de qualidade. A Tabela 3.9 elenca alguns dos parâmetros que apresentam problemas potenciais relacionados com a água de irrigação.

Tabela 3.9: Problemas potenciais relacionados com a água de irrigação.

Parâmetro	Unidade	Níveis de danos		
		Nenhum	Médio	Severo
CE ¹	(dS/m)	0,5 – 0,75	0,75 – 3,0	> 3,0
Sódio	(mg/L)	< 70	70 - 180 ²	> 200 ³
Cálcio	(mg/L)	20 - 100	100 - 200 ³	> 200
Magnésio	(mg/L)	< 63	> 63 ³	
RAS	-	< 3	3 – 6	> 6

Observações: 1) CE= condutividade elétrica. Valores inferiores a 0,5 são satisfatório se a água tiver suficiente cálcio; caso contrário pode haver problemas de permeabilidade em certos solos. 2) Menos severo se o potássio estiver presente em igual quantidade ou em plantas tolerantes ao sódio. 3) Grande quantidade de cálcio ou magnésio aumenta a precipitação do fósforo. Não injete fósforo na água de irrigação com mais de 120 mg/L de cálcio antes de reduzir o pH da água.

Fonte: Nuvolari, 2003.

Gomes (2013) comenta que em solos brasileiros, as práticas de irrigação com efluentes tratados são recentes e poucos são os resultados de monitoramento da qualidade de água subterrânea nas áreas submetidas à irrigação. O que se observa em cidades como Campina Grande, na Paraíba, é a prática descontrolada e não planejada do reúso, onde produtores rurais utilizam águas residuárias brutas no cultivo de capim para alimentação animal, sem a menor consciência dos riscos sanitários a que estão submetidos, desconsiderando os danos acarretados ao meio ambiente e à população vizinha às áreas irrigadas.

3.6.3 Riscos associados ao reúso

A atividade de reúso de água coloca diferentes grupos populacionais em contato com a água reciclada, a qual traz consigo alguma concentração de agentes patogênicos e químicos que possibilitam a transmissão de doenças. Logo, a promoção do desenvolvimento deste tipo de atividade, exige que os processos de tratamento reduzam estes elementos a níveis que sejam aceitáveis e que não causem efeito negativo de saúde na população exposta (GOMES, 2013).

Os elevados riscos associados à utilização de esgotos, mesmo domésticos, para fins potáveis, exigem cuidados especiais para assegurar proteção efetiva e permanente dos consumidores. Os sistemas de tratamento, a serem implementados, devem possuir unidades de tratamento suplementares, além daquelas teoricamente necessárias. É recomendável, quando possível, reter os esgotos já tratados, em aquíferos subterrâneos, por períodos prolongados, antes de se encaminhar a água para abastecimento público (HESPANHOL, 2002).

De acordo com Cunha (2008), na categoria de reúso de águas servidas para a agricultura irrigada de culturas, as limitações se referem ao efeito da qualidade da água, principalmente a salinização dos solos e a preocupação patogênica (bactérias, vírus e parasitas) na saúde pública.

Para reduzir/eliminar os riscos de contaminação ocasionada por esgotos utilizados para o reúso, a OMS, lançou diretrizes para o uso seguro dos mesmos, realizou pesquisas e estudos epidemiológicos, objetivando proporcionar as informações básicas e orientações necessárias na tomada de decisões que envolvem riscos à saúde pública e ao meio ambiente. Hespanhol (2002) comenta que as diretrizes não são estabelecidas com a finalidade de aplicação direta e absoluta em todos os países. Elas são de natureza meramente orientativa, direcionadas para o estabelecimento de uma base de riscos aceitáveis e, como tal, proporcionam uma referência comum, para o estabelecimento de normas e padrões, em nível nacional.

Hespanhol (2002) elenca os grupos de risco associados a sistemas de reúso agrícola que são: consumidores de culturas, carne e leite originários de campos irrigados com esgotos, operários agrícolas e suas famílias, manuseadores/transportadores de colheitas, e populações localizadas nas proximidades de campos irrigados através de sistemas de aspersores.

Nuvolari (2003) comenta que no Brasil o aspecto sanitário de água de irrigação está diretamente ligado, principalmente, com duas principais doenças: a esquistossomose e a verminose. A contaminação por esquistossomose ocorre, principalmente com o agricultor irrigante que mantém contato com a água; a verminose, com os usuários, através de consumo de produtos irrigados em que a água de irrigação entra em contato direto com o produto consumido *in natura*.

É relevante o aprofundamento em pesquisas com irrigação de culturas com a prática do reúso de águas, visando a segurança sanitária das populações envolvidas, sejam humanas ou animais, de forma sustentável (FLORENCIO et al., 2006).

Visto que o reúso de água é uma realidade em nosso país, é necessário que sejam adotadas medidas quanto aos esclarecimentos da importância do reúso, dos riscos a ele associados, assim como a importância de um pré-tratamento da água, de forma a orientar a população e evitar danos à saúde pública.

3.6.4 Experiências nacionais sobre a regulamentação do reúso de água

A prática do reúso de águas para diversas finalidades no Brasil, assim como para os demais países que o praticam, é de fundamental importância para o aumento da disponibilidade hídrica. Porém, em nosso país o mesmo ainda não está institucionalizado e geralmente vem sendo praticado de maneira indireta e não planejada.

Para Fernandes (2009), no Brasil, a prática do reúso das águas vem sendo de certa forma difundida, ocorrendo principalmente para a irrigação de hortaliças e de algumas culturas forrageiras. No entanto essa prática é um procedimento não institucionalizado e tem se desenvolvido até agora sem nenhuma forma de planejamento ou controle. Na maioria das vezes é totalmente inconsciente por parte do usuário, que utiliza águas altamente poluídas de córregos e rios adjacentes para irrigação de hortaliças e outros vegetais, ignorando que esteja exercendo uma prática danosa à saúde pública.

Conforme Hespanhol (2002), embora não exista, no Brasil, nenhuma legislação relativa, e nenhuma menção tenha sido feita sobre o tema na nova Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº9.433 de 8 de janeiro de 1997), já se dispõe de uma primeira demonstração de vontade política, direcionada para a institucionalização do reúso. A “Conferência Interparlamentar sobre Desenvolvimento e Meio Ambiente” realizada em Brasília, em dezembro de 1992, recomendou, sob o item Conservação e Gestão de Recursos para o Desenvolvimento, que se envidassem esforços, em nível nacional, para “institucionalizar a reciclagem e reúso, sempre que possível, e promover o tratamento e a disposição de esgotos, de maneira a não poluir o meio ambiente”.

Passados treze anos da conferência, o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) publicou a Resolução Nº 54 de 2005, que estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água, e coloca o reúso da água como parte integrante das políticas de gestão de recursos hídricos vigentes no país. Considerando que deverão ser incentivados e promovidos programas de capacitação, mobilização social e informação quanto à sustentabilidade do reúso em especial os aspectos sanitários e ambientais.

O CNRH lançou em dezembro de 2010 a Resolução Nº 121/2010, para estabelecer diretrizes e critérios para a prática de reúso direto não potável de água na modalidade agrícola e florestal, definida na Resolução nº 54, de 28 de novembro de 2005.

A Resolução Nº 121/2010 considerada como um avanço em relação à Resolução Nº 54/2005, traz em seu Artigo 5º que a aplicação de água de reúso para fins agrícolas e florestais

não pode apresentar riscos ou causar danos ambientais e à saúde pública. Desta forma, a utilização de esgotos “*in natura*” na irrigação de culturas, viola as normas.

Quanto à efetiva implementação do reúso não há um modelo específico a ser implantado, seja com relação às questões legais ou institucionais, cada país adota seu modelo, o que deve nortear esse processo são as especificidades regionais, objetivando atender às necessidades locais.

CAPÍTULO 4

4.0 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização da área de estudo

A presente pesquisa foi realizada na cidade de Campina Grande. Seu município está localizado no interior do estado da Paraíba, mais precisamente no agreste paraibano, situado entre as regiões do baixo e médio curso do Rio Paraíba (Figura 4.1), com latitude $7^{\circ}13'50''S$ e longitude $35^{\circ}52'52''O$ e está, em média, a 560 m, acima do nível do mar, e a uma distância de 120 km da capital do estado, João Pessoa. Apresenta-se com os seguintes limites, ao norte com os municípios de Puxinanã, Pocinhos, Lagoa Seca e Massaranduba, ao sul com os municípios de Caturité, Queimadas e Fagundes, a leste com o município de Riachão do Bacamarte e a oeste com o município de Boa Vista (NÓBREGA, 2012). Segundo o Censo 2010 do IBGE, sua área territorial abrange 594,182 km² e conta com uma população de 385.213 habitantes e densidade populacional de 648,31 hab/km².

Figura 4.1 – Localização do município de Campina Grande nas regiões do médio e baixo Paraíba. A região em marrom representa toda a área do município de Campina Grande.



Fonte: Nóbrega, 2012.

Além da sede o município compreende ainda três distritos, Catolé de Boa Vista, São José da Mata e Galante. O município apresenta clima semiárido quente e precipitação média anual variando entre 700 mm e 800 mm, com predomínio de chuvas intensas.

Campina Grande, assim como as demais cidades brasileiras que são contempladas com sistema de esgotamento sanitário, adota o sistema separador absoluto. Nesse as águas residuárias (domésticas e industriais) são esgotadas em sistemas diferentes das águas pluviais, com o objetivo de garantir a disposição ambientalmente adequada e sanitariamente segura desses efluentes.

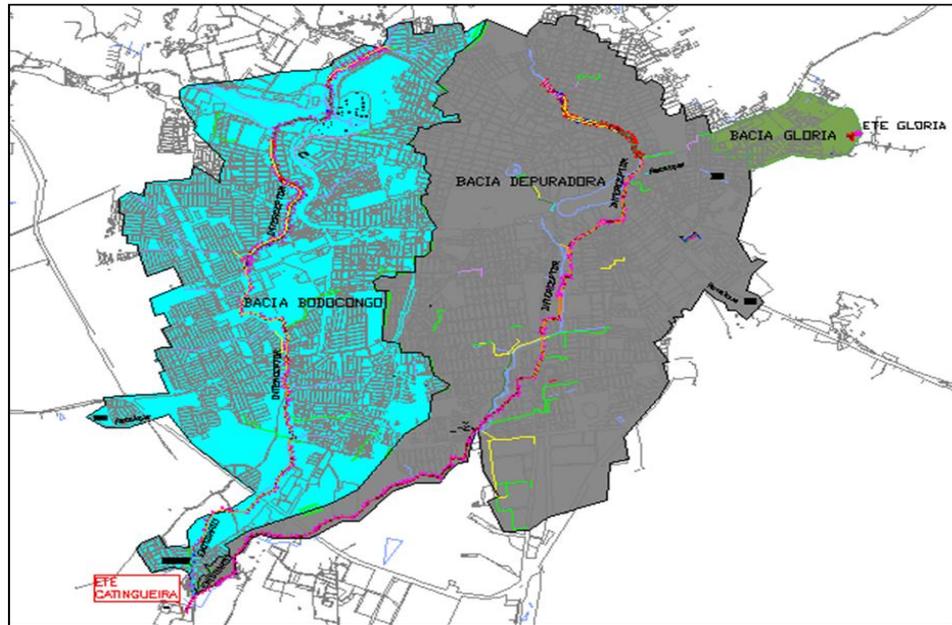
Mesmo com este sistema, a cidade vem enfrentando problemas com a ocorrência de inundações que aumentam a cada ano, isso devido ao crescimento desordenado, ao uso do solo associado às práticas inadequadas de disposição de resíduos sólidos e líquidos nos sistemas de drenagem, como também ao limitado controle de operação e manutenção das estruturas físicas desses sistemas.

4.1.1 O sistema de esgotamento sanitário de Campina Grande

O sistema de esgotamento sanitário de Campina Grande estende-se por três bacias (Figura 4.2), sendo duas bacias que contribuem para a estação de tratamento do bairro da Catingueira - a bacia Depuradora e a bacia Bodocongó - e uma bacia que contribui para a estação de tratamento do bairro Glória – bacia Glória. É constituído de dois interceptores principais (Interceptor da Depuradora - Leste e Interceptor de Bodocongó - Oeste), um emissário (Emissário da Catingueira), duas Estações de Tratamento de Esgoto (bairro Catingueira e bairro Glória) e cinco elevatórias (LIMA, 2013).

A ETE do bairro da Catingueira é composta por grade mecanizada, caixa de areia e Calha Parshall - tratamento preliminar, duas lagoas anaeróbias, com seu efluente sendo recalcado para séries paralelas de duas lagoas facultativas e uma de polimento. A Estação de Tratamento de Esgoto do bairro Glória, foi construída com o objetivo de tratar as águas residuárias originadas nos bairros da zona leste da cidade de Campina Grande, compreendendo os bairros Glória I e Glória II e uma parcela do Belo Monte e Jardim América (LIMA, 2013). O sistema de tratamento é composto de: tratamento preliminar (grade de barras, caixa de areia e calha parshall) e duas lagoas, sendo uma anaeróbia com profundidade de 3,5 m e uma área de 1065,80 m² e uma facultativa secundária com profundidade de 2 m e uma área de 3326,26 m² (ARAÚJO, 2007).

Figura 4.2: Mapa das bacias de esgotamento sanitário de Campina Grande – PB.



Fonte: Gomes, 2013.

Segundo Gomes (2013), cerca de 97% do esgoto de Campina Grande estão sendo desviados de seu tratamento planejado. Atualmente, Campina Grande possui aproximadamente 81.540 ligações domiciliares cadastradas que deveriam direcionar seus esgotos para a ETE Catingueira, sendo 35.370 ligações da bacia Bodocongô e 46.170 ligações da bacia Depuradora. Possui ainda 2.921 ligações da bacia do Glória, 3.526 ligações fora das citadas bacias e ainda 733 ligações com tratamento isolado feito por fossões. O sistema de esgotamento sanitário da cidade conta com 565.575,41 metros de rede coletora, estando em execução cerca de 13.000 metros de rede e mais 900 ligações domiciliares, levando ao atendimento de 65,31% da população da cidade.

4.1.2 O sistema de drenagem pluvial de Campina Grande

A drenagem da cidade de Campina Grande é composta por um sistema de microdrenagem como bocas de lobo, sarjetas, poços de visitas, tubos de ligação e galerias, e um de macrodrenagem que compreende canais trapezoidais e retangulares, em sua maioria abertos. Dentre os canais, têm-se o canal das Piabas, do Prado, de Bodocongô, da Ramadinha, das Malvinas, de Santa Rosa, entre outros, construídos com o objetivo de afastar as águas

pluviais o mais rápido possível e conduzi-las para os corpos hídricos mais próximos. Não foram encontrados registros oficiais sobre o sistema de drenagem de Campina Grande.

Nóbrega (2012) realizou um levantamento de campo que determinou a localização e dimensão de todas as bocas de lobo existentes no bairro do Catolé, assim como poços de visita, da rede de drenagem, diâmetro e comprimento das galerias, e a seção dos canais abertos que compõem a rede pluvial. Segundo o autor, é possível constatar uma precária manutenção das bocas de lobo encontradas na região visto que as mesmas apresentam vegetação, ausência de tampa ou tampa danificada. Ainda de acordo com o autor, pode-se constatar a ineficiência do sistema de drenagem atual existente no bairro Catolé.

4.1.3 O Canal das Piabas

O Canal das Piabas, localizado na zona norte de Campina Grande (Figura 4.3), tem início no bairro do Louzeiro, perpassa pelos bairros Conceição, Alto Branco, Lauritzen, Santo Antônio, Centro, Monte Castelo e, por fim, se encaminha para José Pinheiro (zona leste) onde deságua. Há uma bifurcação em seu percurso (Figura 4.4), uma se direciona para o Açude Velho (que só contribui em picos de chuvas), e a outra para o bairro José Pinheiro.

Figura 4.3 - Mapa de localização do canal das Piabas nos bairros de Campina Grande.

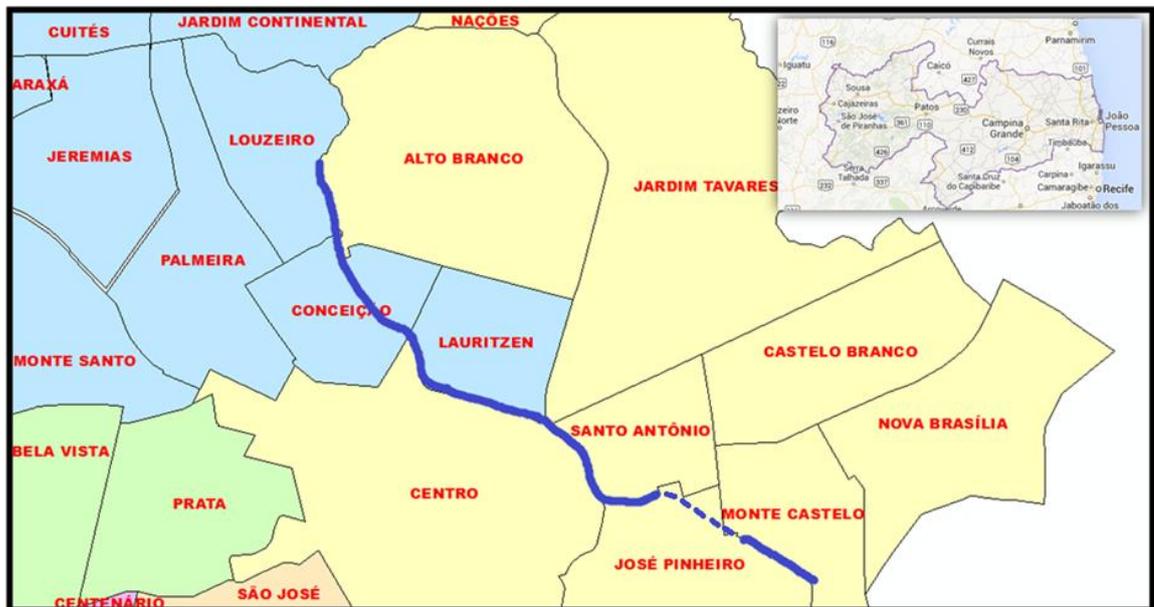


Figura 4.4: Bifurcação no canal.



Fonte: Autora, 2013.

Nas imediações do bairro Rosa Mística o riacho começa a ser canalizado e, sua água, antes perene, tem se reduzido a um “fio” em períodos de estiagem. Nessa época os esgotos domésticos chegam a representar a quase totalidade da sua vazão, seguindo o curso de ligação urbana pela Avenida Canal e posteriormente para o bairro da Cachoeira de onde prossegue com destino ao Rio Paraíba (SOUSA, 2010).

Apesar de ser dotada de sistema de esgotamento, a cidade enfrenta alguns problemas quanto ao lançamento de esgoto a céu aberto e nos corpos hídricos, além da presença de ligações clandestinas de esgotos na rede de drenagem pluvial (Figura 4.5), isto se deve à ausência ou deficiência do sistema adotado, bem como à falta de controle e fiscalização dos usuários dos sistemas.

Figura 4.5: Contribuição de esgoto doméstico.



Fonte: Autora, 2013.

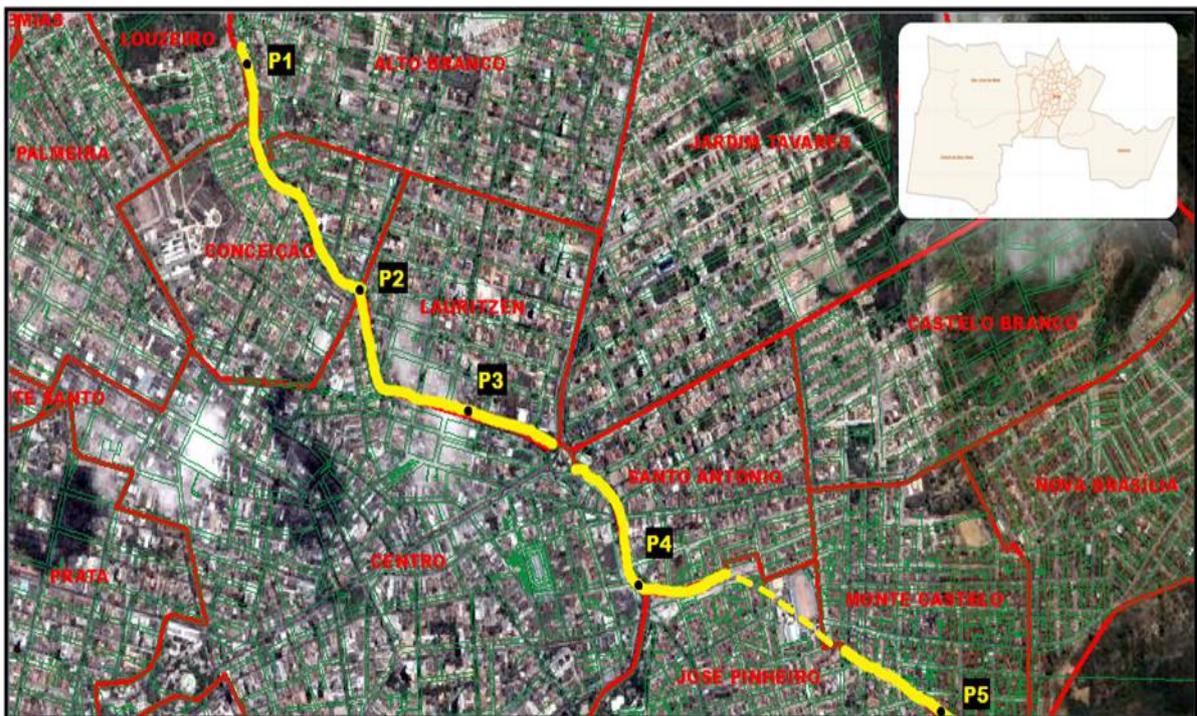
4.2 Pontos de amostragem

Diante dos problemas recorrentes associados à ocorrência de inundações e disposição inadequada de resíduos líquidos e sólidos nos canais de drenagem de Campina Grande e especialmente no Canal das Piabas, foram selecionadas cinco pontos de amostragem (Tabela 4.1 e Figura 4.6), para avaliar o comportamento das características das águas ao longo do canal.

Tabela 4.1 – Identificação dos pontos de coleta.

PONTO	LOCAL	BAIRRO	COORDENADAS GEOGRÁFICAS	
			Sul	Oeste
P1	Rua Severino Verônica	Louzeiro	07° 12' 28,6	35° 53' 14,1"
P2	Avenida Cajazeiras	Lauritzen	07° 12' 45,9"	35° 53' 01,2"
P3	Avenida Janúncio Ferreira	Centro	07° 12' 56,7"	35° 52' 44,7"
P4	Rua Jiló Guedes	Santo Antônio	07° 13' 10,7"	35° 52' 30,8"
P5	Avenida Senador Robert Kennedy	José Pinheiro	07° 13' 23,6"	35° 11' 56,5"

Figura 4.6 - Mapa de localização dos pontos amostrais e delimitação da área em estudo.



Fonte: Google Earth, 2010.

Os pontos para realizar as coletas das amostras foram escolhidos após visitas de campo ao longo do canal. Esses foram selecionados pela representatividade da área em estudo e pela acessibilidade para coletar as amostras. O intuito ao escolher esses pontos foi de avaliar o comportamento das características qualitativas das águas do Canal das Piabas, visto que ele perpassa por áreas densamente povoadas e com diferentes níveis econômicos, bem como avaliar a forma de ocupação urbana e suas relações com a qualidade da água. Os mesmos foram levantados com GPS e alocados sobre a imagem de satélite do Google Earth (2010). Desta forma foi possível determinar as distâncias entre os pontos, conforme Tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Distâncias entre os pontos amostrais.

PONTO	DISTÂNCIA
P1- P2	723,40 m
P2- P3	593,90 m
P3- P4	820,89 m
P4- P5	1240,35 m

As imagens da Figura 4.7, ilustram a realização das coletas. Durante o período do monitoramento dos pontos foram realizadas duas coletas semanais, nos horários entre as 7 e as 8 horas. Para as visitas de campo e coletas das amostras, em cada ponto, foram usados o coletor (Figura 4.8), duas garrafas plásticas para as amostras das análises físico-químicas e outro frasco esterilizado para as amostras das análises microbiológicas (Figura 4.9). No total foram realizadas trinta coletas em cada ponto, número estabelecido para melhor representar estatisticamente o conjunto de dados.

Figura 4.7 - Ilustrações dos pontos amostrais.



Fonte: Autora, 2013.

O equipamento usado como coletor é composto por um suporte de ferro acoplado a tubos de PVC, com rosca, e garrafas de plástico, para facilitar o acesso aos pontos (Figura 4.8).

Figura 4.8: Material utilizado para coleta das amostras de água do Canal das Piabas.



Fonte: Autora, 2013.

Figura 4.9: Frascos utilizados na coleta das amostras.



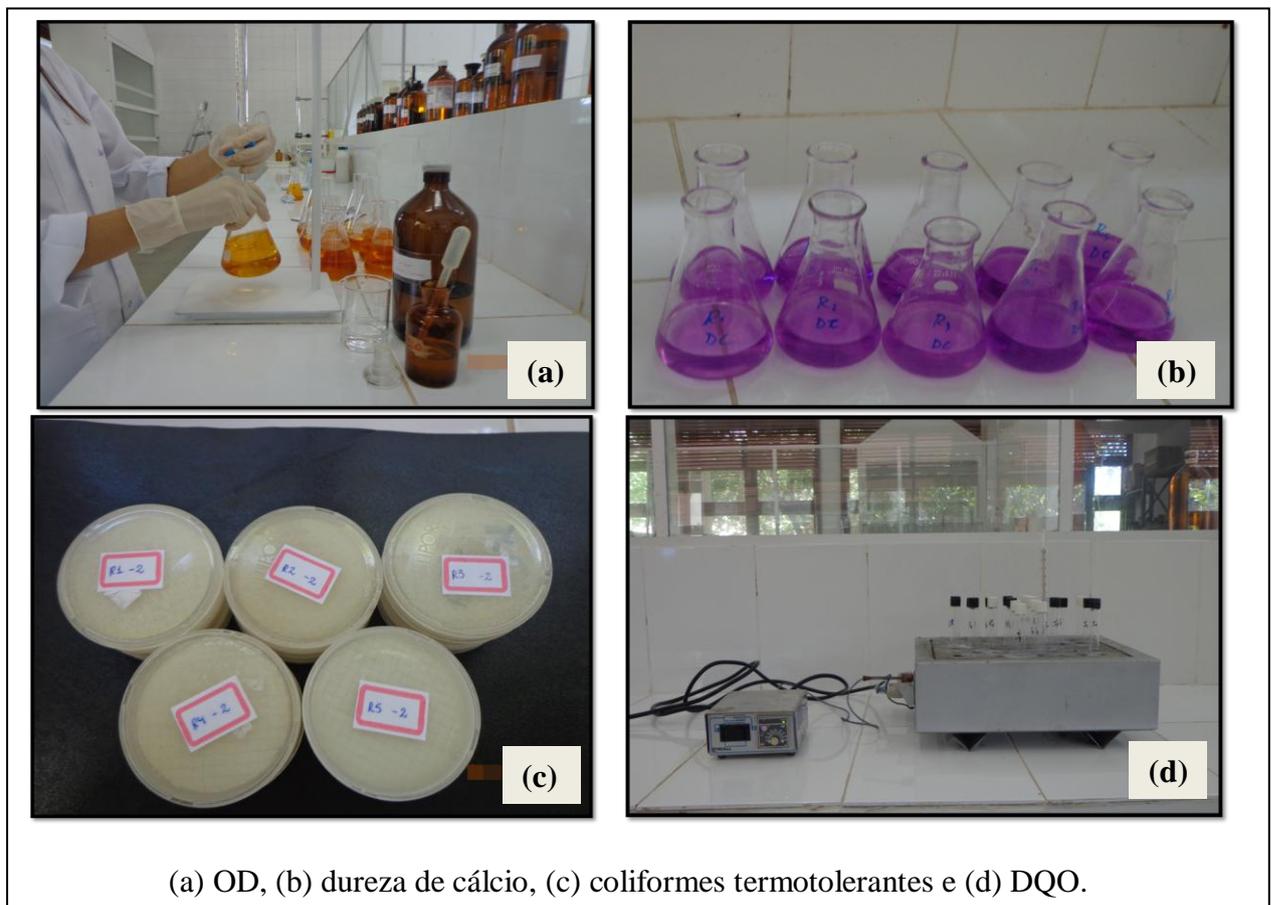
Fonte: Autora, 2013.

4.3 Indicadores analisados

Os indicadores de qualidade de água adotados na realização deste trabalho foram turbidez, sólidos suspensos totais, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), oxigênio dissolvido e coliformes termotolerantes, afim de identificar contaminação por esgoto. Foi também realizada uma comparação entre os resultados dos indicadores e dados pluviométricos obtidos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) com o intuito de avaliar a influência da precipitação na variação desses indicadores. Com o intuito de analisar a possibilidade do uso deste efluente para reúso agrícola, visto que a jusante ocorre o reúso indireto e não planejado do mesmo, foi decidido acrescentar outros indicadores como condutividade elétrica, dureza de cálcio e de magnésio, e sódio, para posterior estimativa da RAS (razão de adsorção do sódio).

As análises foram realizadas no Laboratório de Saneamento (Figura 4.10) da Universidade Federal de Campina Grande, localizado no bairro de Bodocongó.

Figura 4.10: Determinação de OD, dureza de cálcio, coliformes termotolerantes e DQO



Fonte: Autora, 2013.

As metodologias utilizadas nas análises laboratoriais (Tabela 4.3) seguiram as recomendações descritas no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA-AWWA-WEF, 2005).

Tabela 4.3: Métodos analíticos empregados na determinação das variáveis analisadas.

VARIÁVEL	MÉTODO
Sólidos suspensos totais – SST (mg/L)	Gravimétrico
Turbidez (UNT)	Nefelométrico
Demanda bioquímica de oxigênio – DBO (mg/L)	Diluição em frascos padrões de DBO com incubação a 20 °C durante 5 (cinco) dias
Demanda química de oxigênio – DQO (mg/L)	Refluxação fechada do dicromato de potássio com determinação titulométrica
Condutividade elétrica – CE (µs/cm)	Condutivimétrico
Dureza total – DT (mgCaCO ₃ /L)	Titulométrico com EDTA
Dureza de cálcio – DC (mgCaCO ₃ /L)	Titulométrico com EDTA
Sódio – Na (mgNa/L)	Fotometria de chama
Coliformes termotolerantes – (UFC/100mL)	Membrana filtrante

4.3.1 Razão de Adsorção de Sódio

Para determinar a razão de adsorção de sódio, é necessário analisar conjuntamente os teores de sódio, cálcio e magnésio. O cálculo da Razão de Adsorção de Sódio foi realizado utilizando a equação abaixo:

$$RAS = \frac{Na^+}{\left(\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2} \right)^{\frac{1}{2}}} \quad \text{Eq. 4.1}$$

Onde:

RAS = Razão de Adsorção de Sódio

Na⁺ = Concentração de sódio em meq L⁻¹

Ca²⁺ = Concentração de cálcio em meq L⁻¹

Mg²⁺ = Concentração de magnésio em meq L⁻¹

4.4 Métodos estatísticos

A primeira análise realizada foi para avaliar o nível de dispersão dos dados, utilizando-se o método gráfico BOX PLOT. Em seguida os dados foram submetidos ao teste de Grubbs (SOKAL & ROHLF, 1995), com o objetivo de verificar a existência de valores que não faziam parte do conjunto de dados, ou seja, valores extremos (outliers).

Para verificar se os conjuntos de dados brutos e os respectivos conjuntos de dados transformados tinham distribuição normal, foi aplicado o teste de Kolmogorov-Smirnov, utilizando o programa estatístico SPSS (GOMES, 2013).

Foi aplicada a análise estatística descritiva das variáveis estudadas para estimar média, mínimo, máximo, variância e desvio padrão.

A análise de variância (ANOVA fator único) foi aplicada ao nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$) a todos os conjuntos de dados de uma mesma variável para identificar a existência ($F > F_{cr}$) ou não ($F < F_{cr}$) de diferenças significativas entre os conjuntos (LIMA, 2013).

O método gráfico GT-2, no qual uma igualdade estatística entre um par de valores médios é demonstrada pela intercessão dos respectivos limites de comparação (limite inferior – Lim Inf, limite superior – Lim Sup) e a diferença significativa fica evidenciada pela não intercessão desses limites (LIMA, 2013), foi aplicado para as variáveis que apresentaram diferenças significativas.

A planilha eletrônica do Microsoft Excel 2007 foi utilizada na análise de variância e na análise descritiva. O programa Origin foi utilizado para elaboração dos gráficos BOX PLOT.

5.0 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Durante as visitas para realização das coletas das amostras de água foi visto que são contínuas as contribuições de esgotos domésticos e o lançamento de resíduos sólidos no Canal das Piabas. Para avaliar como ocorre o comportamento das características da água, ao longo do canal, foram analisados alguns indicadores, cujos resultados traduzem uma situação de fragilidade do sistema de drenagem de Campina Grande.

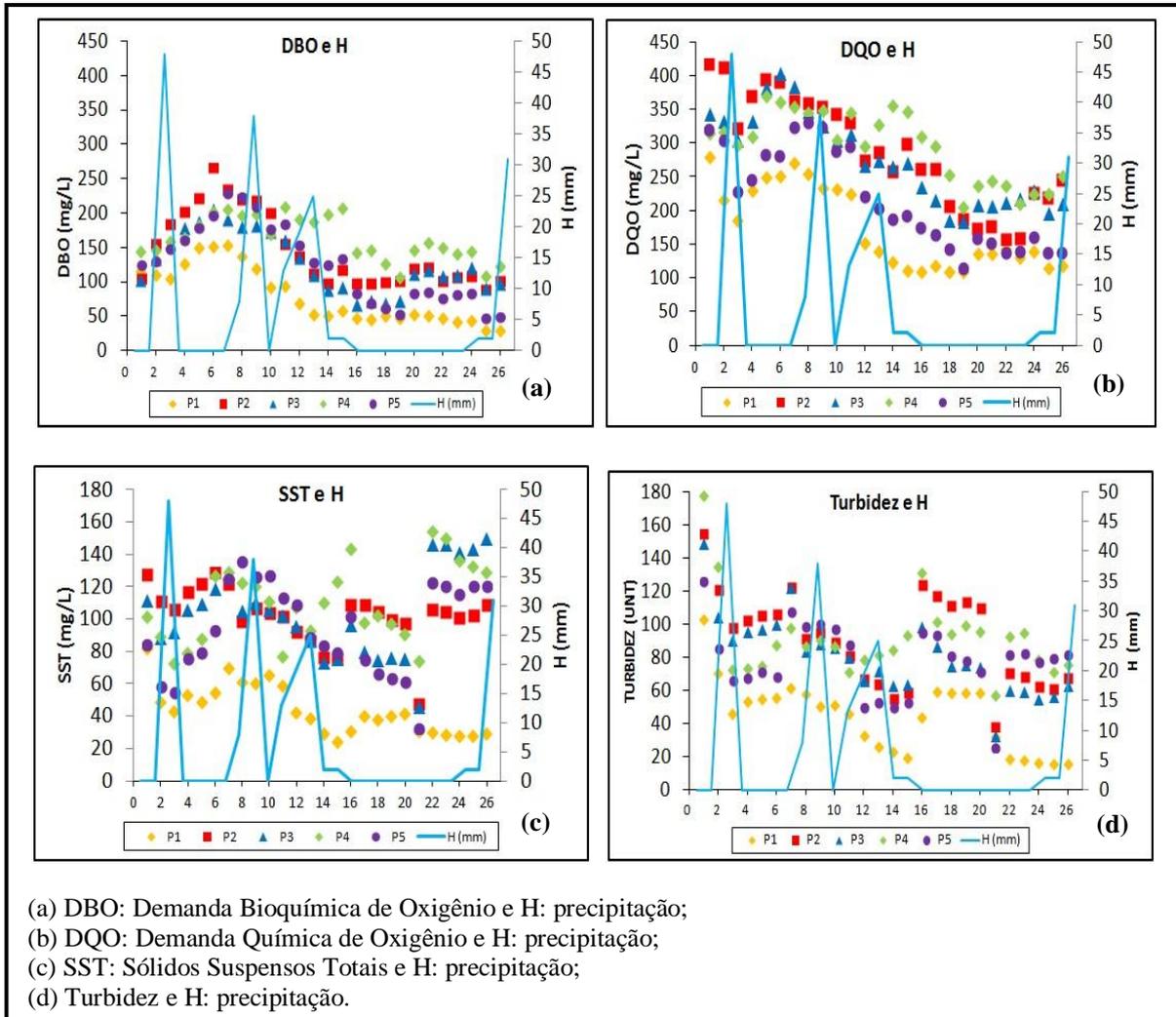
Para facilitar a apresentação e conseqüente interpretação dos resultados obtidos mediante a análise, em laboratório, das características das águas que contribuem para o Canal das Piabas, foi aplicada a média móvel cinco a cinco dos dados obtidos com o objetivo de atenuar as oscilações dos indicadores de qualidade de água.

Os dados pluviométricos (P) referentes ao período de coleta das amostras de água, no canal de drenagem em estudo, foram avaliados em conjunto com as variações das concentrações de DBO₅, DQO, SST e turbidez, para os cinco pontos amostrais, cujas relações estão ilustradas na Figura 5.1, a, b, c e d, respectivamente. Foram observadas as elevadas concentrações de DBO₅ e DQO nos cinco pontos analisados. Contudo, o ponto P1 apresentou concentrações abaixo dos demais pontos, referentes às concentrações de material orgânico, material fecal e materiais em suspensão, evidenciando a contaminação ao longo do canal, e mostrando a ineficiência do sistema adotado.

Através da Figura 5.1, a e b, percebe-se a influência da precipitação pluviométrica, visto que, em determinado momento, há um decaimento nas concentrações das variáveis (DBO e DQO). Isso ocorre devido ao período chuvoso que proporcionou uma diluição dos esgotos que continuamente são lançados no canal.

Com os indicadores SST e turbidez (Figura 5.1 c e d) percebe-se um comportamento diferente em relação à precipitação. Nas coletas realizadas nos dias de ocorrência de precipitação, foi percebido um aumento da concentração para os dois indicadores, isto porque a chuva promove um arraste do material sob a superfície drenada. Contudo, visto que o canal de drenagem é aberto, os valores de SST e turbidez, recebem influência não só das contribuições das águas drenadas, como do aporte de resíduos das vias públicas e da população de forma contínua, interferindo nessas variações.

Figura 5.1 – Variação temporal de DBO₅, DQO, SST e turbidez, com base nas médias móveis 5 a 5, e a precipitação, em amostras coletadas nos pontos P1, P2, P3, P4 e P5, entre abril e agosto de 2013.

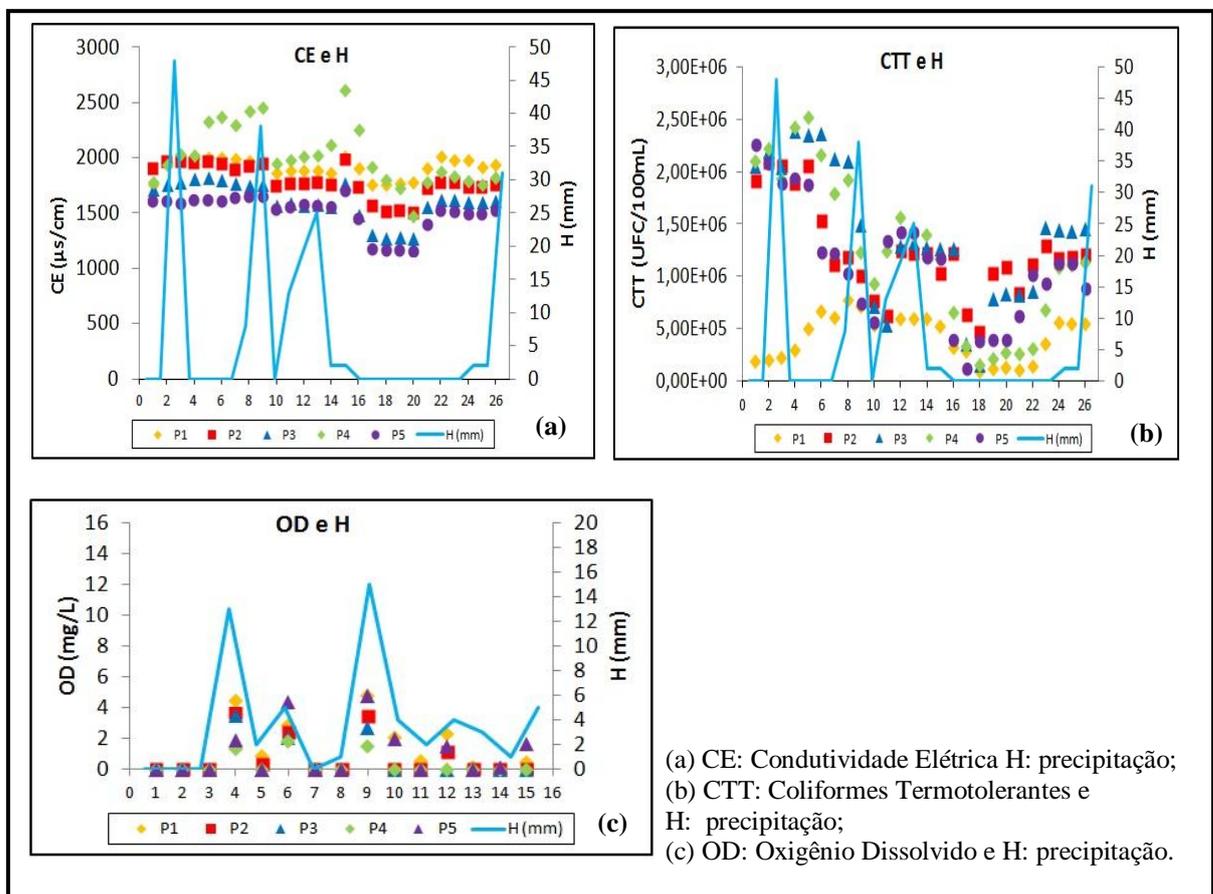


A água, ao passar pelo solo, dissolve e transporta diversos materiais, para os corpos hídricos, entre esses os sais. O mesmo acontece com o canal, a água até atingir a parte construída do canal vem em contato direto com o solo. Vale salientar que, a partir do P1, é que o Riacho das Piabas passa a ter seu curso canalizado. Na condutividade elétrica, pode-se observar um decaimento de montante (P1) para jusante (P5), isso ocorre porque há uma maior concentração de sais no ponto P1 que vão sendo diluídos ao longo do canal. Mas o ponto P4 apresenta, em alguns momentos, elevadas concentrações em relação aos demais, o que pode estar relacionado às significativas contribuições de esgoto próximas deste ponto que estão colaborando para a elevação deste indicador.

Quanto à condutividade elétrica, quando relacionada com a precipitação (Figura 5.2 a) pode-se observar que a precipitação não influencia de forma significativa nesse parâmetro, visto que em períodos de chuva suas concentrações apresentaram pequenas reduções.

Assim como os demais indicadores analisados, os parâmetros coliformes termotolerantes e OD (Figura 5.2 b e c) não fogem à realidade que vem sendo discutida até então, com relação à contaminação por efluentes domésticos no Canal das Piabas. O primeiro, após o período de chuva, apresentou alguns decaimentos em suas concentrações, mas mesmo assim, suas concentrações apresentaram-se elevadas para água de drenagem. Para o segundo parâmetro, os resultados demonstram que só há presença de oxigênio dissolvido nos dias em que há precipitação, pois nos demais dias, a predominância de esgoto impede que ocorram concentrações de OD nas águas do canal.

Figura 5.2 – Variação temporal das concentrações de CE, CTT, OD com base nas médias móveis 5 a 5, e a precipitação, em amostras coletadas nos pontos P1, P2, P3, P4 e P5, entre abril e agosto de 2013.



5.1 Análise estatística

Para avaliar os dados obtidos durante análise dos indicadores, foi utilizado o método BOX PLOT, ilustrado nas Figuras 5.3 e 5.4, permitindo observar as médias, medianas e dispersão dos dados. Foi verificado que, em todos os pontos estudados, os dados se apresentaram de forma assimétrica, e que há presença de outliers. Diante da existência desses valores extremos, foi utilizado o teste de Grubbs, para testar e remover esses valores extremos que não faziam parte do grupo amostral.

Figura 5.3– Gráficos BOX PLOT para DBO₅, DQO, SST e turbidez obtidos na monitoração dos pontos P1, P2, P3, P4 e P5, no período de abril a agosto de 2013.

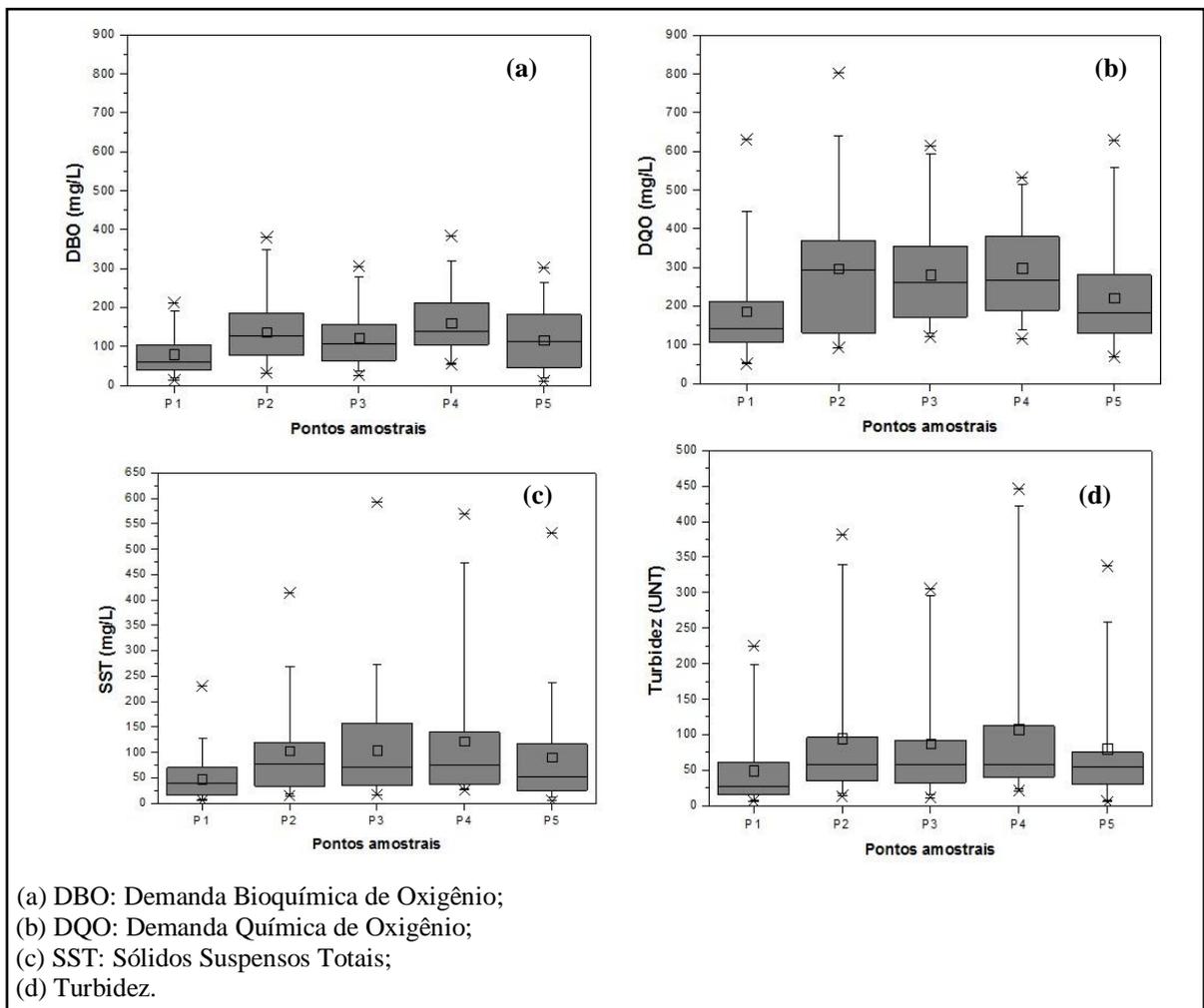
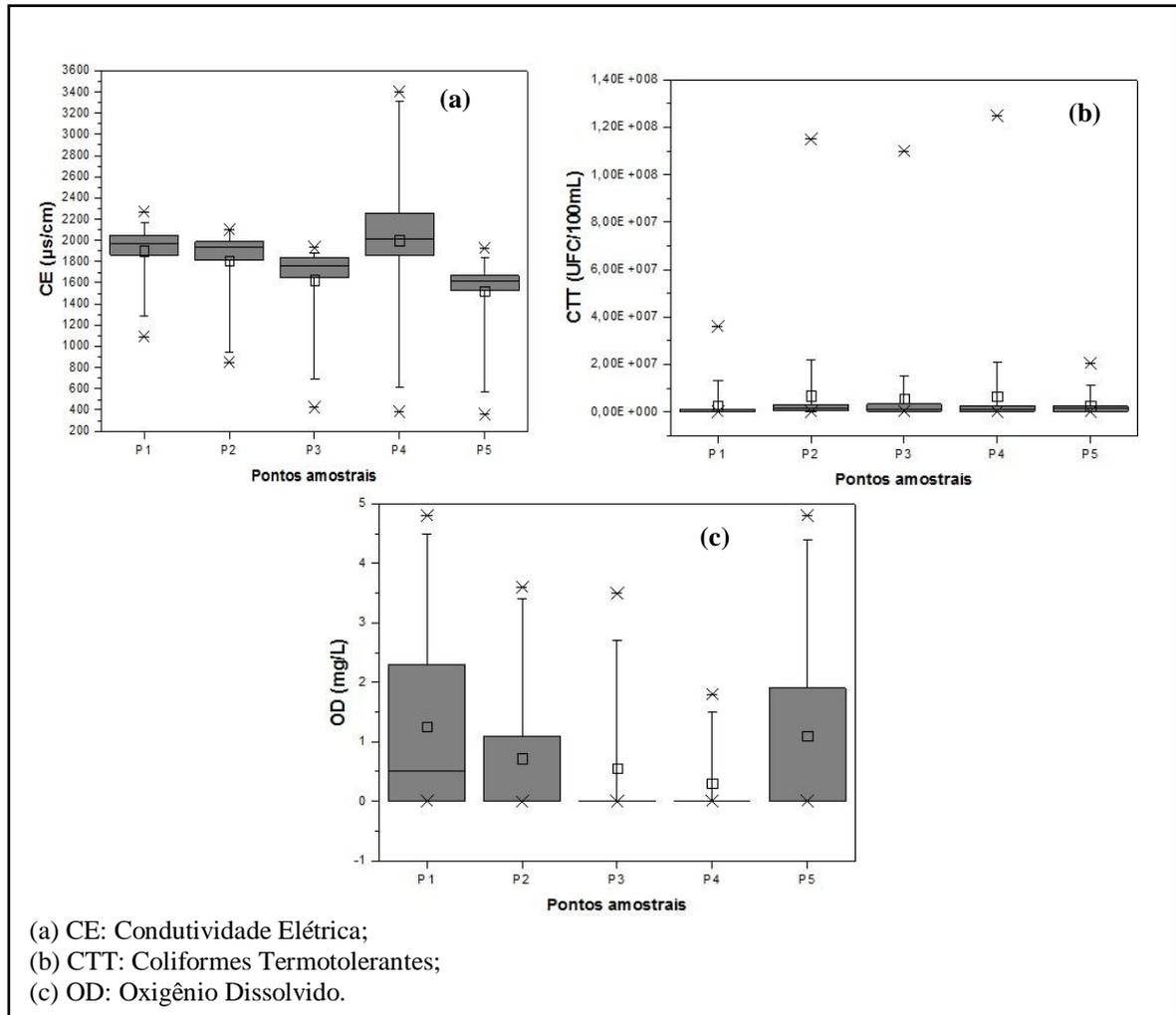


Figura 5.4– Gráfico BOX PLOT para CE, CTT e oxigênio dissolvido obtido na monitoração dos pontos P1, P2, P3, P4 e P5, no período de abril a agosto de 2013.



Após o teste dos outliers os dados foram submetidos à análise descritiva resumida na Tabela 5.1 que apresenta os parâmetros descritivos [tamanho amostral (N), média aritmética (MÉD), desvio padrão (DP), variância (VAR), mínimo (MÍN) e máximo (MÁX)] dos indicadores analisados em cada ponto amostral (P) .

De acordo com a Tabela 5.1 pode-se observar as elevadas concentrações de DBO₅ e DQO nos cinco pontos analisados, sendo que essas concentrações estão acima de valores encontrados na literatura referente à água de drenagem de outros países. Nos EUA com 20 mg/L de DBO₅ e 115 mg/L de DQO, e na Coreia com DBO₅ de 83 mg/L e DQO de 197 mg/L (VALE, 2011). As concentrações desses indicadores na água pluvial de Campina Grande também ficaram acima dos valores encontrados no Brasil, por exemplo em Porto Alegre a água de drenagem apresentou uma DBO₅ de 31,8 mg/L (TUCCI, 2007), assim como

em Brasília onde foram encontrados valores de 55,3 mg/L DQO e 22,1 mg/L DBO₅ (Campanha et al., 2007).

Segundo Jordão e Pessôa (2011), pode-se afirmar que a água do canal em estudo se caracteriza como esgoto doméstico, visto que a DBO₅ e a DQO se enquadram nas faixas estimadas pelos autores, de 100 a 400 mg/L e de 200 a 800 mg/L, respectivamente. Diante dos dados de DBO e DQO obtidos na análise das amostras (Tabela 5.1), conclui-se que a água de drenagem pode ser classificada como um esgoto fraco.

As médias de SST apresentados nos cinco pontos analisados variam de 43 a 103 mg/L, aproximando-se de valores observados nos EUA que são de 67 a 101 mg/L, e das concentrações registradas na Suíça de 64 a 182 mg/L, de acordo com Vale (2011).

Comparando os valores de CTT de 9,53E+05/100mL, do ponto P1 (menos poluído), com os valores encontrados no trabalho de Lima (2013), que determinou CTT no sistema de esgoto de Campina Grande e obteve em média 1,46E+07/100mL, superior aos números determinados neste trabalho. Mas quando comparados com dados de Campanha (2007) que registrou 2,36E+5/100mL nas águas pluviais de Brasília, as águas de drenagem de Campina Grande apresentaram concentrações elevadas.

Tabela 5.1– Parâmetros descritivos das variáveis, físicas, químicas e microbiológicas determinadas nos pontos de monitoração entre abril e agosto de 2013.

VARIÁVEL	P	N	MÉD	DP	VAR	MÍN	MÁX
Turbidez (UNT)	P1	30	45	43	1827	6	146
	P2	30	93	92	8392	13	339
	P3	30	87	85	7155	11	306
	P4	30	101	92	8476	21	324
	P5	30	78	78	6152	5	258
SST (mg/L)	P1	30	44	36	1292	6	127
	P2	30	98	80	6473	15	269
	P3	30	94	78	6047	17	274
	P4	30	103	77	5889	26	300
	P5	30	81	72	5142	5	238
DBO (mg/L)	P1	30	81	61	3725	14	212
	P2	30	138	90	8139	32	380
	P3	30	122	72	5237	26	305
	P4	30	158	72	5248	54	320
	P5	30	117	82	6778	11	302
DQO (mg/L)	P1	30	180	110	12100	50	446
	P2	30	292	164	26780	92	641
	P3	30	282	140	19691	121	615
	P4	30	299	127	16047	115	532
	P5	30	218	133	17706	68	559
CE (µs/cm)	P1	30	1907	248	61585	1282	2270
	P2	30	1816	318	101316	1002	2100
	P3	30	1645	323	104861	819	1936
	P4	30	2001	823	438259	382	3400
	P5	30	1554	229	52249	975	1928
CTT (UFC/100mL)	P1	30	9,53E+05	1,27E+05	1,61E+10	1,00E+04	4,00E+06
	P2	30	3,17E+06	4,66E+06	2,17E+13	6,20E+04	1,35E+07
	P3	30	1,67E+06	1,78E+06	3,15E+12	5,75E+04	5,02E+06
	P4	30	1,45E+06	1,27E+06	1,61E+12	5,02E+04	3,53E+06
	P5	30	1,60E+06	1,65E+06	2,72E+12	4,16E+04	5,02E+06
OD (mg/L)	P1	15	1,3	1,7	2,8	0	4,8
	P2	15	0,7	1,3	1,7	0	3,6
	P3	15	0,6	1,2	1,4	0	3,5
	P4	15	0,3	0,6	0,4	0	1,8
	P5	15	1,1	1,6	2,6	0	4,8

As elevadas concentrações dos indicadores analisados se justificam diante dos fatos vistos em campo, tais como, contínuas contribuições de esgotos e presença de resíduos sólidos lançados pelos moradores (Figura 5.5). Durante a realização das coletas não foi presenciada nenhuma ação de manutenção e limpeza no canal. Suas paredes encontram-se, na maior parte do canal, com estrutura conservada ou pouco desgastada. Embora não tenha sido presenciado, foi informado por parte da Prefeitura Municipal, mediante a Secretaria de Serviços Urbanos e Meio Ambiente (SESUMA), que os serviços de coleta de resíduos sólidos nas imediações do canal e dentro dele são realizadas periodicamente.

Figura 5.5: Contribuições de esgoto e resíduos sólidos no Canal das Piabas.



Tabela 5.2– Valores da estatística F e os correspondentes valores críticos (F_{cr}).

VARIÁVEL	F	F _{cr}	Diferença significativa
Turbidez	3,18075	2,43407	Sim
SST	3,34246	2,43407	Sim
DBO	4,22874	2,43407	Sim
DQO	4,46109	2,43407	Sim
CE	9,29012	2,43407	Sim
CTT	2,57253	2,43407	Sim
OD	1,37026	2,50266	Não

As variáveis que apresentaram diferenças significativas, na análise de variância, foram submetidas ao método de comparação gráfica GT-2, ilustrado nas Figuras 5.6 e 5.7, sendo

observadas diferenças significativas nas concentrações do ponto P1 com relação aos demais pontos, para todos os indicadores analisados, exceto condutividade elétrica, sendo que os pontos P2, P3, P4 e P5, apresentaram interseções.

Os pontos P2, P3, P4 e P5 são os que apresentaram as maiores concentrações, devido às significativas contribuições de esgotos nesses pontos. Como verificado em campo, o P2 recebe contribuições de oficinas, o P3, além de outras contribuições no seu trecho, é influenciado pelo ponto a montante, o ponto P4, além das contribuições dos pontos anteriores, recebe efluente da feira central, e o ponto P5, conseqüentemente, também encontra-se poluído, apesar de apresentar concentrações menores. Isso vem de encontro à questão levantada até então, evidenciando que o Canal das Piabas recebe contínuas contribuições de esgotos no seu percurso.

Figura 5.6– Gráfico GT-2 das concentrações de DBO e DQO obtidos na monitoração dos pontos P1, P2, P3, P4 e P5, no período de abril a agosto de 2013.

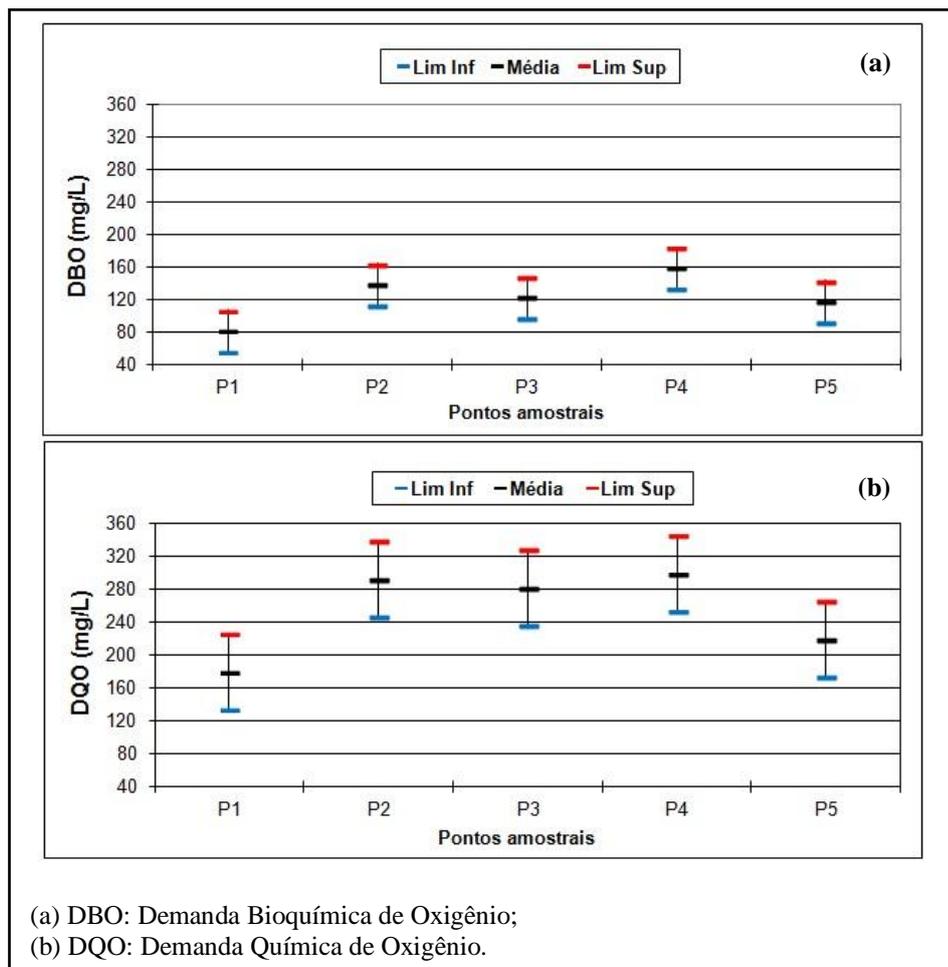
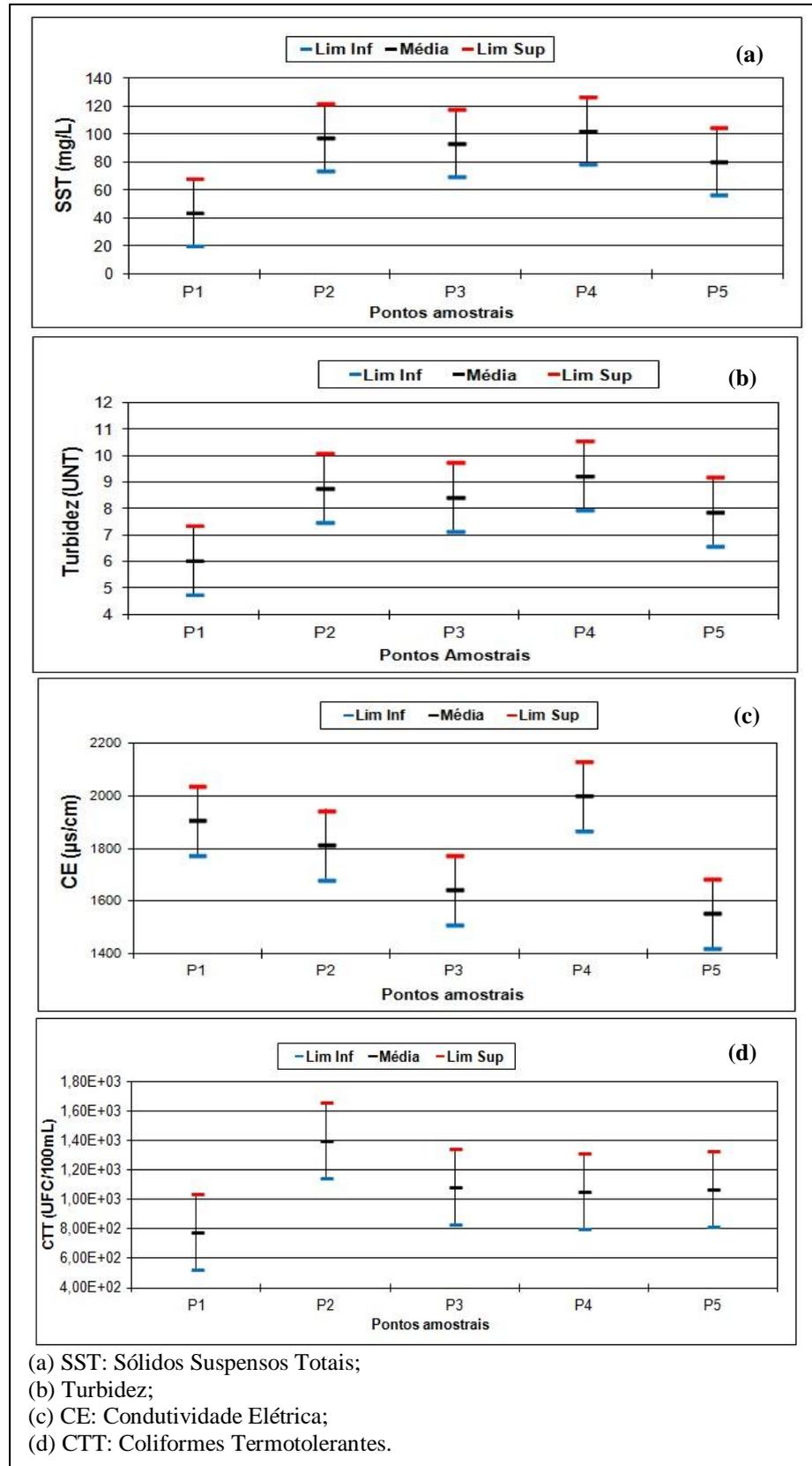


Figura 5.7– Gráfico GT-2 das concentrações de SST, Turbidez, CE e CTT obtidos na monitoração dos pontos P1, P2, P3, P4 e P5, no período de abril a agosto de 2013.



5.2 Avaliação da potencialidade para o reúso agrícola

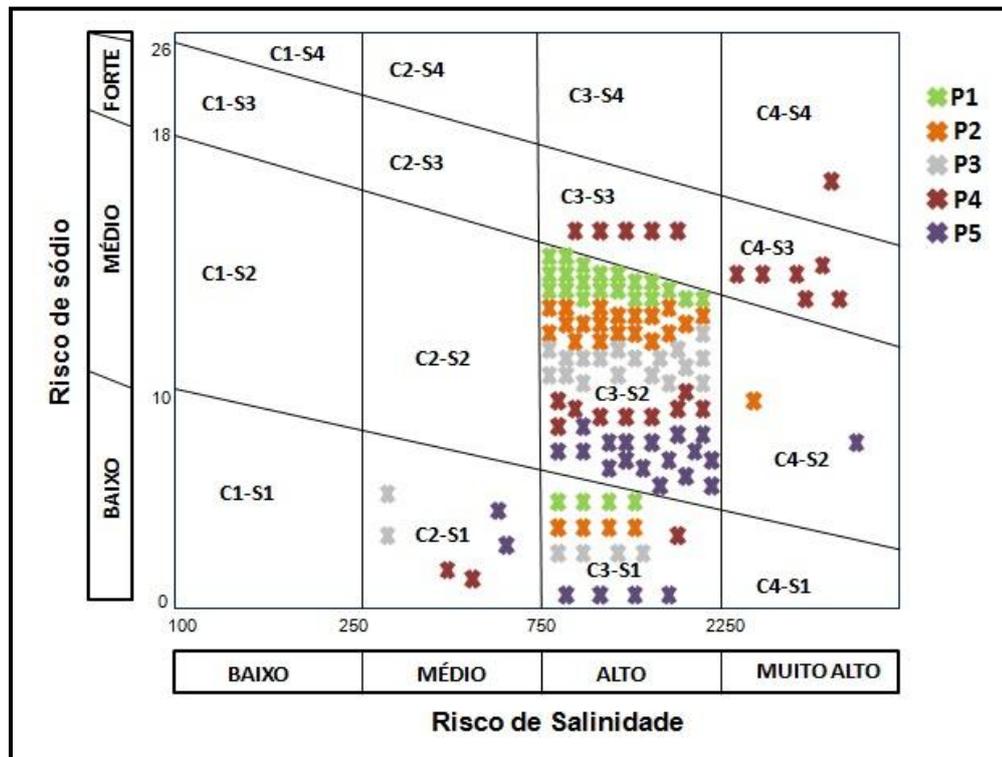
A classificação da água segundo o U.S. Salinity Laboratory Staff utiliza a condutividade elétrica (CE) para avaliar o risco de salinidade e a RAS para avaliar o risco de sodicidade (MONTEIRO et al., 2009).

Como pode ser observado na Figura 5.8 os valores encontrados variam entre as faixas média e muito alto no que diz respeito ao risco de salinidade e entre baixo e forte quanto ao risco de sodicidade, havendo uma maior ocorrência na classificação C3-S2. Merece atenção o ponto P4 que, em algumas ocasiões encontra-se com o risco de salinidade e de sódio, muito alto e forte, respectivamente.

Segundo a classificação de Richards (1954) a classe C3-S2, alto risco de salinidade e médio risco de sódio, apresenta-se como uma água de qualidade regular. Esse tipo de água exige controle constante, quando utilizado para irrigação, e depende do solo a ser empregado e da cultura a ser irrigada. Levando em consideração que o Canal das Piabas está contribuindo para o rio Paraíba e que o mesmo está sendo utilizado para irrigação de cultivos, tem-se que a ineficácia do sistema separador absoluto no que se refere ao canal em estudo vem contribuindo direta e indiretamente para a degradação da água e do solo no âmbito da bacia hidrográfica na qual está inserido.

Outro fator limitante quanto à utilização da água de drenagem do Canal das Piabas, para irrigação na cidade de Campina Grande, é em relação aos coliformes termotolerantes, encontrados em todas as amostras analisadas. Este fator expõe a população a riscos de contaminação por organismos patogênicos de origem fecal. Desta forma, se fazem necessárias uma melhor avaliação e medidas fiscalizadoras e punitivas que conduzam ao bom funcionamento do sistema de esgotamento sanitário instalado na cidade de Campina Grande, respeitando-se o critério da separação absoluta.

Figura 5.8 – Classificação quanto ao risco de sódio e a condutividade elétrica obtida na monitoração dos pontos P1, P2, P3, P4 e P5, no período de abril a agosto de 2013.



6.0 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Com base nos resultados obtidos durante o monitoramento dos cinco pontos do sistema de drenagem pluvial (Canal das Piabas) de Campina Grande foi possível concluir que:

- Através da análise da qualidade da água do Canal das Piabas, foi determinado que a mesma se caracteriza como esgoto doméstico fraco;
- Há relação direta entre as concentrações dos indicadores analisados e a precipitação pluviométrica, visto que, após dias chuvosos, por ocorrer um arraste de matérias e aumento do volume de água drenada proporcionado pela chuva, todos os indicadores avaliados apresentam variação significativa de concentrações, exceto a condutividade elétrica;
- Os pontos P2, P3, P4 e P5 foram os que apresentaram maior grau de poluição, pois além das contribuições de esgotos e lançamento de resíduos sólidos, recebem efluentes de oficinas e da feira central;
- A poluição do canal ocorre devido às permanentes contribuições de esgotos, assim como pelo lançamento de resíduos por parte dos moradores associados a deficiência na limpeza urbana;
- Há ineficiência na manutenção do canal de drenagem, que apresenta contribuições irregulares de esgoto e resíduos sólidos, caracterizando-se assim a deficiência na gestão desse sistema, assim como a falta de conscientização por parte da população;
- Diante da classificação encontrada em relação à RAS e à CE, conclui-se que a água apresenta risco para reúso na irrigação, tornando assim necessária a realização do monitoramento dos indicadores da qualidade da água de irrigação;
- Para utilizar a água do canal para reúso é necessário um tratamento dessa água, pois a prática de utilização de esgoto bruto na irrigação compromete a saúde, segurança e bem estar dos consumidores de produtos de origem vegetal e animal e aumenta significativamente o perigo de transmissão de doenças de veiculação hídrica;
- Ao verificar que a água do Canal das Piabas se caracteriza como esgoto doméstico, que o canal é utilizado como depósito de resíduos sólidos por moradores, conclui-se

que o sistema adotado não funciona como separador absoluto, expondo a população que vive próxima ao canal a riscos epidemiológicos, além de gerar degradação do ambiente.

A interconexão dos sistemas de esgotamento sanitário com os de águas pluviais ocorre na maioria das cidades brasileiras, se não em todas; diante desse cenário é necessária a adoção de medidas para solucionar ou mesmo amenizar a situação atual. Como recomendações têm-se:

- Realizar um planejamento integrado dos sistemas de água, esgoto e drenagem pluvial de forma a reduzir interferências negativas entre os mesmos;
- Melhoria do suporte técnico aos usuários e formação de equipe técnica que fiscalize e oriente os usuários a realizar a conexão das redes de esgoto sanitário em separado das redes de águas pluviais;
- Aplicação de multas aos usuários que persistirem em manter ligações clandestinas de esgoto sanitário no sistema de esgoto ou vice-versa;
- Cadastro técnico e atualizado periodicamente das redes de esgoto e de drenagem urbana, com informações transparentes entre as operadoras dos serviços de saneamento;
- Campanhas para orientar a população quanto à importância de conduzir águas de chuvas (dos telhados e quintais das residências) separadas das águas residuárias, e quanto à importância de não lançar resíduos nas vias ou nos canais abertos;
- Orientação para os agricultores, quanto aos riscos associados à utilização de águas residuárias brutas na irrigação de culturas.

CAPÍTULO 7

7.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, S. A. B. **Contribuição à aplicação de coeficientes de consumo em projetos de abastecimento de água e esgotamento sanitário em comunidades urbanas de baixa renda no nordeste do Brasil – Estudo de caso.** 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental). Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2007.

ARAÚJO, R.E.C. **Estudo do desempenho de um sistema de lagoas de estabilização no I, Glória II, Jardim América e Belo Monte) da cidade de Campina Grande, Paraíba.** 2007. 94p. Dissertação (Mestrado Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal de Campina Grande-PB, 2007.

AVCO, 1970. Stormwater pollution from urban activity. Water Quality Administration. (Water Pollution Control Research Series. Report n. 11034 FKL). In: TUCCI, Carlos E.M. **Água no meio urbano: Livro da água doce.** cap 14, Instituto de pesquisa hidráulica. UFGRS. Porto Alegre. RS. 1997.

BERNARDI, C, C. **Reuso de água para irrigação.** ISEA-FGV/ ECOBUSINESS SCHOOL. Brasília. Distrito Federal. Brasil. 2003.

BELOTTI, F.; M. **Capacidade de retenção de metais pesados pelo solo em área de implantação de estruturas de infiltração para águas pluviais urbanas em Belo Horizonte/MG** - Tese (Doutorado) Programa de Pós-Graduação do Departamento de Geografia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

BENCHIMOL, J; L. **Pereira Passos: um Haussmann Tropical.** Rio de Janeiro: Secretaria Municipal de Cultura, Turismo e Esportes. Departamento Geral de Documentação e Informação Cultural. (Coleção Biblioteca Carioca, v.11), 1990. 330 p. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/37685300/Pereira-Passos-Um-Haussmann-Tropical>>. Acesso em: 12 ago 2013.

BOLLMANN, H. A; MARQUES, D. M. L. M. Influência da densidade populacional nas relações entre matéria orgânica carbonácea, nitrogênio e fósforo em rios urbanos situados em áreas com baixa cobertura sanitária. **Eng. Sanit. Ambient.** Rio de Janeiro. v.11. n. 4. p. 217-231, 2006.

BRASIL. **Decreto nº 82.587**, de 6 de novembro de 1978. Regulamenta a Lei Federal nº 6.528, de 11 de maio de 1978. Dispõe sobre as tarifas dos serviços públicos de saneamento e dá outras providências.

BRASIL. **Lei nº 10.257**, de 10 de Julho de 2001. 16 p. Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências.

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de saneamento**. ed. 3. rev. Brasília. Fundação Nacional de Saúde. 408 p. 2006.

BRASIL. **Lei Federal nº 11.445**, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico.

BRASIL. Ministério das Cidades. **Guia para a elaboração de Planos Municipais de Saneamento Básico** – Brasília. Ministério das Cidades. 2ª edição. 152 p. 2011.

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

BUTLER, D. and DAVIES, J. W. **Urban Drainage**, 3rd Edition. London: Spon Press. 2011.

CAMPANHA, N.; A. BERNARDES, R.; S. SILVA, J.; A. Controle qualitativo e quantitativo do escoamento pluvial urbano com bacias de retenção. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 2, n. 3, p. 98-111, 2007.

CARTA DA TERRA. Disponível em <http://www.cartadaterrabrasil.org/prt/what_is.html> Acesso em: 28 jul 2013.

CHOE, J.S.; Yu, M.J.; Lee, J.H.; BANG, K.W.; KETCHUM, L.H.; First flush analysis of urban storm runoff; Elsevier; Science Direct; 2002. In: VALE, A.; B.; M., H. **Qualidade de águas pluviais em meio urbano - Caso de estudo do parque de estacionamento do Instituto Superior Técnico**. Dissertação (Mestrado). Universidade de Lisboa. Set de 2011.

CLOACA MÁXIMA. Disponível em: <www.thehistoryblog.com/archives/21511> Acesso em: 25 nov 2013.

CNRH. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 54**, de 28 de novembro de 2005. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água, e dá outras providências.

CNRH. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 121**, de 16 de dezembro de 2010. Estabelece diretrizes e critérios para a prática de reúso direto não potável de água na modalidade agrícola e florestal, definida na Resolução nº54/2005.

COLSON, N.V., 1974. Characterization ant treatment of urban land runoff. EPA. 670/2-74-096. In: TUCCI, Carlos E.M. **Água no meio urbano: Livro da água doce**. cap 14, Instituto de pesquisa hidráulica. UFRGS. Porto Alegre. RS. 1997.

CUNHA, V, D; **Estudo para proposta de critérios de qualidade da água para reúso urbano**. Universidade São Paulo - Escola Politécnica. São Paulo, 2008. Dissertação (Mestrado). Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. 106 p. 2008.

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**. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. Outubro de 2003. Dissertação (Mestrado) Engenharia Ambiental. 2003.

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

EPA [Environmental Protection Agency]; **Combined Sewer**; 2004. Disponível em <http://www.epa.state.oh.us/dsw/cso/csoindex.aspx> . >. In: VALE, A.; B.; M., H. **Qualidade de águas pluviais em meio urbano - Caso de estudo do parque de estacionamento do Instituto Superior Técnico**. Dissertação (Mestrado). Universidade de Lisboa. Set de 2011.

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

FERNANDES, V. M. **Padrões para reúso de águas residuárias em ambientes urbanos** – Departamento de Engenharia Civil da Universidade de São Paulo. 2009.

FERREIRA, F. M. S.; **Modelação e Gestão Integrada de Sistemas de Águas Residuais**; Dissertação de Doutoramento em Engenharia Civil; Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa; Lisboa; 2006. In: VALE, A.; B.; M., H. **Qualidade de águas pluviais em meio urbano - Caso de estudo do parque de estacionamento do Instituto Superior Técnico**. Dissertação (Mestrado). Universidade de Lisboa. Set de 2011.

FESTI, A.; V. **Estimativa da infiltração e do afluxo devidos à precipitação na rede de esgoto sanitário em município de pequeno porte**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de São Carlos. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana. 97 p. 2006.

FIELD, R; SULLIVAN, D; TAFURI, A. N.; **Management of Combined Sewer Overflows**. Lewis Publishers; 2004. In: VALE, A.; B.; M., H. **Qualidade de águas pluviais em meio urbano - Caso de estudo do parque de estacionamento do Instituto Superior Técnico**. Dissertação (Mestrado). Universidade de Lisboa. Set de 2011.

FILHO, A. G. A.; SZÉLIGA, M. R. ENOMOTO, C. F. **Estudo de medidas não-estruturais para controle de inundações urbanas**. **Ciências Exatas e da Terra, Ciências Agrárias e Engenharias**. UEPG. 2000.

FLORENCIO, L. BASTOS, R.; K.; X.. AISSE, M.;l M. (Coord.). **Tratamento e utilização de esgotos sanitários**. Rio de Janeiro, ABES, 427p. (PROSAB 4). 2006.

GOMES, E; F. **Perdas de vazão e seus efeitos na operação do sistema de esgotamento sanitário de Campina Grande-PB**. 2013. 84p. Dissertação (Mestrado Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal de Campina Grande. PB. 2013.

GONDIM, R.; **Qualidade das Águas Pluviais em Meio Urbano**; Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia do Ambiente; Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa; Lisboa; 2008. In: VALE, A.; B.; M., H. **Qualidade de águas pluviais em meio urbano - Caso de estudo do parque de estacionamento do Instituto Superior Técnico**. Dissertação (Mestrado). Universidade de Lisboa. Set de 2011.

GROMAIRE-MERTZ, M. C; **La Pollution des Eaux Pluviales Urbaines en Réseau D'Assainissement Unitaire: Caracteristiques et Origines**; These pour l'obtention du titre de Docteur de L'Ecole Nationale des Ponts et Chaussees, Spécialité: Sciences et Techniques de

l'Environnement; Ecole Nationale des Ponts et Chaussees; 1998. In: VALE, A.; B.; M., H. **Qualidade de águas pluviais em meio urbano - Caso de estudo do parque de estacionamento do Instituto Superior Técnico**. Dissertação (Mestrado). Universidade de Lisboa. Set de 2011.

GUIMARÃES, A. J. A.; CARVALHO, D. F. de; SILVA, L. D. B. **Saneamento Básico**. Disponível em: <<http://www.ufjf.br/analiseambiental/files/2009/11/TCC-SaneamentoSaude.pdf>>. Acesso em: 20 fev 2014.

HESPANHOL, I. Potencial de reuso de água no Brasil agricultura, indústria, municípios, recarga de aquíferos. RBRH - **Revista Brasileira de Recursos Hídricos** Volume 7. n.4 Out/Dez. 2002.

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

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 28 jun 2013.

IDE, C., 1984. Qualidade da drenagem pluvial urbana. dissertação de mestrado, Programa de pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento, IPH/UFRGS, 137 p. In: TUCCI, Carlos E.M. **Água no meio urbano: Livro da água doce**. cap 14, Instituto de pesquisa hidráulica. UFRGS. Porto Alegre. RS. 1997.

IRION, C. A.; O. SILVEIRA, G. L. **Sistemas de Esgotos Sanitários**. Disponível em: <<http://hidroprojetos.ctlab.ufsm.br>>. Acesso em: 20 ago 2013.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de esgoto doméstico**. Rio de Janeiro. 6. ed. 1050 p. 2011.

KOBIYAMA, M.; GOERL, R. F. Identificação dos riscos. **Emergência**. Novo Hamburgo. Ed. 25. p. Março. 2011.

LIMA, N.; F. **Recuperação de ovos de helmintos em amostras de águas residuárias urbanas de populações de baixa renda da cidade de Campina Grande, Paraíba, Brasil**. 2013. 72p. Dissertação (Mestrado Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal de Campina Grande. PB. 2013.

MMA. **Agenda 21**. Disponível em <<http://www.mma.gov.br>>. Acesso em: 28 de jul de 2013.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Guia para a elaboração de Planos Municipais de Saneamento Básico**. Brasília: Ministério das Cidades. 2ª edição. 152 p. 2011.

MIRANDA, H; K. **Microdrenagem e macrodrenagem urbana**. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br>>. Acesso em: 03 dez 2013.

MANCUSO, P.C.S.; SANTOS, H.F. **Reúso de Água – Coleção Ambiental**. São Paulo: Editora Manole. 579p. 2007.

MORUZZI, R. B. Reúso de água no contexto da gestão de recursos hídricos: impacto, tecnologias e desafios. **OLAM – Ciência & Tecnologia**. Rio Claro. São Paulo. Brasil. Ano VIII, Vol. 8, n.3. p. 271. Dez. 2008.

MONTEIRO, G; S. SILVA, J; N. & LÔBO, H; L; L. **Estudo da razão de adsorção de sódio do rejeito de dessalinizadores implantados no semiárido paraibano**. Centro Científico Conhecer - Enciclopédia Biosfera. Goiânia. vol.5. n.8. 2009.

NUVOLARI, A. **Esgoto Sanitário: Coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola**. São Paulo. Editora Blucher, 2003. 520 p.

NÓBREGA, P.; V.; M. **Análise do sistema de drenagem de Campina Grande/PB para proteção de áreas de risco de inundação**. Campina Grande, Paraíba, Brasil. 2012. 128p. Dissertação (Mestrado Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal de Campina Grande. PB. 2012.

_____. NBR 9648. **Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário - Procedimento**. Rio de Janeiro, 1986. 5 p.

_____. NBR 12207. **Projeto de interceptores de esgoto sanitário**. Rio de Janeiro, 1989. 3 p.

PARAÍBA. **Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA)**. Projeto Técnico Complementar do Sistema de Esgotamento Sanitário de Campina Grande-PB (Relatório Parcial)- Tecnosan Engenharia S/A. Campina Grande. PB, Janeiro. 64p. 1985,

PARAÍBA. **Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA)**. Disponível em: <http://www.cagepa.pb.gov.br>. Acesso em: 25 nov 2013.

PAZ, M.; F. GASTALDINI, M.; C.; C. JORGE, M.; J. **Avaliação da qualidade do escoamento superficial da bacia alto da colina**. XI Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Natal, Rio Grande do Norte. 2004.

PORTO, M. F. A. **Aspectos qualitativos do escoamento superficial em áreas urbanas**. In: BRAGA, B.; TUCCI, C. E. M; TOZZI, M. Drenagem Urbana: gerenciamento, simulação, controle. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS/ABRH. v 5. p.387-428. 1995.

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. Novembro de 2011.

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). 289p. 1999.

RICHARDS, L. A. (ed). **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington DC, US Department of Agriculture, 1954. 160 p. (USDA Agricultural Handbook, 60). In: SILVA, I.; N. FONTES, L.; O. TAVELLA, L.; B. OLIVEIRA, J.; B. OLIVEIRA, A.; C. Qualidade de água na irrigação. **Agropecuária Científica no Semi-Árido**. UFCG. Patos, Paraíba. 15p. 2011.

SILVA, I.; N. FONTES, L.; O. TAVELLA, L.; B. OLIVEIRA, J.; B. OLIVEIRA, A.; C. Qualidade de água na irrigação. **Agropecuária Científica no Semi-Árido**. UFCG. Patos, Paraíba. 15p. 2011.

SOUSA, V; G. **Diagnóstico e prognóstico socioeconômico e ambiental das nascentes do Riacho das Piabas (PB)**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. Campina Grande, 2010.

SNIS, **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento**. Brasília (DF): Ministério das Cidades, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, 2011.

SILVEIRA, A.; L.; L. **Drenagem urbana - Aspectos de Gestão**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Primeira Edição. 70 p. 2002.

SOKAL, R. R.; ROHLFF, J. **Biometry: The Principles and Practice of Statistics in Biological Research**. 2nd. edition. San Francisco: W. H. Freeman and Company, 1995.

STEFANI, A.; ARB, A. C.; GONÇALVES, F. R.; AYRES, M. V. A.; MELLO, M. H. V.; SOUZA, R. M. P. **Seminário “Gestão da Drenagem Urbana”**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. São Paulo. Junho. 2005.

TAEBI, A; DROSTE, R. L.; Pollution loads in urban runoff and sanitary wastewater; Science Direct; 2003. In: VALE, A.; B.; M., H. **Qualidade de águas pluviais em meio urbano - Caso de estudo do parque de estacionamento do Instituto Superior Técnico**. Dissertação (Mestrado). Universidade de Lisboa. Set de 2011.

TRATA BRASIL. **Esgotamento sanitário inadequado e impactos na saúde da população**. Disponível em: <<http://www.tratabrasil.org.br>>. Acesso em: 22 ago 2013.

TSUTIYA, M.T.; BUENO, R.C.R.; CINTRA, E. M.; REAMI, L. **Contribuição de águas pluviais em sistemas de esgotos sanitários. Estudo de caso da cidade de Franca, Estado de São Paulo**. 22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Setembro. Joinville. Santa Catarina. 13p. 2003.

TSUTIYA, M.T.; BUENO, R.C.R. **Contribuição de águas pluviais em sistemas de esgoto sanitário no estado de São Paulo**. 22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 2003. Joinville. Santa Catarina. 12p.

TSUTIYA, M. T.; BUENO, R. C. R. Contribuição de águas pluviais em sistemas de esgoto sanitário no Brasil. **Água Latinoamérica**. Jul. 2004.

TUCCI, C.; E.; M. BERTONI, J.; C. **Inundações Urbanas na América do Sul**. Porto Alegre. Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003.

TUCCI, C. E. M. Drenagem Urbana. **Cienc. Cult.** São Paulo, v.55, n.4, p. 36-37, 2003.

TUCCI, Carlos E.M. **Água no meio urbano: Livro da água doce**. cap 14, Instituto de pesquisa hidráulica. UFRGS. Porto Alegre. RS. 1997.

TUCCI, C. E.M. (org). **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. Editora da UFRGS e EDUSP ABRH p. 98. 1993.

TUCCI, C.E.M., GENZ, F. Controle do Impacto da Urbanização, in : Tucci, C.E.M., Porto, R.L., Barros, M.T. org, **Drenagem Urbana**. Porto Alegre. Editora da Universidade, 428p. 1995.

TUCCI, C. E. M. Gerenciamento da drenagem urbana. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Vol. 7, N.1, jan/mar, pp 5-27. 2002.

TUCCI, C. E. M. **Curso de Gestão das inundações urbanas**. Porto Alegre: UNESCO – Global Water Partnership South America - Asociación mundial del agua, 2005.

VALE, A.; B.; M., H. **Qualidade de águas pluviais em meio urbano - Caso de estudo do parque de estacionamento do Instituto Superior Técnico**. Dissertação (Mestrado). Universidade de Lisboa. Set de 2011.

VOLSCHAN, I.; TSUTIYA, M. T.; MARTINS, R. H. O.; YAZAKI, L. F. O. Sistema unitário x sistema separador absoluto qual o mais atraente para as condições brasileiras?. **DAE**. São Paulo. Brasil. 60 p. 2009.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais. 2005.

WEIBEL, S.R., ANDERSON, R.J.; WOODWARD, R.L., 1964. Urban Land Runoff as a factor in stream pollution. *Journal Water Pollution Control Federation*. Washington, V. 36, n.7, 914-924. In: TUCCI, Carlos E.M. **Água no meio urbano: Livro da água doce**. cap 14, Instituto de pesquisa hidráulica. UFRGS. Porto Alegre. RS. 1997.