

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

Jeferson Luis Andreoli dos Santos

**EFLUENTE DE SISTEMA UNITÁRIO:
CRITÉRIOS PARA DIMENSIONAMENTO DE ETE**

Porto Alegre
dezembro 2011

JEFERSON LUIS ANDREOLI DOS SANTOS

**EFLUENTE DE SISTEMA UNITÁRIO:
CRITÉRIOS PARA DIMENSIONAMENTO DA ETE**

Trabalho de Diplomação apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

Orientador: Luis Olinto Monteggia

Porto Alegre
dezembro 2011

JEFERSON LUIS ANDREOLI DOS SANTOS

**EFLUENTE DE SISTEMA UNITÁRIO:
CRITÉRIOS PARA DIMENSIONAMENTO DA ETE**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pelo Professor Orientador e pela Coordenadora da disciplina Trabalho de Diplomação Engenharia Civil II (ENG01040) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 19 de dezembro de 2011

Prof. Luiz Olinto Monteggia
Doutor em Engenharia de Meio ambiente pela Universidade de Newcastle / UK
Orientador

Profa. Carin Maria Schmitt
Coordenadora

BANCA EXAMINADORA

Prof. Antônio Domingues Benetti / UFRGS
Doutor em Engenharia de Meio Ambiente pela Universidade de Cornell / USA

Profa. Carmen Maria Barros de Castro / UFRGS
Doutora em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela UFRGS /Brasil

Prof. Luiz Olinto Monteggia / UFRGS
Doutor em Engenharia de Meio ambiente pela Universidade de Newcastle / UK

Dedico este trabalho a meus pais, Luiz Mateus e Cledi,
que sempre me apoiaram, estiveram e estarão sempre
ao meu lado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela oportunidade, pela força e coragem que me deste para enfrentar mais essa etapa de minha vida.

Agradeço ao Prof. Luis Olinto Monteggia, orientador deste trabalho pela paciência, compreensão das dificuldades e a amizade nascida desse vínculo.

Agradeço à incansável Profa. Carin Maria Schmitt pela dedicação e pelo grande auxílio.

Agradeço aos meus pais, Luiz e Cledi, por todo amor, educação e por terem me proporcionado boas oportunidades. As minhas irmãs, Gisele e Gisiane pela alegria, companheirismo e amor, e a toda minha família.

Agradeço ao colega Eng^o Daniel Winter, por ser meu colega e amigo ao longo do curso, pelas horas incontáveis de estudos e momentos de muita alegria.

Agradeço ao Eng^o. Everton Rödel pelas oportunidades dadas, à formação profissional e compreensão e apoio as minhas atividades estudantis.

Agradeço ao Eng^o Fábio Sutoff pela lições de disciplina, profissionalismo e ética.

Agradeço a todos os amigos e colegas que fizeram parte da minha história, direta ou indiretamente.

Sabedoria é saber o que fazer,
habilidade é saber como fazê-lo e
virtude é fazê-lo.

David Jordan

RESUMO

Este trabalho versa sobre a descrição de critérios para o dimensionamento de uma estação de tratamento de esgotos para efluentes oriundos de rede unitária, na qual existe além da parcela de carga dos esgotos cloacais, também a parcela de carga poluidora proveniente dos escoamentos superficiais das bacias hidrográficas contribuintes. É objetivo do trabalho, a descrição dos critérios a serem considerados para o correto dimensionamento da estação de tratamento de esgoto associado ao sistema. Têm como principal critério para dimensionamento da ETE a relação de carga poluidora por densidade populacional, demonstrando como o nível de ocupação urbana influencia no efluente final a ser tratado. Como ferramenta de comparação, serão estudadas três bacias hipotéticas, para as quais são demonstrados qualitativa e numericamente o tipo de efluente final, de acordo com o nível de ocupação populacional. Após a caracterização do efluente por tipo de bacia, será feita a descrição dos critérios que deverão ser considerados para o dimensionamento da estação de tratamento de esgoto para o tratamento desse efluente oriundo da rede unitária associada ao sistema.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação esquemática das etapas do trabalho.....	18
Figura 2 – Impacto da urbanização no hidrograma de cheia para rios em áreas urbanizadas e não urbanizadas.....	28
Figura 3 – Efeitos da urbanização na qualidade e quantidade das águas em bacias hidrográficas urbanizadas.....	30
Figura 4 – Relação entre área impermeável e densidade populacional.....	44
Figura 5 – Relação entre vazão antes e após urbanização.....	45
Figura 6 – Mudanças nas vazões hidrológicas com aumento da cobertura de superfícies impermeáveis (ISC) em bacias urbanizadas.....	46
Figura 7 – Comparação de carga anual de DBO para bacia de pequena densidade populacional.....	58
Figura 8 – Comparação de carga anual de DBO para bacia de média densidade populacional.....	59
Figura 9 – Comparação de carga anual de DBO para bacia de alta densidade populacional.....	59
Figura 10 – Comparação de carga anual de SS para bacia de pequena densidade populacional.....	60
Figura 11 – Comparação de carga anual de SS para bacia de média densidade populacional.....	60
Figura 12 – Comparação de carga anual de SS para bacia de alta densidade populacional.....	61
Figura 13 – Comparação entre volumes de esgotos a serem tratados pela densidade populacional.....	63

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – fases do desenvolvimento das águas urbanas.....	24
Quadro 2 – Causas e efeitos da urbanização sobre as cheias dos rios urbanos.....	27
Quadro 3 – Comparação de cargas de poluição em diferentes sistemas em base de tempo anual (toneladas).....	31
Quadro 4 – Comparação de cargas de poluição em diferentes sistemas, por evento (quilogramas).....	31
Quadro 5 – Comparação de cargas de poluição de origem pluvial e de esgotamento sanitário.....	32
Quadro 6 – Origem e importância dos parâmetros físicos de qualidade das águas.....	35
Quadro 7 – Origem e importância da matéria orgânica de qualidade das águas.....	35
Quadro 8 – Origem e importância dos parâmetros químicos de qualidade das águas....	36
Quadro 9 – Origem e importância dos parâmetros biológicos de qualidade das águas...	36
Quadro 10 – Valores de α para diferentes usos do solo.....	41
Quadro 11 – Valores de β para diferentes usos do solo.....	42
Quadro 12 – Valores de C usados pelo Método Simples em mg/L para algumas cidades.....	48
Quadro 13 – Valores de C usados pelo Método Simples em mg/L.....	48
Quadro 14 – Concentrações médias dos eventos em Paris.....	49
Quadro 15 – Valores de sólidos suspensos totais em mg/L.....	49
Quadro 16 – Valores dos principais parâmetros de dimensionamento da ETE.....	50
Quadro 17 – Valores e principais características das bacias.....	51
Quadro 18 – Valores de SST por evento e carga anual.....	52
Quadro 19 – Valores de DBO5 por evento e carga anual.....	53
Quadro 20 – Volume total de escoamento da bacia por evento.....	54
Quadro 21 – Valores médios de variáveis $C_{\text{água}}$, Cr, k1 e k2.....	55
Quadro 22 – Valores vazão máxima diária de esgoto cloacal.....	56
Quadro 23 – Valores diários de vazão, DBO e SS de esgoto cloacal.....	57
Quadro 24 – Comparação dos valores anuais do sistema de esgoto pluvial e cloacal.....	58
Quadro 25 – Comparação dos valores por evento do sistema de esgoto pluvial.....	62
Quadro 26 – Comparação dos valores do multiplicador de vazão de tempo seco.....	62

LISTA DE SIGLAS

DBO₅: demanda bioquímica de oxigênio para 5 dias

DQO: demanda química de oxigênio

ETE: estação de tratamento de esgoto

PV: poço de visita.

SS: sólidos suspensos

SST: sólidos suspensos totais.

LISTA DE SÍMBOLOS

AP = carga de esgoto pluvial

ED = carga de esgotos domésticos

V = velocidade de escoamento (m/s)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 MÉTODO DE PESQUISA.....	15
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA.....	15
2.2 OBJETIVOS DO TRABALHO.....	15
2.2.1 Objetivo principal.....	15
2.2.2. Objetivos secundários.....	15
2.3 PRESUPOSTO.....	16
2.4 PREMISA.....	16
2.5 DELIMITAÇÕES.....	16
2.6 LIMITAÇÕES.....	16
2.7 DELINEAMENTO.....	17
3 DENSIFICAÇÃO URBANA E SANEAMENTO.....	20
3.1 URBANIZAÇÃO CRESCENTE.....	20
3.2 QUADRO DO SANEAMENTO BÁSICO BRASILEIRO.....	22
4 BACIAS DE CONTRIBUIÇÃO.....	24
4.1 BACIA HIDROGRÁFICA.....	24
4.2 CONSEQUÊNCIAS DA URBANIZAÇÃO DAS BACIAS.....	25
4.3 POLUIÇÃO DAS ÁGUAS PLUVIAIS PELA URBANIZAÇÃO NA BACIA.....	28
4.4 DIMENSÕES DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS.....	31
5 CARACTERÍSTICAS DO EFLUENTE URBANO PARA O DIMENSIONAMENTO DA ETE	33
5.1 PRINCIPAIS POLUENTES DAS ÁGUAS URBANAS.....	33
5.2 PARÂMETROS PARA O DIMENSIONAMENTO DE ETE.....	36
6 MÉTODOS DE ESTIMATIVA DE POLUENTES.....	37
6.1 ESTIMATIVA DE CARGA DE POLUENTES PELO MÉTODO SIMPLES DE SCHUELER.....	37
6.2 MODELO PARA A ESTIMATIVA DE CARGA ANUAL DE POLUENTES.....	39
7 RELAÇÕES ENTRE AS CARACTERÍSTICAS DO EFLUENTE URBANO COM A DENSIDADE POPULACIONAL.....	42
7.1 RELAÇÃO DENSIDADE POPULACIONAL E VAZÃO.....	42
7.2 RELAÇÃO DENSIDADE POPULACIONAL COM CONCENTRAÇÃO E CARGA DE POLUENTES.....	46
8 ESTIMATIVA DE CARGA DE POLUENTES POR BACIA.....	50
8.1 BACIAS COMPARADAS.....	50

8.2 CARGA DE SST.....	51
8.3 CARGA DE DBO5.....	52
8.4 VAZÃO.....	52
8.5 VALORES DE DBO5, SST E VAZÃO DO SISTEMA CLOACAL.....	53
8.6 COMPARAÇÕES DOS VALORES ANUAIS DE DBO5, SST E VAZÃO DO SISTEMA PLUVIAL COM OS VALORES DO SISTEMA CLOACAL.....	56
9 CRITÉRIOS PARA DIMENSIONAMENTO DA ETE PARA REDE UNITÁRIA.....	63
9.1 VAZÃO MÁXIMA DA ETE.....	63
9.2 GRADEAMENTO.....	64
9.3 CAIXAS DE AREIA.....	64
9.4 ESTRUTURAS AUXILIARES.....	65
10 CONCLUSÕES.....	66
REFERÊNCIAS	68

1 INTRODUÇÃO

Com a crescente preocupação socioambiental e a densificação das regiões urbanas, surgem como desafio para municípios e estados, as questões de saneamento básico. O esgoto não tratado interfere não só no meio ambiente, mas na qualidade de vida de todos os cidadãos nas cidades no entorno dos corpos receptores. Para a parcela de esgotos sanitários a solução atual preconizada em redes coletoras é do tipo separador absoluto, com altos investimentos financeiros e intervenção em grande escala nos sistemas urbanos, afetando o trânsito e o comércio. A execução de redes coletoras separadoras absolutas e a implantação de estações de tratamento de esgoto são utilizadas para reverter o quadro atual de baixas taxas de esgoto tratado.

O sistema de drenagem pluvial, já implantado e adotado na grande maioria das cidades do Estado, funciona como um sistema de rede unitária. A rede unitária é utilizada para escoamento de águas de origem pluvial e também para escoar os esgotos sanitários (efluente de fossas sépticas) com destino aos corpos receptores, sem tratamento prévio.

Além da carga orgânica proveniente dos esgotos, o efluente da rede unitária ainda conta com a carga orgânica e sólidos suspensos proveniente do escoamento superficial, gerado pela precipitação na bacia hidrográfica. A carga orgânica e os sólidos suspensos presentes nesse efluente sofre variações devido ao tipo de bacia da qual é proveniente, podendo variar sua contaminação de níveis baixos até altos de concentração. Essas contaminações serão conduzidas pelas redes pluviais e serão despejadas nos corpos receptores sem qualquer tratamento.

As estações de tratamento de esgotos atualmente projetadas são restritas ao efluente da rede supondo sistema separador absoluto, que por sua vez coleta somente o efluente bruto, fazendo seu tratamento no nível primário, secundário e, eventualmente, terciário, em algumas estações. O sistema de drenagem pluvial não conta com o tratamento de seu efluente por uma ETE específica ou, por motivos econômicos e de espaço nas cidades, uma ETE integrada para esgotos cloacais e pluviais.

A pesquisa desenvolvida neste trabalho envolve o estabelecimento de critérios para dimensionamento de estações de tratamento de esgotos recebendo o esgoto sanitário e pluvial.

Desta forma espera-se contribuir para o tratamento adequado e integrado de esgotamento sanitário e de drenagem pluvial. Contempla a concepção técnica de esgotamento misto em deter as águas no início de chuvas intensas para posterior tratamento, adequando a vazão a ser tratada à capacidade da ETE associada ao sistema.

Sendo assim, este trabalho foi dividido em 10 capítulos. Seguindo este capítulo de introdução, o próximo capítulo contém as diretrizes da pesquisa e como a mesma foi desenvolvida. Os capítulos 3,4 e 5 apresentam uma revisão bibliográfica sobre o problema da densificação urbana, as bacias urbanas e as características dos efluentes, respectivamente. O capítulo 6 apresenta dois métodos de estimativa de carga poluidora, sendo que ambos levam em conta o fator densidade populacional para o cálculo de poluentes. No capítulo 7 é feita então, a relação das principais características do efluente, necessárias para o dimensionamento da estação de tratamento de esgoto, com o fator densidade populacional. Este capítulo mostra a aplicação do método simples para 3 bacias hipotéticas.

No capítulo 8 o objetivo foi demonstrar a estimativa de carga para cada tipo de bacia tendo como principal parâmetro a densidade populacional. Nesse mesmo capítulo foi feita a comparação entre as cargas de poluentes geradas pelas bacias em termos de carga anual e carga por evento e foram comparadas as cargas de poluentes gerados pelo escoamento superficial com a carga de poluentes oriundos da rede cloacal da mesma bacia. No capítulo 9, foi visto a orientação e os critérios a serem considerados para as etapas de cálculo do dimensionamento da ETE. No capítulo 10 tem objetivo de apresentar as conclusões obtidas.

2 MÉTODO DE PESQUISA

Para a elaboração do presente trabalho foram definidas as seguintes diretrizes que determinaram o seu desenvolvimento.

2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

A questão da pesquisa é: quais os critérios para dimensionar uma estação de tratamento para efluentes de rede unitária?

2.2 OBJETIVOS DO TRABALHO

Os objetivos do trabalho estão classificados em principal e secundários e são apresentados nos próximos itens.

2.2.1 Objetivo principal

O objetivo principal do trabalho é a descrição dos critérios a serem considerados para o dimensionamento de uma estação de tratamento de esgotos oriundos da rede unitária.

2.2.2 Objetivos secundários

Os objetivos secundários deste trabalho são:

- a) descrição do tipo de efluente oriundo do escoamento superficial de áreas urbanas com diferentes níveis de ocupação demográfica;
- b) verificação dos aspectos que devem ser modificados nas ETE em função do tipo de esgoto que será tratado.

2.3 PRESSUPOSTO

O trabalho tem por pressuposto que exista nas bacias estudadas uma rede de esgotamento pluvial implantada e que há relação entre a densidade populacional e a quantidade de poluentes disposta no meio urbano.

2.4 PREMISSE

O trabalho tem por premissa que ocorre a diminuição dos impactos gerados pela poluição das águas de escoamento superficial nos corpos receptores com a implantação de um sistema de tratamento unificado aos efluentes urbanos.

2.5 DELIMITAÇÕES

O trabalho delimita-se à comparação de três micros bacias de drenagem com diferentes níveis de ocupação e de desenvolvimento urbano, descrevendo-as a partir de dados disponíveis na bibliografia, com o objetivo de identificar as cargas poluidoras de acordo com o nível de densidade populacional, criando cenários e adequando-os a cada tipo proposto de bacia.

2.6 LIMITAÇÕES

São limitações do trabalho:

- a) assumir que os dados coletados na pesquisa bibliográfica são válidos como parâmetros para classificação do nível de carga poluidora da bacia;
- b) adotar a rede de drenagem pluvial como sendo adequada à incorporação da contribuição de cada bacia estudada;
- c) avaliar as contribuições de poluentes somente em termos de carga orgânica e metais nos escoamentos superficiais de cada bacia.

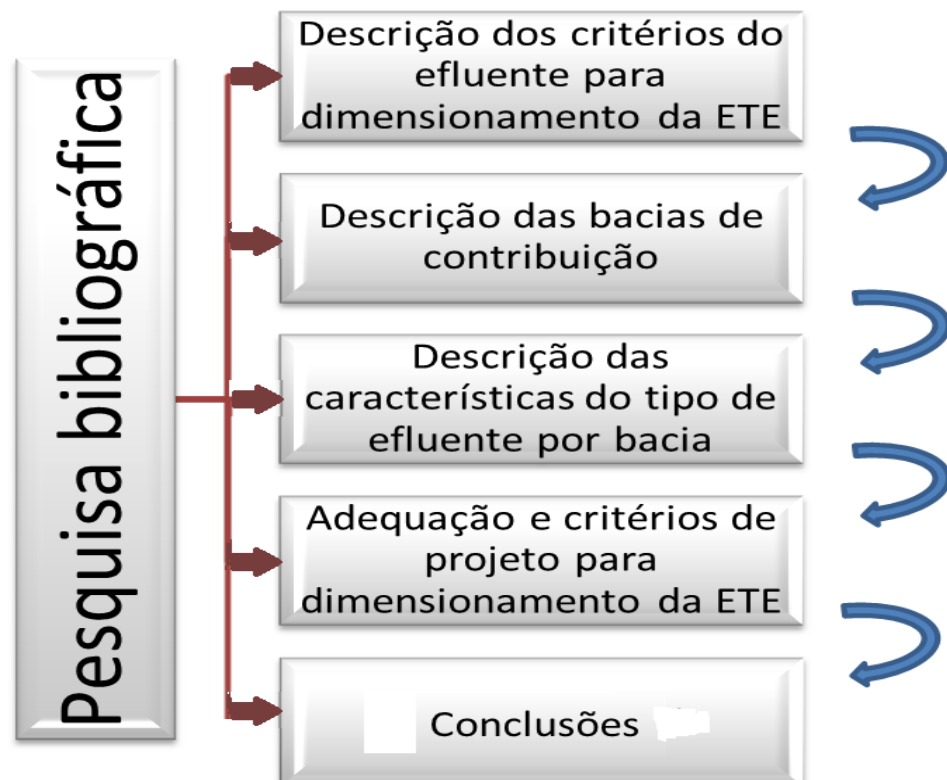
2.7 DELINEAMENTO

O trabalho será realizado através das seguintes etapas:

- a) pesquisa bibliográfica;
- b) descrição dos critérios do efluente para dimensionamento da ETE;
- c) descrição das bacias de contribuição;
- d) características do tipo de efluente por bacia;
- e) adequação e critérios de projeto para dimensionamento da ETE;
- f) conclusões.

Estas etapas estão representadas na sequencia de estruturação das informações na figura 1 e detalhadas nos próximos parágrafos.

Figura 1 – Representação esquemática das etapas do trabalho



(fonte: elaborado pelo autor)

No item pesquisa bibliográfica, o objetivo foi obter uma base teórica com o intuito de coletar e estruturar o conhecimento para as etapas seguintes. Este item foi continuamente ampliado ao longo do trabalho para a sua melhoria.

No item descrição dos critérios do efluente para dimensionamento da ETE, foram descritos os critérios que devem ser levados em conta para o dimensionamento das estruturas da estação de tratamento de esgoto. Também foi realizado nesse item a definição de qual tipo de processo de tratamento na estação deveria ser adotado.

No item descrição das bacias de contribuição, foi realizada a descrição das bacias hidrográficas e posteriormente, para fins do trabalho, também feita uma classificação hipotética de três tipos de bacias hidrográficas, tendo como distinção o nível de densidade populacional e urbanização, como representado a seguir:

- a) bacia 1: considerada com baixo nível de densidade populacional e baixa urbanização;
- b) bacia 2: considerada com médio nível de densidade populacional e média urbanização;
- c) bacia 3: considerada com alto nível de densidade populacional e alta urbanização.

No item características do tipo de efluente por bacia, foi aplicado o método de estimativa de carga poluidora (método simples de Schueler) nas três bacias hipotéticas. Tendo como base a bibliografia existente, são adequados os coeficientes desse método para terem relação direta com o nível de densidade populacional e urbanização da bacia estudada. Com isso se determinou a quantidade e o tipo de efluente oriundo de seu escoamento superficial para as três bacias, no que diz respeito as principais características, que é a vazão, concentração e carga de poluentes.

Posteriormente foi realizada a adequação e critérios de projeto para dimensionamento da ETE, dispondo das características obtidas do escoamento superficial de cada bacia, como a vazão, concentração e carga de poluentes mais a parcela de esgoto cloacal. Foi feita a adequação da estação de tratamento de esgoto para esses efluentes combinados, demonstrando que mudanças este efluente urbano vai ocasionar no que diz respeito à vazões, concentrações e carga de poluentes.

Já nas conclusões procedeu-se a discussão dos dados obtidos, de forma a demonstrar a viabilidade do tratamento combinado dos efluentes urbanos, e as carências de dados e bibliografia para critérios de adequações das ETE para o caso aplicado, para o cumprimento do objetivo do trabalho.

3 DENSIFICAÇÃO URBANA E SANEAMENTO

Este capítulo relata as consequências de um crescimento urbano sem o devido planejamento e controle dos órgãos responsáveis, causando diversas interferências no sistema urbano, interferindo não só na infraestrutura da cidade, mas também na qualidade de vida dos cidadãos.

3.1 URBANIZAÇÃO CRESCENTE

O atual crescimento urbano, que ocorre sem o devido controle e a densificação de áreas já ocupadas, está mostrando-se como um grande problema no que diz respeito à gestão de recursos para saneamento básico. Nos países em desenvolvimento como o Brasil, a gestão de recursos hídricos e o crescimento urbano têm sido realizados de maneira insustentável, deixando como consequências diversos transtornos na qualidade de vida dos cidadãos e a degradação do meio ambiente.

Para Tucci (2005, p. 11), a grande concentração populacional em pequenas áreas das cidades, em grandes conjuntos habitacionais ou em favelas sem um planejamento de controle de crescimento, tende a gerar deficiências no que diz respeito aos serviços no sistema de transporte, a falta de abastecimento de água tratada e saneamento básico, também o ar e águas residuais poluídas. Estas condições ambientais inadequadas, que reduzem as condições de saúde, qualidade de vida da população e aumentam os impactos ambientais, são as principais limitações ao desenvolvimento urbano e social.

Segundo Tucci (2005, p. 12), os problemas da urbanização ocorrem por um ou mais fatores ao longo do tempo e principalmente nas últimas décadas, são eles:

- a) a população que migra para as cidades geralmente é de baixa renda e não possui capacidade de investimento e tende a invadir áreas públicas ou comprar áreas precárias sem infraestrutura da urbanização informal. Nestas estão as áreas de risco de inundação ou de deslizamento;
- b) déficit de emprego, renda e de moradia é alto;
- c) legislações equivocadas de controle do espaço urbano;

- d) incapacidade do município de planejar e antecipar a urbanização e investir no planejamento do espaço seguro e adequado como base do desenvolvimento urbano;
- e) crise econômica nos países.

Para Tucci (2008, p. 2), desde o século passado, o desenvolvimento urbano passou a criar padrões de concentração urbana. Nas grandes cidades, houve um processo de desconcentração urbana em direção à periferia, deixando o centro das cidades despovoado e degradado. Os municípios estão concentrados no controle e aprimoramento das áreas nas quais o valor econômico é alto e o planejamento e o desenvolvimento das áreas urbanas são realizados sem incorporar os aspectos relacionados com os diferentes componentes da infraestrutura. As melhorias em abastecimento de água, de energia elétrica estão muito adiantadas em relação às que visam o esgotamento sanitário, nas cidades e em áreas distantes dos centros urbanos.

No caso geral, as cidades cresceram com baixa ou nenhuma cobertura de redes de coleta de esgotos, além da quase falta de tratamento dos efluentes. Em cidades com pequena densidade populacional é utilizado, por exemplo, o tratamento individualizado, caracterizado por fossa séptica para tratamento primário dos esgotos e sua disposição ao meio ambiente. Essa estrutura necessita de manutenção periódica. Com o crescimento das cidades e a falta de investimento do poder público, as ligações domiciliares acabam sendo simplesmente conectadas à rede de esgoto pluvial, desaguando nos cursos d'água mais próximos. Essa postura compromete o sistema fluvial e gera impactos na qualidade da água (TUCCI, 2008, p. 3).

Em muitos locais nos quais não existe rede para a coleta de esgotos sanitários, as residências são equipadas com fossas sépticas e filtros anaeróbios, unidades que removem uma parcela dos contaminantes através dos processos de sedimentação, flotação e digestão. Esse método de tratamento primário mostra-se ineficiente ao passar do tempo, pois não recebem a manutenção devida ou são construídos de forma incorreta (trabalho não publicado)¹. Como não há um rígido controle, fiscalização e conhecimento dos usuários dessas técnicas, está cada vez menos em uso devido à falta de controle na qualidade desse efluente.

¹ Plano Diretor de Esgotos Sanitários, Flores da Cunha, Relatório final – Memória; Trabalho adjudicado pelo município de Flores da Cunha - RS à FAURGS – Fundação de Apoio à Universidade Federal do Rio Grande do Sul, com a intervenção do IPH – Instituto de Pesquisas Hidráulicas.

3.2 QUADRO DO SANEAMENTO BÁSICO BRASILEIRO

Conforme a Lei Federal n. 11.445 (BRASIL, 2007, art. 2º), o saneamento básico trata de um conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais de abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, manejo de resíduos sólidos e águas pluviais urbanas. Estes serviços públicos estão baseados nos seguintes princípios fundamentais:

- a) universalização do acesso;
- b) integralidade dos serviços conforme a necessidade da população e maximização da eficácia das ações;
- c) serviços públicos realizados de forma adequada a saúde pública e a proteção do meio ambiente;
- d) disponibilidade de serviços de drenagem e manejo de águas pluviais em todas as áreas urbanas, adequados a saúde pública e à segurança da vida e do patrimônio público e privado;
- e) articulação com as políticas de desenvolvimento urbano e regional, de habitação, de combate à pobreza e de sua erradicação, de proteção ambiental, de promoção da saúde e outras de relevante interesse social voltadas para a melhoria da qualidade de vida para as quais o saneamento básico seja fator determinante;
- f) eficiência e sustentabilidade econômica;
- g) utilização de tecnologias apropriadas, considerando a capacidade de pagamento dos usuários e a adoção de soluções graduais e progressivas;
- h) transparência de ações, baseada em sistemas de informações e processos decisórios institucionalizados;
- i) controle social;
- j) segurança, qualidade e regularidade;
- k) integração das infraestruturas e serviços com a gestão eficiente dos recursos hídricos.

Conforme Portz (2009, p. 18), a disposição incorreta do esgoto doméstico gera problemas relacionados à saúde pública, comprometendo a qualidade de vida da população e causando grandes impactos ao meio ambiente. O esgoto a céu aberto é uma fonte contínua de transmissão de doenças de veiculação hídrica, por meio do contato das pessoas com o esgoto ou através de insetos e animais que se multiplicam nesses locais. Esse esgoto, por fim, tem seu destino os rios e lagos, que servem para captação de água para consumo das cidades, encarecendo e tornando cada vez mais complexo os sistemas de tratamento para potabilidade.

Segundo Tucci (2008, p. 3), nos países em desenvolvimento a principal preocupação é a contaminação do risco de consumo de águas poluídas. O problema da falta de esgotos tratados tem como questões:

- a) quando as redes de esgoto são implementadas ou projetadas não tem sido prevista a ligação da saída das habitações ou condomínios às redes. Desta forma, as redes não coletam o esgoto projetado e as estações não recebem o esgoto para o qual tem a capacidade. Neste caso, ou o projeto foi elaborado de forma inadequada, ou não foi executado como deveria. Como o esgoto continua escoando pelo pluvial para o sistema fluvial, o impacto ambiental continua alto. A conclusão é que os investimentos públicos são realizados de forma inadequada, atendendo apenas as empresas de engenharia (obras) e não a sociedade que aporta os recursos;
- b) como uma parte importante das empresas cobra pelo serviço de coleta e tratamento, mesmo sem o tratamento ser realizado, qual será o interesse das mesmas em completar a cobertura de coleta e tratamento do esgoto?
- c) quando for implementado o sistema de cobrança pela poluição, quem irá pagar as penas previstas para a poluição gerada?

Em Tucci (2008, p. 5), é apresentada uma visão histórica do desenvolvimento das águas urbanas, classificadas de acordo com a quadro 1. O autor afirma que o Brasil, infelizmente, está ainda na fase higienista em razão de falta de tratamento de esgoto, transferência de inundação na drenagem e falta de controle dos resíduos sólidos.

Quadro 1 – Fases do desenvolvimento das águas urbanas

Fase	Características	Consequências
Pré-higienista	Esgoto em fossas ou não existente.	Doenças e epidemias.
Até início do século XX	Drenagem, sem coleta ou tratamento e água da fonte mais próxima, poço ou rio.	Grande mortalidade e inundações.
Higienista: antes de 1970	Transporte de esgoto distante das pessoas e canalização do escoamento.	Redução das doenças, mas rios contaminados, impactos nas fontes de água e inundações.
Corretiva: entre 1970 e 1990	Tratamento de esgoto doméstico e industrial, amortecimento do escoamento.	Recuperação dos rios, restando poluição difusa, obras hidráulicas e impacto ambiental.
Desenvolvimento sustentável: depois de 1990	Tratamento terciário e do escoamento pluvial, novos desenvolvimentos que preservam o sistema natural.	Conservação ambiental, redução das inundações e melhoria da qualidade.

(fonte: TUCCI, 2008, p. 5)

4 BACIAS DE CONTRIBUIÇÃO

Este capítulo tem por objetivo a descrição das bacias hidrográficas e relata sobre a sua importância no estudo da drenagem urbana e como o fator de densidade populacional influencia no escoamento superficial e na poluição do efluente pluvial.

4.1 BACIA HIDROGRÁFICA

A bacia hidrográfica, unidade de referência para os recursos hídricos, é uma área limitada de uma região na qual as precipitações que ocorram em qualquer ponto dessa bacia, desaguem por escoamento no mesmo ponto a jusante do rio principal. Portanto, se uma tempestade atinge as cabeceiras de uma bacia, ondas de cheia se propagarão ao longo de seus rios, desde montante, até a foz do rio principal a jusante (COSTA et al., 2007, p. 11).

Segundo Tucci (2008, p. 8), o escoamento das águas pluviais produz inundações e impactos nas áreas urbanas por dois tipos de processos, que ocorrem isolados ou combinados, ou seja, inundações:

- a) de áreas ribeirinhas: são inundações naturais que ocorrem no leito maior dos rios por causa da variabilidade da precipitação e do escoamento na bacia hidrográfica. Ocorre porque os rios possuem o leito menor, onde a água escoar na maior parte do tempo, e quando as inundações ocorrem o escoamento atinge níveis superiores ao leito menor, levando ao leito maior. As cotas do leito maior identificam a magnitude da inundação e seu risco. Os impactos pela inundação ocorrem quando essa área de risco é ocupada indevidamente pela população;
- b) em razão da urbanização: são as inundações que ocorrem na drenagem urbana por causa do efeito da impermeabilização do solo, canalização do escoamento ou obstruções ao escoamento. As enchentes aumentam a sua frequência e magnitude em razão da impermeabilização do solo e da construção da rede de condutos pluviais. O desenvolvimento urbano pode também produzir obstruções ao escoamento, como aterros, pontes e drenagens inadequadas.

A partir da segunda metade do século XX, a intensa concentração da população em áreas urbanas manifestou-se como um fenômeno mundial, inclusive no Brasil. Constatou-se um aumento considerável no fluxo do campo em direção às cidades, agravando os problemas de

infraestrutura urbana, com forte impacto no saneamento básico, aí incluída a drenagem urbana (COSTA et al., 2007, p. 7).

Para Tucci (2008, p. 4), a minimização e controle dos impactos causados pela ocupação das áreas das bacias, nos Estados Unidos, foi controlada por uma legislação aprovada no início da década de 70, chamada *Clean Water Act* (Lei de Água Limpa), a qual define que os efluentes deveriam ser tratados com a melhor tecnologia disponível para recuperação e conservação dos rios. Eram previstos grandes investimentos financeiros para a realização do tratamento dos efluentes e com a construção de redes de coleta dessas águas. Essa medida obteve êxito na recuperação e tratamento em boa parcela dos rios e córregos e, melhorou a qualidade da água dos sistemas hídricos. Isso permitiu melhorar as condições ambientais, evitar a proliferação de doenças e a deterioração de fontes de abastecimento. Mas apesar dessas realizações, isso possibilitou perceber que era insustentável continuar com as construções de obras de arte como galerias e redes de drenagens. Tais obras mostraram que causavam o aumento do escoamento superficial das bacias urbanas, tendo como em razão sua urbanização, como a canalização de rios naturais. Então, estudos passaram a revisar as práticas de simplesmente escoar as águas para longe mas, de também criar e utilizar sistemas de amortecimento em detrimento de canalização. Essas medidas criaram um marco na concepção de drenagem e foi denominada fase corretiva das águas urbanas.

4.2 CONSEQUÊNCIAS DA URBANIZAÇÃO DAS BACIAS

Cardoso Neto (2000, p. 2) indica que o comportamento do escoamento superficial tem alteração de acordo com a urbanização da bacia. Isso é devido principalmente às consequências da impermeabilização das superfícies, o que produz maiores picos e vazões, pois diminui o tempo de retenção de águas da bacia. Um dos fatores que aumentou o escoamento superficial é o desmatamento e este também gera a erosão do solo que foi desmatado. Essa parcela de solo erodido vai parar nas tubulações e galerias, diminuindo a seção de escoamento desses e quando chegar ao corpo receptor podendo ocasionar o assoreamento do rio. O quadro 2, conforme Porto et al. (2009, p. 807). apresenta as principais causas e efeitos da urbanização.

Quadro 2 – Causas e efeitos da urbanização sobre as cheias dos rios urbanos

CAUSAS	EFEITOS
impermeabilização	maiores picos de cheia e vazões em rios
redes de drenagem	maiores picos de cheia a jusante
lixo	degradação da qualidade da água e entupimento de bueiros e galerias pluviais
redes de esgotos sanitários deficientes	degradação da qualidade da água e doenças de veiculação hídrica
desmatamento e desenvolvimento indisciplinado	maiores picos de cheia e volumes escoados e maior erosão
ocupação de várzeas	assoreamento em canais e galerias; maiores prejuízos ao patrimônio por enchentes; maiores picos de cheia e maiores custos de utilidades públicas

(fonte: PORTO et al., 2009, p. 807)

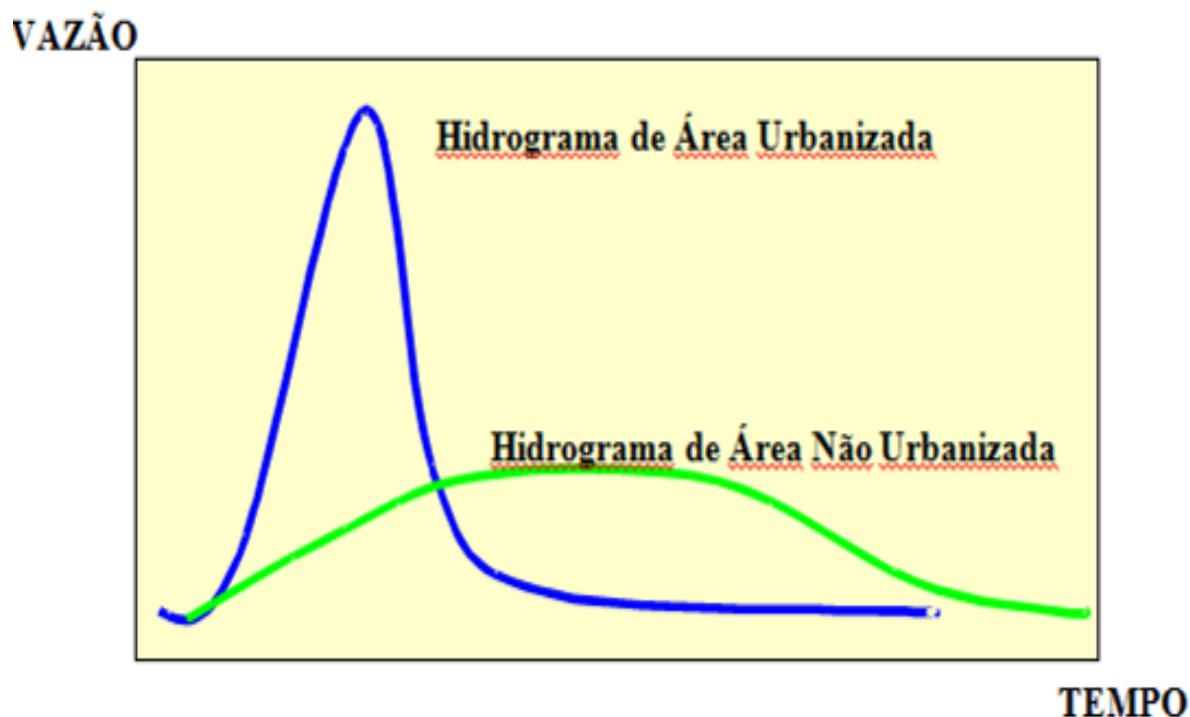
Passou-se a conceber projetos voltados a diminuir o escoamento superficial e, conseqüentemente, o pico de cheias, com o desenvolvimento de pavimentos permeáveis e calçadas ecológicas para absorver parte das águas. Mas estas alternativas por si só não envolvem todo o problema, pois cabe a legislação e planos diretores de cidades e municípios favorecer parâmetros e diretrizes para o crescimento urbano, que hoje se encontra desenfreado (COSTA et al., 2007, p. 6).

Cardoso Neto (2000, p. 2), relata que:

[...] além de degradar a qualidade da água e possibilitar a veiculação de moléstias, a deficiência de redes de esgoto contribui também para aumentar a possibilidade de ocorrência de inundações. Uma coleta de lixo ineficiente, somada a um comportamento indisciplinado dos cidadãos, acaba por entupir bueiros e galerias e deteriorar ainda mais a qualidade da água. A estes problemas soma-se a ocupação indisciplinada das várzeas, que também produz maiores picos, aumentando os custos gerais de utilidade pública e causando maiores prejuízos. Os problemas advindos de um mal planejamento não se restringem ao local de estudo, uma vez que a introdução de redes de drenagem ocasiona uma diminuição considerável no tempo de concentração e maiores picos a jusante.

Para Bollmann (2003, p. 13), o aumento da densidade populacional na bacia e o tipo de ocupação que se dá ao solo é o que caracteriza a impermeabilização da área de drenagem pluvial. Locais que antes tinham a função de infiltração dentro da bacia, agora, devido ao uso do solo e aos dutos de drenagem pluviais, passam a ter a água escoada sobre eles. Isso tende a aumentar a parte do escoamento superficial e diminuir o tempo de concentração da bacia hidrográfica. O volume que escoava lentamente pela superfície do solo e ficava retido pela vegetação ou solo que tinha essa finalidade dentro da bacia, agora tem como o canal a única forma de escoamento, exigindo maior capacidade das seções transversais dos cursos d'água. Um hidrograma hipotético típico de uma bacia natural e aquele resultante da urbanização são apresentados na figura 2.

Figura 2 – Impacto da urbanização no hidrograma de cheia para rios em áreas urbanizadas e não urbanizadas



(fonte: TUCCI², 1998 apud BOLLMANN 2003, p. 13)

² TUCCI, C. E. M. **Modelos hidrológicos**. Porto Alegre: Editora da Universidade – UFRGS, 1998.

4.3 POLUIÇÃO DAS ÁGUAS PLUVIAIS PELA URBANIZAÇÃO NA BACIA

O aumento das concentrações populacionais nas áreas urbanas, aliado ao desenvolvimento industrial observado nas grandes cidades e regiões metropolitanas, passou a ser um fator determinante no que diz respeito à qualidade e à quantidade de poluentes presentes nas águas de escoamento das bacias. A urbanização têm gerado grande variedade e quantidade de poluentes para os corpos d'água (IDE, 1984, p. 1).

Segundo o mesmo autor, ter o controle da poluição urbana e também um tratamento da água do escoamento pluvial tem importância cada vez maior para o corpo receptor e sua qualidade. Sabe-se que águas de escoamento superficial geram impactos nos corpos receptores e ainda não há reconhecimento de sua importância para tratamento, enquanto uma grande soma de dinheiro e esforço estão normalmente dispendidos para tratar somente o esgoto doméstico e industrial.

As chuvas e o tipo de uso dos solos influenciam nas cargas de poluentes, como citam Buttler e Davies³ (2004 apud MENEZES FILHO, 2011, p. 8):

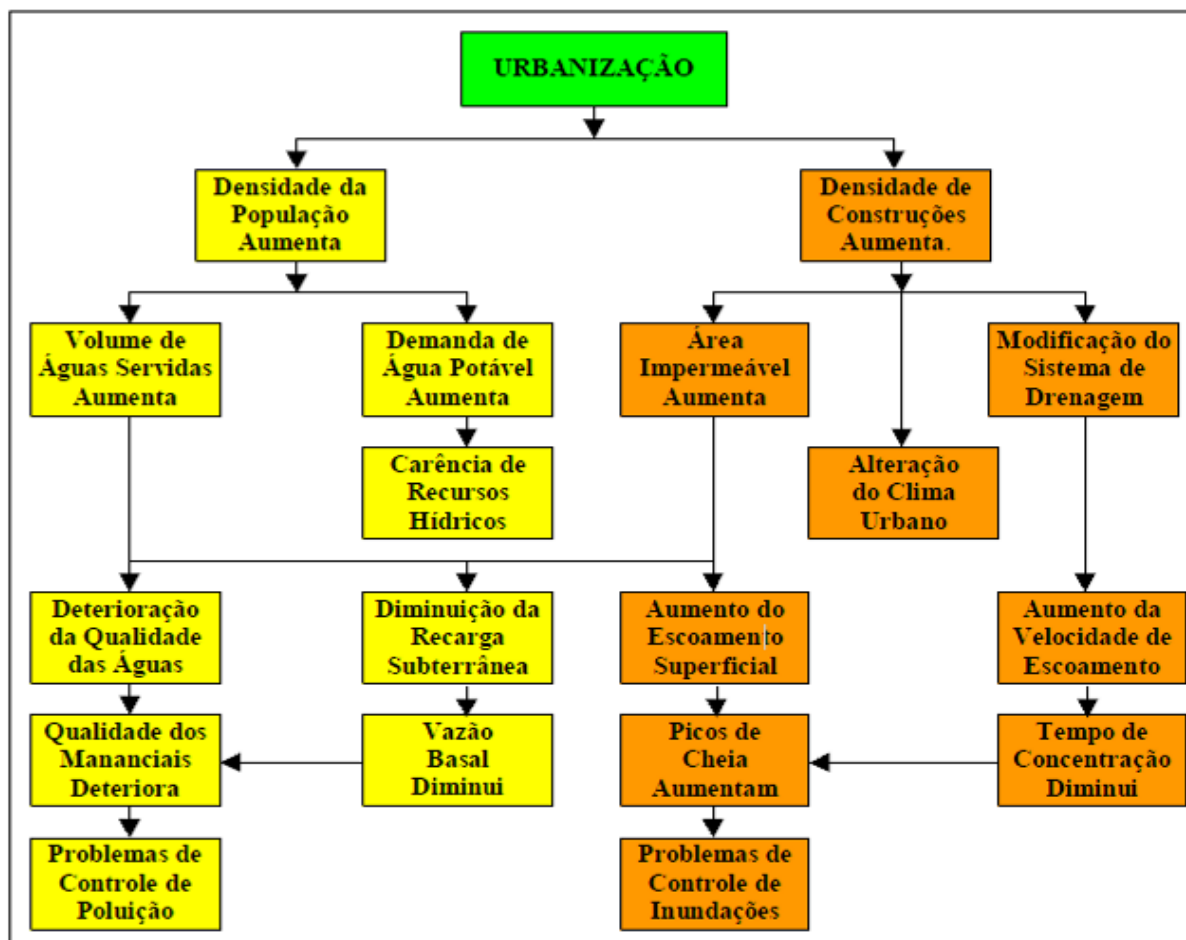
As cargas de poluentes presentes nas águas pluviais são influenciadas pela precipitação e especialmente pela bacia hidrográfica decorrente do uso do solo. As principais fontes poluentes incluem emissões veiculares, corrosão e abrasão; construção e desgaste de pavimentos, dejetos de pássaros e animais, deposição de lixo nas ruas, resíduos vegetais e vazamentos.

Na figura 3, Hall⁴ (1984 apud PORTO et al., 2009, p. 805), apresenta um esquema com as alterações no meio físico das bacias urbanas, conforme a urbanização da área ocupada da bacia.

³ BUTLER, D.; DAVIES, J. W. **Urban Drainage**. 2nd ed. London: Spon Press. 2004.

⁴ HALL, M. J. **Urban hidrologi**. Essex: Elsevier, 1984.

Figura 3 – Efeitos da urbanização na qualidade e quantidade das águas em bacias hidrográficas urbanizadas



(fonte: adaptado HALL⁵, 1984 apud PORTO et al.,2009, p. 808)

Para Ide (1984, p. 10-11), a água da chuva é uma fonte contínua de poluição ao corpos receptores devido a sujeiras produzidas no solo nas praias de banho e, reservatórios de suprimento de água abertos ao público. A lavagem das superfícies mostra que a origem das contaminações por coliformes fecais nas águas pluviais é, pela sua totalidade, material fecal depositado no solo pelos animais domésticos (particularmente animais domesticados como cães e gatos) e pelos roedores nas comunidades urbanas. A presença de coliformes fecais nas águas de chuva foi confirmada pelo isolamento de *Salmonellas Thompson* numa mostra de água de chuva coletada de redes de drenagens.

⁵ HALL, M. J. **Urban hidrologi**. Essex: Elsevier, 1984.

Em Menezes Filho (2011, p. 7), encontra-se a indicação que as cargas poluidoras de origem do escoamento superficial das bacias podem ser superiores as cargas provenientes de esgotos domésticos. Tendo em mãos as comparações feita por Baptista et al. (2005) nos quadros 3 à 5, percebe-se facilmente os valores de cargas poluidoras do escoamento superficial com outros tipos de efluentes urbanos com potencial poluidor.

Quadro 3 – Comparação de cargas de poluição em diferentes sistemas em base de tempo anual (toneladas)

Sistema	SS	DQO	DBO ₅
Drenagem Pluvial	20-230	10-160	2-65
Sistema Unitário	30-335	40-285	10-135
Esgoto sanitário em tempo seco	15-1915	30-3830	15-1915
Efluentes de ETE	3-385	6-765	3-385

(fonte: adaptado de BAPTISTA et al., 2005, p. 22)

Quadro 4 – Comparação de cargas de poluição em diferentes sistemas, por evento (quilogramas)

Sistema	SS	DQO	DBO ₅
Drenagem Pluvial	1600-27500	1120-15500	160-4500
Sistema Unitário	480-9500	640-3750	140-1550
Esgoto sanitário em tempo seco	40-5250	80-10500	40-5250
Efluentes de ETE	8-1050	16-2100	8-1050

(fonte: adaptado de BAPTISTA et al., 2005, p. 22)

Quadro 5 – Comparação de cargas de poluição de origem pluvial e de esgotamento sanitário

Parâmetro	AP/ED	AP/ED	AP/ED
Ano	dia	Hora	
Sólidos Totais	0.50	0.50	50.00
DBO5	0.04	0.17	4.00
DQO	0.11	0.50	12.00
NTK	0.04	0.14	3.50
Pb	27.00	80.00	2000.00
Zn	1.00	4.00	100.00
Hg	1.00	7.00	-
Cd	1.00	5.00	-

(fonte: adaptado de BAPTISTA et al., 2005, p. 22)

4.4 DIMENSÕES DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS

Em Lima e Zakia⁶ (2000 apud TEODORO et al., 2007, p. 138) fazem a seguinte definição das dimensões de uma bacia hidrográfica:

Do ponto de vista da hidrologia, a classificação de bacias hidrográficas em grandes e pequenas não é vista somente na sua superfície total, mas considerando os efeitos de certos fatores dominantes na geração do deflúvio, tendo as micro bacias como características distintas uma grande sensibilidade tanto às chuvas de alta intensidade (curta duração), como também ao fator uso do solo (cobertura vegetal), sendo assim, as alterações na quantidade e qualidade da água do deflúvio, em função de chuvas intensas e ou em função de mudanças no solo, são detectadas com mais sensibilidade nas micro bacias do que nas grandes bacias. Portanto, essa explicação contribui na distinção, definição e delimitação espacial de micro bacias e bacias hidrográficas, sendo sua compreensão, crucial para a estruturação de programas de monitoramento ambiental, por meio de medições de variáveis hidrológicas, liminológicas, da topografia e cartografia e com o auxílio de sistemas de informações geográficas. Dessa forma, pode-se chegar a uma adequação espacial de micro bacias e bacias hidrográficas.

⁶ LIMA, W. P.; ZAKIA M. J. B. Hidrologia de matas ciliares. In: RODRIGUES; R.R.; LEITÃO FILHO; H.F. (Ed.) **Matas ciliares**: conservação e recuperação. 2. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2000. p. 33-43.

Para Cardoso Neto (2000, p. 6) fala em dimensões de acordo com o tempo de concentração:

Normalmente, as bacias ocupadas pelo processo de urbanização são de portes pequeno e médio. Devido à variação natural dos parâmetros que influem no comportamento hidrológico da bacia, a distinção entre bacias pequenas e médias é imprecisa e até mesmo subjetiva. Comumente, bacias com tempo de concentração inferior a 1 hora e/ou área de drenagem não superior a 2,5 km² são classificadas como pequenas. Bacias com tempo de concentração superior a 12 horas e/ou área de drenagem maior que 1.000 km² se classificam como grandes; bacias médias se situam entre esses dois tipos.

Conforme Costa et al. (2007, p. 26), a bacia hidrográfica é uma associada a uma dada seção fluvial, é individualizada pelos seus divisores de água e pela rede fluvial de drenagem; essa individualização pode se fazer por meio de mapas topográficos. Os divisores de água de uma bacia formam uma linha fechada, a qual é ortogonal às curvas de nível do mapa e desenhada a partir da seção fluvial do, em direção às maiores cotas ou elevações. A rede de drenagem de uma bacia hidrográfica é formada pelo rio principal e pelos seus tributários, constituindo-se em um sistema de transporte de água e sedimentos. A área de drenagem é dada pela superfície da projeção vertical da linha fechada dos divisores de água sobre um plano horizontal, sendo geralmente expressa em hectares (ha) ou quilômetros quadrados (km²).

Ainda em Costa et al. (2007, p. 26) uma bacia hidrográfica é um sistema que integra as conformações de relevo e drenagem. A parcela da chuva que se abate sobre a área da bacia e que irá transformar-se em escoamento superficial, chamada precipitação efetiva, escoar a partir das maiores elevações do terreno, formando enxurradas em direção aos vales. Esses, por sua vez, concentram esse escoamento em córregos, riachos e ribeirões, os quais confluem e formam o rio principal da bacia. O volume de água que passa pelo exutório na unidade de tempo é a vazão ou descarga da bacia.

5 CARACTERÍSTICAS DO EFLUENTE URBANO PARA O DIMENSIONAMENTO DA ETE

Este capítulo tem por objetivo a apresentação dos principais poluentes das águas urbanas e também de quais são os parâmetros básicos do efluente para o dimensionamento da ETE associada.

5.1 PRINCIPAIS POLUENTES DAS ÁGUAS URBANAS

A qualidade da água residuária é determinada pela quantificação e a presença de elementos e compostos que podem ser dissolvidos nessas águas sob diversas formas físicas. Tais poluentes têm origens diversas, como do ar pela precipitação atmosférica ou pelo solo, sobre o qual a água circula ou é armazenada.

A principal causa dos poluentes das bacias é devido ao lançamento de poluentes das atividades antrópicas. São classificados de acordo com suas características físicas, químicas e biológicas de análise da água. Estes elementos ou compostos são identificados no efluente mediante procedimentos padronizados de laboratório (trabalho não publicado)⁷.

Os quadros 6 à 9, apresentam uma série de parâmetros, as origens e a importância que estes têm para a definição da qualidade do efluente e serão divididas em parâmetros físicos, matéria orgânica, parâmetros biológicos e parâmetros químicos.

⁷ Apostila da disciplina Tratamento de Esgotos do curso de Engenharia Civil da UFRGS, de Luiz Olinto Monteggia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. [2007].

Quadro 6 – Origem e importância dos parâmetros físicos de qualidade das águas

PARÂMETRO	ORIGEM	IMPORTÂNCIA
Parâmetros Físicos		
Cor	Decomposição da matéria orgânica, ferro e manganês, resíduos industriais e esgotos domésticos.	Pode ou não apresentar toxicidade dependendo da origem. Efeito estético.
Turbidez	Partículas de rocha, areia e silte, algas, microorganismos, despejos domésticos e industriais, erosão.	Pode estar associado a compostos tóxicos ou microorganismos patogênicos.
Sabor/odor	Matéria orgânica em decomposição, algas, gases dissolvidos, despejos domésticos ou industriais.	Pode estar associado a compostos tóxicos ou microorganismos patogênicos.
Sólidos	Erosão do solo, efluentes urbanos e industriais	Pode estar associado a compostos tóxicos ou microorganismos patogênicos. Efeito estético.
Temperatura	Despejos industriais.	Aumenta a taxa de produção de microorganismos e diminui concentração de OD na água.

(fonte: trabalho não publicado)⁸

Quadro 7 – Origem e importância da matéria orgânica de qualidade das águas

PARÂMETRO	ORIGEM	IMPORTÂNCIA
Matéria orgânica		
(DBO, DQO)	Plantas e animais, despejos domésticos e industriais.	Para oxidar a matéria orgânica os microorganismos consomem oxigênio, estando relacionada diretamente com a DBO. É o parâmetro fundamental para avaliar o grau de poluição de um corpo d'água.
Micropoluentes inorgânicos	Despejos industriais, atividades mineradoras e agrícolas, garimpo.	Metais pesados tóxicos para os seres vivos aquáticos e para os consumidores de água. Ex. Al, Cu, Hg.
Micropoluentes orgânicos	Madeira, despejos industriais, detergentes, medicamentos, defensivos agrícolas.	Não são biodegradáveis e uma grande parte deles são tóxicos em diversos níveis.

(fonte: trabalho não publicado)⁹

⁸ Apostila da disciplina Tratamento de Esgotos do curso de Engenharia Civil da UFRGS, de Luiz Olinto Monteggia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. [2007].

⁹ Idem.

Quadro 8 – Origem e importância dos parâmetros químicos de qualidade das águas

PARÂMETRO	ORIGEM	IMPORTÂNCIA
Parâmetros Químicos		
pH	Dissolução de rochas, absorção de gases, matéria orgânica, fotossíntese (CO ₂), despejos domésticos e industriais.	Interfere em etapas do tratamento da água (coagulação, desinfecção, remoção de dureza), causa corrosão (pH baixo) ou incrustações (pH alto), além de afetar a vida aquática.
Alcalinidade	Dissolução de rochas, difusão de CO ₂ e despejos industriais.	Confere sabor amargo para a água de abastecimento, interfere no tratamento de água.
Ferro e Manganês	Dissolução de compostos do solo e despejos industriais.	Problemas relacionados com a cor da água.
Cloretos	Dissolução dos minerais, águas salinas, despejos domésticos e industriais, águas utilizadas em irrigação.	Em elevadas concentrações pode causar prejuízo à vida aquática pelo alto poder oxidante.
Nitrogênio	Proteínas, clorofila e vários compostos naturais, despejos domésticos e industriais, excrementos de animais, fertilizantes.	Excesso de nitrato: associado com a metahemoglobina. Eutrofização (algas), consumo de OD, amônia livre tóxica à vida aquática.
Fósforo	Dissolução de compostos do solo, matéria orgânica, detergentes, despejos domésticos e industriais, excrementos de animais, fertilizantes.	Eutrofização.
Oxigênio dissolvido	Difusão de O ₂ atmosférico, fotossíntese, cascatas.	É vital para os seres aquáticos aeróbios.

(fonte: trabalho não publicado)¹⁰

Quadro 9 – Origem e importância dos parâmetros biológicos de qualidade das águas

Parâmetros Biológicos		
Microorganismos	Despejos domésticos, hospitalares	Podem transmitir ou causar doenças no homem

(fonte: trabalho não publicado)¹¹

¹⁰ Apostila da disciplina Tratamento de Esgotos do curso de Engenharia Civil da UFRGS, de Luiz Olinto Monteggia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, [2007].

¹¹ Idem.

Bollmann (2003) descreve o processo de aquecimento das águas urbanas devido à impermeabilização do solo devido à densificação urbana:

Do ponto de vista do aquecimento da água, as superfícies urbanas impermeáveis absorvem e refletem calor. Durante os meses quentes, as áreas impermeáveis podem manter temperaturas maiores do que as observadas em áreas florestadas preservadas. Nestes locais, as árvores e a cobertura vegetal fornecem sombreamento e proteção ao solo, e os efeitos da radiação para seu aquecimento são negligenciáveis. Próximo às nascentes, a temperatura da água dos rios é fortemente influenciada pela temperatura local do ar. Dependendo da maior ou menor densidade da cobertura florestal sobre a lâmina líquida, as variações de temperatura da água durante os meses quentes serão menores, propiciando uma maior estabilidade térmica. No caso dos cursos d'água sem cobertura florestada de sua lâmina líquida, o aporte direto da radiação solar e o efeito combinado com a temperatura do ar formarão um maior potencial de variação da temperatura final da água. A temperatura das descargas diretas de efluentes da rede de esgotos, da drenagem pluvial e de tributários influenciará nesta variação. Também, o maior porte dos cursos d'água, e a maior vazão veiculada em seus canais contribuirão para uma maior inércia térmica do manancial.

5.2 PARÂMETROS PARA O DIMENSIONAMENTO DE ETE

O dimensionamento de uma ETE baseia-se em parâmetros de projeto de retenção hidráulico, taxa de aplicação superficial, velocidade de escoamento e nas características do efluente a ser tratado. Quanto ao efluente, está baseada nas características físicas, químicas e biológicas da água urbanas a ser tratada. São destacadas as informações de vazão, concentração e carga (trabalho não publicado)¹²:

- a) vazão tem carácter fundamental para dimensionamento hidráulico das unidades do tratamento. A vazão de esgotos está diretamente relacionada ao consumo de água de uma área urbana ou industrial e deve ser acrescida da parcela correspondente a infiltração que ocorre ao longo da rede coletora;
- b) a concentração refere-se à massa do poluente por unidade de volume de água, que deve ser removida pelo tratamento, destacando-se a DBO, DQO, sólidos, nitrogênio, fósforo, metais etc. A determinação destes parâmetros é feita em laboratório especializado em análises ambientais;
- c) a carga refere-se à massa do poluente a ser removido por unidade de tempo e é determinada pelo produto da vazão e respectiva concentração do poluente de interesse.

¹² Apostila da disciplina Tratamento de Esgotos do curso de Engenharia Civil da UFRGS, de Luiz Olinto Monteggia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. [2007].

6 MÉTODOS DE ESTIMATIVA DE POLUENTES

Este capítulo tem por objetivo demonstrar os métodos de estimativa de carga, tendo estes como referências para a caracterização, no que diz respeito a qualidade da água e a quantidade de materiais e poluentes.

6.1 ESTIMATIVA DE CARGA DE POLUENTES PELO MÉTODO SIMPLES DE SCHUELER

A qualidade da água residuária é determinada pela quantificação de elementos e presença de compostos que podem ser dissolvidos nessas águas sob diversas formas físicas. Para determinar a carga de poluentes, será adotado o *Metropolitan Washington Council of Governments Method*. Este é um método de natureza empírica e foi desenvolvido por Schueler¹³ (1987 apud TOMAZ, 2009, p. 1), chamado de *Simple Method* (Método Simples) para estimativa da exportação de poluentes (carga de poluentes) em áreas urbanas. Baseou-se num extenso banco de dados do município de Washington, DC e do NURP (*National Urban Runoff Pollution*), estudo desenvolvido pela agência de proteção ambiental norte-americana. O modelo é válido para áreas menores do que 640 acres.

Tomaz (2009, p.1), apresenta que a exportação de poluentes é dada pela equação 1 e indica que é válida para qualquer período de tempo:

$$L=0,01 \times P \times P_j \times R_v \times C \times A \quad (\text{equação 1})$$

Onde:

L – poluente exportado (kg pela unidade de tempo escolhida);

P – precipitação em mm no desejado intervalo de tempo;

¹³ SCHUELER, T. 1987. **Controlling Urban Runoff**: A Practical Manual for Planning and Designing Urban Best Management Practices. MWCOG. Washington, D.C.

P_j – fração dos eventos de precipitação que produzem escoamento superficial;

R_v – coeficiente volumétrico de escoamento superficial, expressando a precipitação convertida em escoamento superficial;

C – média de concentração de poluentes, mg/l;

A – área total em ha.

Para Tomaz (2009, p. 1), quando se busca estimar a carga anual de poluentes exportada, P representa a precipitação anual em milímetros. Se 90% dos eventos de chuva produzem escoamento superficial em um ano, $P_j = 0,90$. Quando se deseja calcular a carga exportada durante um evento simples, P torna-se a precipitação para o evento e $P_j = 1,0$.

Para o coeficiente volumétrico RV depende, sobretudo, da impermeabilidade da bacia hidrográfica e essa relação é expressa como (TOMAZ, 2009, p. 1):

$$R_v = 0,05 + 0,009 \times AI \quad (\text{equação 2})$$

Onde:

AI – porcentagem de área impermeável (%).

As concentrações médias de poluentes C pela melhor técnica e para resultados mais confiáveis, deverão ser obtidas da bacia de estudo. Ao longo deste trabalho, foi visto que as águas do escoamento superficial e também das drenadas pela rede pluvial, tem sua concentração de poluentes relacionadas com o tipo de ocupação da bacia e a densidade populacional. As principais são as modificações no que se refere à área ocupada e, também, quanto ao tipo de ocupação. A qualidade das águas de escoamento superficial tem, então, a qualidade determinada pelas características das bacias, sendo então particular para cada região e apresentará variações em concentrações populacionais distintas.

6.2 MODELO PARA A ESTIMATIVA DE CARGA ANUAL DE POLUENTES

Heaney¹⁴ et al. (1977 apud MENEZES FILHO, 2011, p. 18), desenvolveram esse modelo para a agência de proteção ambiental norte-americana (EPA – *Environmental Protection Agency*), tendo como base de um ajuste de relações expressando uma estimativa anual das cargas de poluentes presentes no escoamento superficial das águas pluviais. Os levantamentos foram feitos para dois tipos distintos de rede:

- a) para áreas com sistema separador absoluto com áreas não atendidas pelo sistema de esgotamento pluvial;
- b) para áreas que possuem sistema unitário.

A equação 3 expressa o modelo para bacias com separador absoluto e não atendidas pelo sistema de esgotamento pluvial. (MENEZES FILHO, 2011, p. 18)

$$M_s = \alpha \cdot P \cdot f \cdot s \quad (\text{equação 3})$$

Onde:

M_s – libras de poluentes gerados por acre de solo ao ano;

α – fator de carga de poluentes;

P – precipitação anual em polegadas por ano;

f – função densidade populacional;

s – fator varrição de ruas.

O fator α depende do uso da bacia e dos poluentes que estão sendo analisados. Os valores são descritos no quadro 10.

¹⁴ HEANEY, J. P., et al. *Nationwide Evaluation of Combined Sewer Overflows and Urban Stormwater Discharge*. Ohio: Cincinnati, 1977.

Quadro 10 – valores de α para diferentes usos do solo

Uso do solo	DBO5	SS	Sólidos voláteis	PO4	N
Residencial	0,799	16,3	9,4	0,034	0,131
Comercial	3,2	22,2	14	0,076	0,296
Industrial	1,21	29,1	14,3	0,071	0,277
Outro	0,113	2,7	2,6	0,01	0,06

(fonte: adaptado MENEZES FILHO, 2011, p. 19)

A função densidade populacional f é dependente do tipo de uso de solo dada pela equação 4 (MENEZES FILHO, 2011).

$$f = 0,142 + 0,218D^{0,54} \quad (\text{equação 4})$$

Onde:

D – densidade populacional em pessoas por acre.

Para áreas comerciais e industriais, $f = 1,0$ e para outros tipos de áreas desenvolvidas como parques, cemitérios e escolas, $f = 0,142$ (MENEZES FILHO, 2011, p. 19).

Conforme Menezes Filho (2011, p. 19), o fator varrição de ruas s depende do intervalo de varrição N_s , em dias. Se N_s for superior a 20 dias:

$$s = 1,0 \quad (\text{equação 5})$$

Se N_s for inferior a 20 dias (MENEZES FILHO, 2011, p. 19):

$$s = NS/20 \quad \text{(equação 6)}$$

Onde:

NS – intervalo de variação em dias.

Em Menezes Filho (2011) afirma que áreas onde possuem sistema combinado ou misto, utiliza-se para estimativa anual da carga de poluentes a equação 7.

$$M_s = \beta \cdot P \cdot f_s \quad \text{(equação 7)}$$

Onde:

M_s = libras de poluentes gerados por acre de solo ao ano;

β = fator de carga de poluentes e usa-se valores do quadro 11.

Quadro 11 – Valores de β para diferentes usos do solo

Uso do solo	DBO ₅	SS	VS	PO ₄	N
Residencial	3,29	67,2	38,9	0,139	0,54
Comercial	13,2	91,8	57,9	0,312	1,22
Industrial	5	120	59,2	0,291	1,14
Outro	0,467	11,1	10,8	0,041	0,25

(fonte: adaptado de MENEZES FILHO, 2011, p. 20)

Neste trabalho, será adotado o Método Simples para a determinação das cargas do escoamento pluvial, nos dados de DBO₅, sólidos suspensos totais e o volume escoado pela bacia. Esses parâmetros são imprescindíveis para o dimensionamento de uma estação de tratamento, que deverá receber e tratar o efluente coletado pelo sistema unitário.

7 RELAÇÕES ENTRE AS CARACTERÍSTICAS DO EFLUENTE URBANO COM A DENSIDADE POPULACIONAL

Este capítulo tem como objetivo mostrar a relação entre a densidade populacional com os principais critérios para o dimensionamento de uma estação de tratamento do efluente urbano. Também é feita, pelo Método Simples, a estimativa das cargas de DBO₅, SST e vazão para três bacias hipotéticas, com densidades populacionais distintas, para comparação dos resultados.

7.1 RELAÇÃO DENSIDADE POPULACIONAL E VAZÃO

Tucci¹⁵ (2010 apud MENEZES FILHO, 2011 p. 56) define as precipitações que causam a lavagem da superfície da bacia e a definição do volume a ser tratado. Estes volumes podem ser definidos com base em valor limite de precipitação ou para o tempo de retorno para essa precipitação.

Para a definição das precipitações de escoamento, Tucci¹⁶ (2010 apud MENEZES FILHO, 2011 p. 56) demonstra que podem ser utilizadas três abordagens, referentes a eventos frequentes e de curta duração:

- a) a da Agência Ambiental Norte-Americana (USEPA): definindo que a meta é alcançada tratando o escoamento pluvial equivalente a uma chuva de 2 anos de tempo de retorno e duração de 24 horas;
- b) ao fenômeno *first flush*, definindo que a maior carga do escoamento pluvial está contida no volume inicial, numa relação de 80% de carga em 20 a 30% do volume total escoado, Quanto ao volume relacionado ao *first-flush* (FF), nos estados americanos é definido por cerca de 13 mm do escoamento superficial (0,5 inch) e para outros este valor representa 25,4 mm de chuva;
- c) a regra dos 90%, utilizada em regulamentações de estados norte-americanos definindo que a meta de remoção de poluentes é alcançada tratando o escoamento associado a 90% dos escoamentos de chuva que ocorrem anualmente.

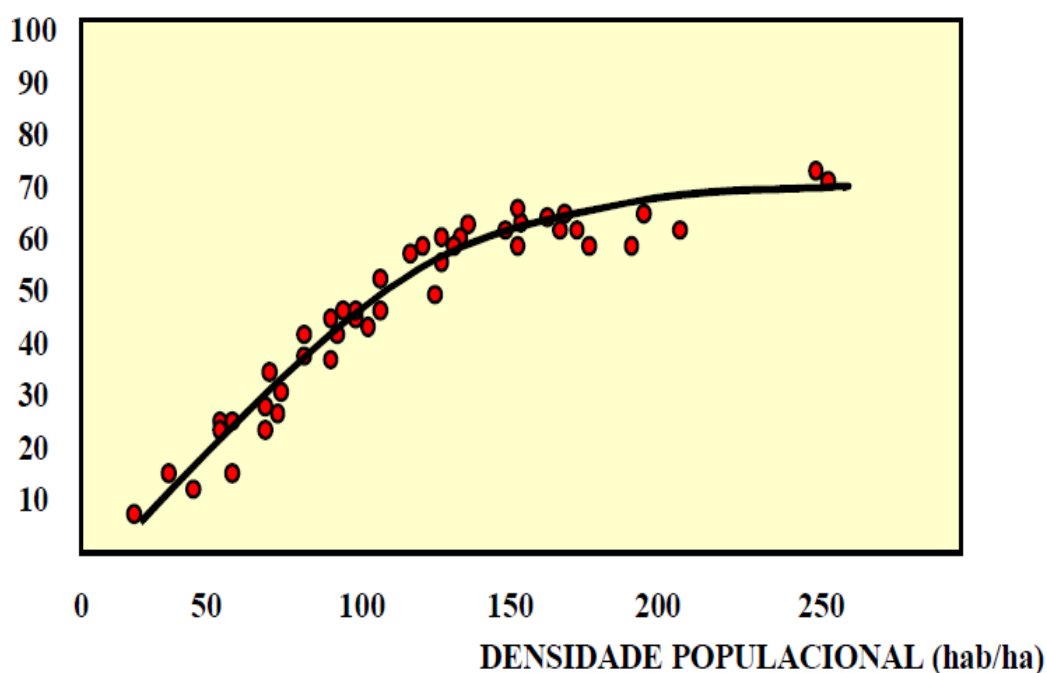
¹⁵ Não indica referência relativa a citação Tucci (2010).

¹⁶ Idem.

Campana e Tucci (1994) apresentam uma relação entre a densidade populacional, que é um dos principais parâmetros de planejamento urbano, e a percentagem de áreas impermeáveis da bacia hidrográfica ocupada, representada na figura 4.

Figura 4 – Relação entre área impermeável e densidade populacional

PERCENTAGEM DA ÁREA IMPERMEÁVEL (%)

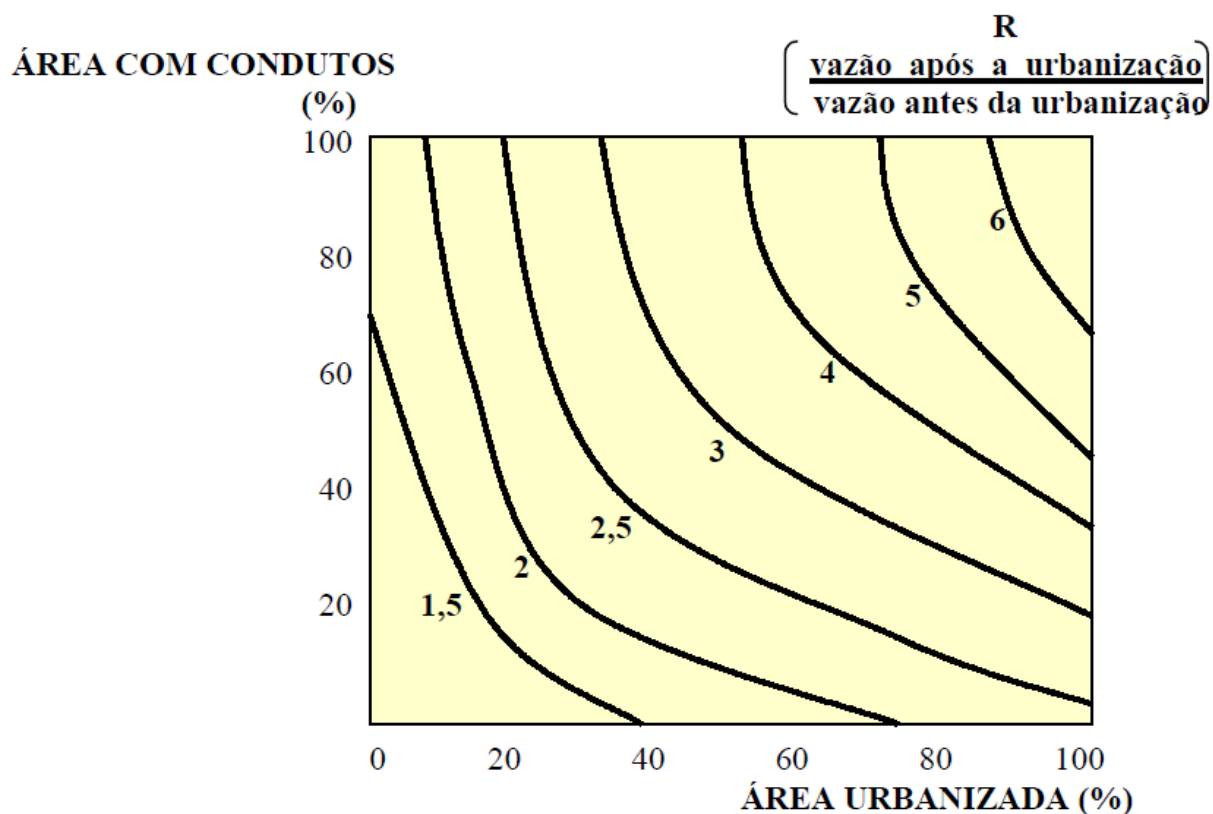


(fonte: CAMPANA; TUCCI, 1994 apud BOLMANN, 2003, p.10)

Pela análise dessa figura, percebe-se que o aumento da densidade populacional nos centros urbanos está associado à impermeabilização do solo e, conseqüentemente, aos problemas da poluição e das altas taxas de escoamento das águas urbanas para os rios.

Bollmann (2003, p.14) afirma que para as grandes bacias, têm por consequência um efeito combinado em relação ao escoamento nos vários canais da macrodrenagem, que são influenciados pela distribuição espacial e temporal das precipitações máximas. A figura 5 mostra essa relação.

Figura 5 – Relação entre vazão antes e após urbanização



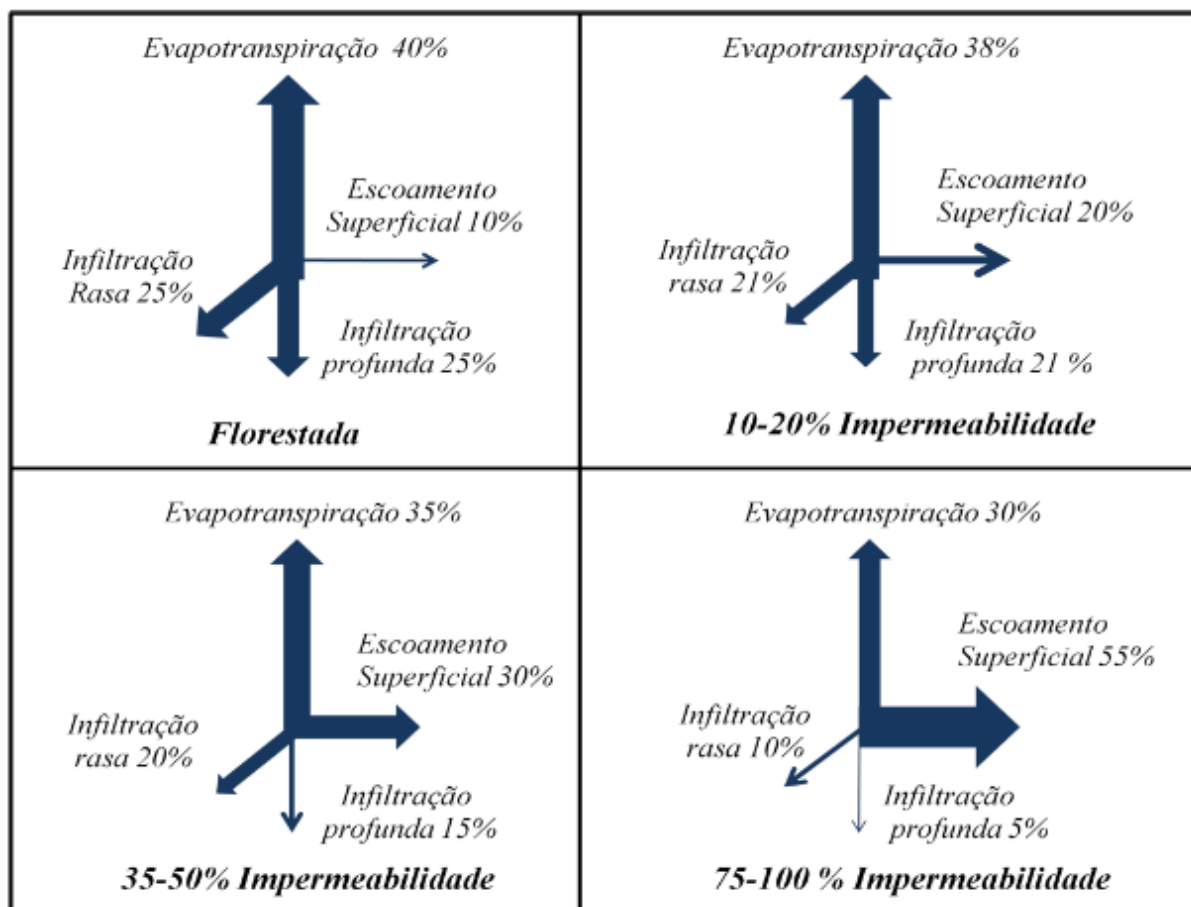
(fonte: PORTO et al., 1997, p. 815)

Para os casos em que a área captada pelos dutos pluviais e a urbanização é alta, chega-se ao pico de vazão dos escoamentos das águas pluviais. Esta vazão pode chegar até seis vezes que as condições normais da bacia, caso ela estivesse em condições naturais.

Para Menezes Filho (2011, p. 14), a impermeabilização da superfície da bacia devido à densidade demográfica seria a responsável pelo aumento do volume de escoamento superficial como também a canalização e as galerias de águas pluviais. A impermeabilização da bacia também contribui para o acúmulo de poluentes.

A figura 6 representa uma situação do aumento das enchentes com a urbanização/canalização para quatro sub-bacias hipotéticas. Demonstra que o tempo de concentração das sub-bacias e o volume do escoamento superficial aumenta devido à urbanização da bacia.

Figura 6 – Mudanças nas vazões hidrológicas com aumento da cobertura de superfícies impermeáveis (ISC) em bacias urbanizadas



(fonte: adaptado de ARNOLD E GIBBONS¹⁷, 1996 apud MENEZES FILHO, 2011, p. 15)

Em um caso real no Projeto Executivo Hidráulico-Mecânico do Sistema de Esgotamento Sanitário Pinhal (trabalho não publicado)¹⁸, a vazão de projeto da ETE é determinada, em cada ponto de extravasão, em função da vazão decorrente do escoamento pluvial e a relativa ao esgotamento sanitário. As vazões de esgotamento sanitário foram determinadas para as bacias como um todo em função dos parâmetros de população atendida x consumo *per capita* e calculadas para cada ponto de extravasão pela relação de áreas. Ou seja, em uma vazão sanitária de 254 L/s e bacia de 524,69 ha, tem-se 0,48 L/s.ha.

¹⁷ ARNOLD, C. L.; GIBBONS, C. J. Impervious surface coverage: the emergence of a key environmental indicator. **Journal of the American Planning Association**. V. 62, n. 2. p. 258. Disponível em: <http://nemo.uconn.edu/publications/tech_papers/IS_keyEnvironmental_Ind.pdf>. Acesso em 27 jun. 2011.

¹⁸ PROJETO EXECUTIVO HIDRÁULICO-MECÂNICO DO SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO PINHAL; Trabalho adjudicado pelo SAMAE à FBF – Engenharia Ltda, do contrato nº 036/2006 de 21/07/2006.

No Projeto Executivo Hidráulico-Mecânico do Sistema de Esgotamento Sanitário Pinhal (trabalho não publicado)¹⁹ é verificado que as vazões relacionadas à precipitações intensas produzidas por chuvas são significativamente superiores àquelas gerada pela parcela da contribuição de esgotos sanitários em tempo seco. Entretanto é indispensável essa determinação da vazão para o projeto da estação de tratamento de esgoto. Esta tem importância para o projeto executivo das estruturas de desvio/extravasão (denominadas Caixas Limitadoras de Vazão) que farão parte componente do sistema unitário, enquanto não estiverem concluídas todas as redes secundárias separadoras absolutas. Dada a dificuldade de controle nos volumes a serem desviados, foi definido que para a coleta pelos Coletores Tronco/Interceptor é de somente aquele escoamento que correspondente ao primeiro fluxo, ou *first flush*. Fixou-se como razoável um incremento de 40 % sobre a vazão de tempo seco. A detenção da vazão total é determinada no poço de sucção da estação de bombeamento de esgoto projetada no parque da ETE Pinhal. Vale ressaltar, que esse projeto da estação de tratamento de esgoto e da rede unitária é para a fase inicial de coleta dos esgotos cloacais e não contempla o tratamento do efluente pluvial.

7.2 RELAÇÃO DENSIDADE POPULACIONAL COM CONCENTRAÇÃO E CARGA DE POLUENTES

Para o Método Simples, utilizado neste trabalho para a determinação das cargas poluentes dos escoamentos superficiais da bacia, o valor de C da equação 1, deve ser substituído preferencialmente pelos dados da bacia de estudo. No presente trabalho, foi feito levantamento bibliográfico, no qual se buscou dados de concentração de poluentes em diversas bacias com densidade populacionais diferentes. Os quadros 12 a 14 demonstram esses valores.

¹⁹ PROJETO EXECUTIVO HIDRÁULICO-MECÂNICO DO SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO PINHAL; Trabalho adjudicado pelo SAMAE à FBF – Engenharia Ltda, do contrato nº 036/2006 de 21/07/2006.

Quadro 12 – Valores de C usados pelo Método Simples em mg/L para algumas cidades

Poluente	Durham	Cincinnati	Tulsa	Porto Alegre	APWA – American Public Works Association	
					mínimo	máximo
DBO		19	111,8	31,8	1	700
Sólidos totais	1440		545	1523	450	14600
Coliformes NPM/100ml	0.023		0.008	$1,5 \times 10^7$	55	$11,2 \times 10^7$
Ferro	12			30,3		
Chumbo	0,46			0,19		
Amônia		0,4		1,0		

(fonte: adaptado TUCCI²⁰, 2001 apud TOMAZ, 2009, p. 4)

Quadro 13 – Valores de C usados pelo Método Simples em mg/L

Poluentes	ÁREA SUBURBANA	Baltimore ÁREAS VELHAS	Washington, DC. ÁREA COMERCIAL	STUDY NATIONAL MÉDIA	Virginia FLORESTAS	RODOVIAS AMERICANAS
Fósforo total	0,26	1,08		0,46	0,15	
Nitrogênio total	2,00	13,6	2,17	3,31	0,78	
DQO	35,6	163,0		90,8	>40,0	124,0
DBO ₅	5,1		36,0	11,9		
Zinco	0,037	0,397	0,250	0,176		0,380

(fonte: adaptado de AKAN²¹, 1993 apud MENEZES FILHO, 2011, p. 23)

²⁰ Não indica a referência relativa a citação TUCCI (2001).

²¹ AKAN, A. O. **Urban Stormwater Hydrology**. Pennsylvania: Technomic, 1993.

Quadro 14 – Valores de C dos eventos em Paris

Variável	Mínimo	Máximo	Média
SST (mg/L)	49	498	92,5
DQO (mg/L)	48	964	131
DBO ₅ (mg/L)	15	141	36
Hidrocarbonetos (µg/L)	115	4032	508
Cd (µg/L)	0,3	1,8	0,6
Cu (µg/L)	27	191	61
Pb (µg/L)	71	523	133
Zn (µg/L)	246	3839	550

(fonte: adaptado TUCCI²², 2001 apud TOMAZ, 2009, p. 4)

Sobre os valores de sólidos suspensos são dados como válidos os valores do quadro 15.

Quadro 15 – Valores de C para sólidos suspensos totais em mg/L

Uso do solo	Concentração média de SST (mg/l)
Floresta	26
Área residencial de média e baixa densidade	117
Área residencial de alta densidade, áreas industriais e comerciais	116

(fonte: SCHUELER, 1987 e THOMSON et al, 1997²³ apud TOMAZ, 2009, p. 4)

Com os dados fornecidos dos quadros 12 à 15, foi feita a classificação dos locais onde se obtiveram os dados de qualidade da água em pequena, média e alta densidade populacional. Foram ajustados os dados relevantes ao trabalho, que são os principais critérios para o dimensionamento de uma estação de tratamento de esgoto.

22 Não indica a referência relativa a citação TUCCI (2001).

23 O autor cita como referência: 1987 e Thomson et al, 1997 in EPA/600/R-05/121A, 2004.

Os dados foram então dispostos em suas categorias e logo após realizada uma média simples dos dados existentes. Os resultados destas médias estão organizados quadro 16:

Quadro 16 – Principais valores de C para dimensionamento da ETE

Tipo de bacia	Sólidos suspensos totais (mg/l)	DBO ₅ (mg/L)	Precipitação para “first flush” com 90% dos poluentes (mm)
Baixa densidade	98,0	21,7	25,0
Média densidade	110,7	31,2	25,0
Alta densidade, áreas industriais e comerciais	116,0	42,1	25,0

(fonte: elaborada pelo autor)

Para este trabalho, terá então a adoção do valor de P.Pj, para a equação 1 de 25,0 mm de precipitação. Visto neste trabalho que o escoamento superficial gerado pela precipitação dessa chuva deverá conter 90% da totalidade da carga de poluentes nas bacias estudadas. Para chuvas médias anuais é considerada a precipitação acumulada de 1700mm, com Pj= 0,4 o que significa que 40% das chuvas anuais são eventos que geram esgotos pluviais comparadas à eventos chuvosos com lâmina precipitada de 25mm.

Cabe salientar que os parâmetros adotados neste trabalho (C, P, Pj) foram estabelecidos dentro de faixas de valores usuais, devendo ser adequadamente determinados para casos reais de aplicação do método.

8 ESTIMATIVA DE CARGA DE POLUENTES POR BACIA

Este capítulo mostra a aplicação do método simples para 3 bacias hipotéticas. Tem por objetivo demonstrar a estimativa de carga para cada tipo de bacia tendo como principal parâmetro a densidade populacional. Será feita a comparação entre as cargas de poluentes geradas pelas bacias em termos de carga anual e carga por evento. Também serão comparadas as cargas de poluentes gerados pelo escoamento superficial com a carga de poluentes oriundos da rede cloacal da mesma bacia.

8.1 BACIAS COMPARADAS

Para o cumprimento das etapas do trabalho, foi feita a comparação de 3 bacias hipotéticas, através do Método Simples para a determinação das cargas poluentes dos escoamentos superficiais. O principal parâmetro de diferenciação entre essas bacias será a densidade populacional, que pode ser encarado neste trabalho como a evolução da bacia e também sua densificação urbana. Os dados das bacias estudadas foram criados de forma hipotética, afim de demonstração do método e terão as características conforme o quadro 17:

Quadro 17 – Valores e principais características das bacias

Nome da Bacia	Concentração populacional	População	Área (ha ²)	Área impermeável	Áreas com condutos	Precipitação anual (mm)	Precipitação para “first flush” com 90% dos poluentes (mm)
Bacia 1	Baixa densidade	8.000,0	100,0	30%	35%	1700,0	25,0
Bacia 2	Média densidade	15.000,0	100,0	60%	80%	1700,0	25,0
Bacia 3	Alta densidade, áreas industriais e comerciais	30.000,0	100,0	85%	100%	1700,0	25,0

(fonte: elaborada pelo autor)

Com relação à área impermeável para cada bacia corresponde aos valores gerados através da análise da figura 4 deste trabalho, onde com a relação de densidade populacional obtém-se o valor da área impermeável da bacia. Esse valor demonstra estar dentro das expectativas, visto que a área impermeável de uma bacia aumenta de acordo com o aumento da densidade populacional. A área de condutos de cada bacia é um valor hipotético, necessário para a análise de volume escoado da bacia e que também se demonstra dentro das condições reais existentes em bacias urbanas. A precipitação anual é um fator importante no estudo de uma bacia, no caso desta, foi tomado como valor hipotético de 1700,00 mm, sendo esse valor uma média aceitável no clima da região sul do Brasil. Também para a precipitação anual será adotado o valor de P_j do método simples como 0,4. Isso representa que 40% das chuvas no ano conseguem criar *first flush*. Com esse valor de P_j , vai representar que ocorrem em média 2,26 chuvas com 25mm por mês em 1 ano. A precipitação por evento corresponde a parcela na qual estarão contidos 90% dos poluentes dispostos na bacia, tendo essa precipitação o valor de 25mm.

8.2 CARGA DE SST

Utilizando as equações do método simples já apresentado neste trabalho, e substituindo os valores hipotéticos de cada bacia e os valores de C para SST obtidos no quadro 16, chegam-se aos valores de cargas por evento e carga anual de sólidos suspensos totais para cada bacia, organizados no quadro 18.

Quadro 18 – Valores de SST por evento e carga anual

Nome da Bacia	Concentração populacional	Sólidos suspensos totais (mg/l)	Carga por evento (kg)	Carga anual (kg)
Bacia 1	Baixa densidade	98,0	784,0	21.324,80
Bacia 2	Média densidade	110,7	1632,8	30.863,16
Bacia 3	Alta densidade, áreas industriais e comerciais	116,0	2363,5	44.172,80

(fonte: elaborada pelo autor)

8.3 CARGA DE DBO₅

Utilizando das equações do método simples, com os valores de C para concentração de DBO₅ para cada tipo de densidade populacional, chegam-se aos valores de cargas por eventos e carga anual para cada bacia, organizada no quadro 19:

Quadro 19 – Valores de DBO₅ por evento e carga anual

Nome da Bacia	Concentração populacional	DBO ₅ (mg/l)	Carga por evento (kg)	Carga anual (kg)
Bacia 1	Baixa densidade	21,7	173,6	7.082,88
Bacia 2	Média densidade	31,2	460,2	18.776,16
Bacia 3	Alta densidade, áreas industriais e comerciais	42,1	857,8	34.997,73

(fonte: elaborada pelo autor)

8.4 VAZÃO

A vazão a ser tratada é a parte mais complexa e impactante no que diz respeito ao dimensionamento da ETE. Para o cálculo da vazão a ser tratada, vai depender de duas variáveis que são o volume total para escoamento gerado na bacia e o tempo de detenção que o sistema bacia/condutos irá proporcionar.

Para o cálculo do volume total para escoamento, são utilizados os valores de densidade populacional em cada bacia, transferidas na relação de densidade populacional e área impermeável da figura 4, obtendo-se valores da porcentagem de área impermeável para cada tipo de bacia. Sobre a precipitação que gera escoamento superficial é obtida pela relação demonstrada na figura 6 deste trabalho, aonde tem-se como parâmetro a porcentagem de área impermeável da bacia.

A partir das relações descritas anteriormente foi calculado o volume total de esgoto pluvial para tratamento na ETE, conforme apresentado no quadro 20.

Quadro 20 – Volume total de escoamento da bacia por evento

Nome da Bacia	Densidade Populacional (hab/ha ²)	Porcentagem de área impermeável	Porcentagem da precipitação que gera Escoamento superficial	Precipitação para “first flush” com 90% dos poluentes (mm)	Volume total de esgoto pluvial para tratamento na ETE (m ³)
Bacia 1	80	30%	30%	25	7500
Bacia 2	150	60%	55%	25	13750
Bacia 3	300	85%	55%	25	13750

(fonte: elaborada pelo autor)

O tempo de detenção no sistema bacia/conduitos vai depender do dimensionamento das estruturas reguladoras de vazão, que deverão ser dimensionadas para estabelecer a vazão máxima que a ETE deve receber para tratamento.

8.5 VALORES DE DBO₅, SST E VAZÃO DO SISTEMA CLOACAL

A vazão de projeto é usualmente determinada a partir da população contribuinte, pelo consumo de água *per capita* e coeficiente de retorno água/esgoto, ou seja, o quanto de água consumida retorna ao ambiente como esgoto bruto que deve ser encaminhado para tratamento. A vazão de projeto pode ser calculada pelas equações 8 a 10 (trabalho não publicado)²⁴:

$$Q = Pop_{futura} \cdot C_{esgoto} \quad (\text{equação 8})$$

²⁴ Apostila da disciplina Tratamento de Esgotos do curso de Engenharia Civil da UFRGS, de Luiz Olinto Monteggia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. [2007]

$$C_{\text{esgoto}} = C_{\text{agua}} \cdot Cr \quad (\text{L/hab.dia}) \quad (\text{equação 9})$$

$$Q_{\text{Máx}} = Q \cdot k_1 \cdot k_2 \quad (\text{L/hab.dia}) \quad (\text{equação 10})$$

Onde:

Q – vazão de projeto (L/dia);

C_{esgoto} – contribuição per capita de esgoto (L/hab.dia);

C_{agua} – consumo per capita de água (L/hab.dia);

Cr – coeficiente de retorno;

k1 – coeficiente do dia de maior consumo;

k2 – coeficiente da hora de maior consumo.

O quadro 21 apresenta os valores médios de cada variável das equações 8 a 10:

Quadro 21 – Valores médios de variáveis C_{agua} , Cr, k1 e k2

C_{agua} – consumo per capita de água (l/hab.dia)	Cr – coeficiente de retorno	k1 - coeficiente do dia de maior consumo.	k2 - coeficiente da hora de maior consumo
200	0,8	1,2	1,5

(fonte: NBR 12209)

Utilizando-se as equações 8 e 9, assumindo os valores do quadro 21 e aplicando para cada bacia deste trabalho, chega-se aos valores demonstrados no quadro 22. O dimensionamento

hidráulico das estruturas da ETE serão calculados para atendimento da vazão máxima, conforme a equação 10.

Quadro 22 – Valores da vazão média diária de esgoto cloacal

Nome da Bacia	Concentração populacional	População	Vazão de esgoto cloacal (m ³ /dia)
Bacia 1	Baixa densidade	8.000	1.440
Bacia 2	Média densidade	15.000	2.700
Bacia 3	Alta densidade	30.000	5.400

(fonte: elaborada pelo autor)

A concentração de DBO₅ e de SST é dada pelas equações 11 e 12 (trabalho não publicado)²⁵

$$[DBO] = \frac{DBO_{percapita} \cdot Pop_{futura}}{Q} \quad (\text{equação 11})$$

$$[SS] = \frac{SS_{percapita} \cdot Pop_{futura}}{Q} \quad (\text{equação 12})$$

Onde:

DBO_{percapita} – quantidade em massa de DBO gerada por habitante em um dia;

SS_{percapita} – quantidade em massa de sólidos suspensos gerada por habitante em um dia.

²⁵ Apostila da disciplina Tratamento de Esgotos do curso de Engenharia Civil da UFRGS, de Luiz Olinto Monteggia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. [2007].

Q – vazão média de esgoto sanitário

Para os valores de $DBO_{percapita}$ e $SS_{percapita}$ são adotado os valores da ABNT-12.209, que são 54 g $DBO_5/hab.dia$ e 60 g $SS/hab.dia$, conforme apresentado no quadro 23, o que permite determinar os valores dispostos no quadro 20:

Quadro 23 – Valores diários de vazão, DBO e SS de esgoto cloacal

Nome da Bacia	Concentração populacional	População	Vazão esgoto sanitário (m ³ /dia)	Carga de DBO (kg/dia)	Carga de SS (kg/dia)
Bacia 1	Baixa densidade	8.000,0	1440	432,0	480,0
Bacia 2	Média densidade	15.000,0	2.700	810,0	900,0
Bacia 3	Alta densidade	30.000,0	5.400	1.620,0	1.800,0

(fonte: elaborada pelo autor)

8.6 COMPARAÇÕES DOS VALORES ANUAIS DE DBO_5 , SST E VAZÃO DO SISTEMA PLUVIAL COM OS VALORES DO SISTEMA CLOACAL

De posse dos dados obtidos dos principais critérios de dimensionamento de ETE para os diferentes sistemas, é necessário para o sistema unitário proposto no trabalho, saber o comportamento desses esgotos combinados. Toda a bibliografia estudada não define ou referencia um método para quantificação das cargas poluidoras carregadas por esgotos combinados. São também necessários outros dados muito específicos como o tempo de detenção da bacia e quantidades de chuvas médias da bacia. Para um novo caso, a observação e o levantamento de campo desses critérios se fazem necessários para o correto funcionamento da ETE, evitando desperdícios ou sub-dimensionamento do tratamento, que como consequência teria grandes impactos ambientais.

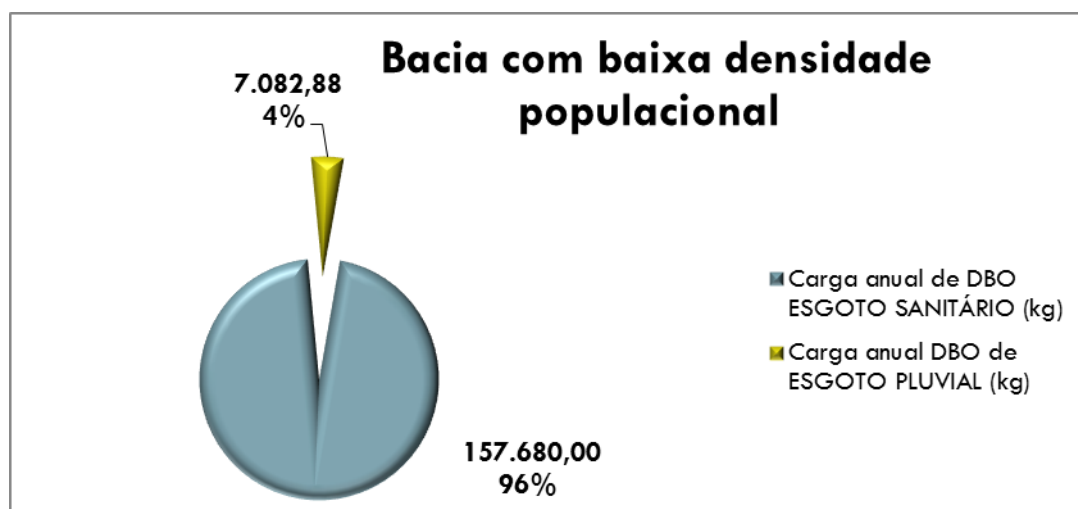
Para o caso hipotético do trabalho, foi feita a comparação dos valores de cargas anuais do sistema pluvial e do sistema cloacal. Os valores estão representados no quadro 24 e nas figuras 7 a 12.

Quadro 24 – Comparação dos valores anuais do sistema de esgoto pluvial e cloacal

Nome da Bacia	Concentração populacional	População	Carga anual de DBO esgoto sanitário (kg)	Carga anual de SS esgoto sanitário (kg)	Carga anual DBO de esgoto pluvial (kg)	Carga anual SS de esgoto pluvial (kg)
Bacia 1	Baixa densidade	8.000,00	157.680,00	175.200,00	7.082,88	21.324,80
Bacia 2	Média densidade	15.000,00	295.650,00	328.500,00	18.776,16	30.863,16
Bacia 3	Alta densidade	30.000,00	591.300,00	657.000,00	34.997,73	44.172,80

(fonte: elaborada pelo autor)

Figura 7 – Comparação de carga anual de DBO para bacia de pequena densidade populacional



(fonte: elaborada pelo autor)

Figura 8 – Comparação de carga anual de DBO para bacia de média densidade populacional

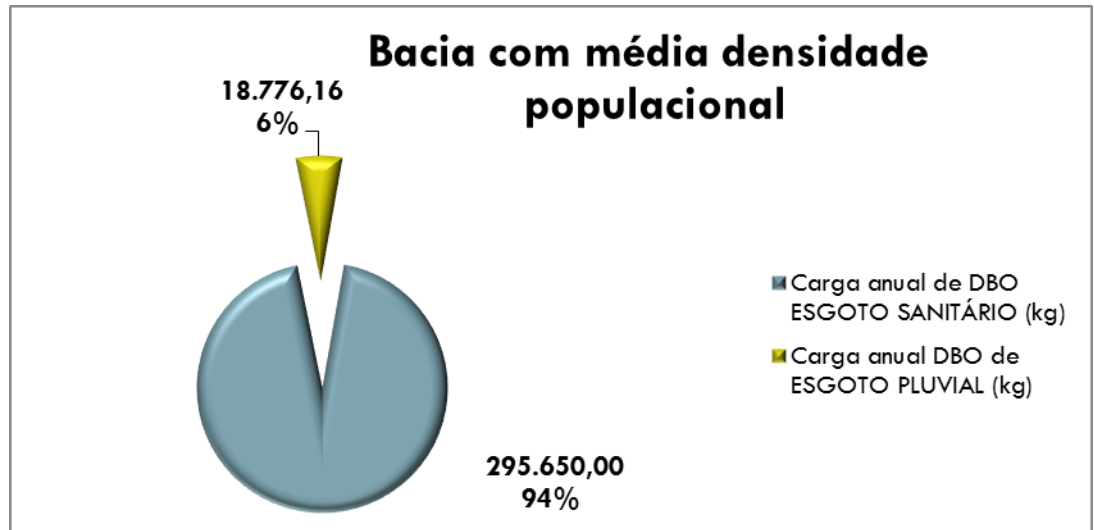


Figura 9 – Comparação de carga anual de DBO para bacia de alta densidade populacional

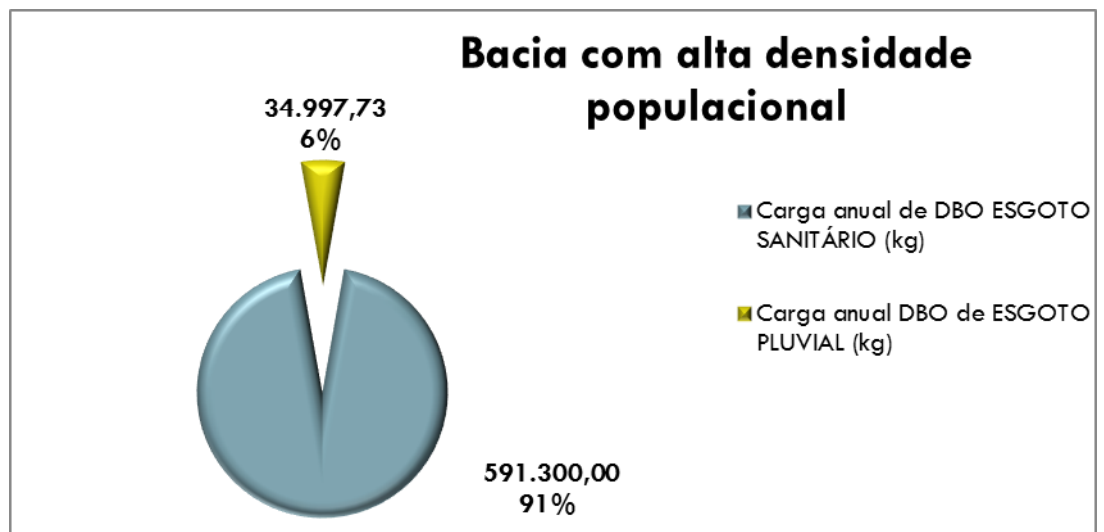


Figura 10 – Comparação de carga anual de SS para bacia de pequena densidade populacional

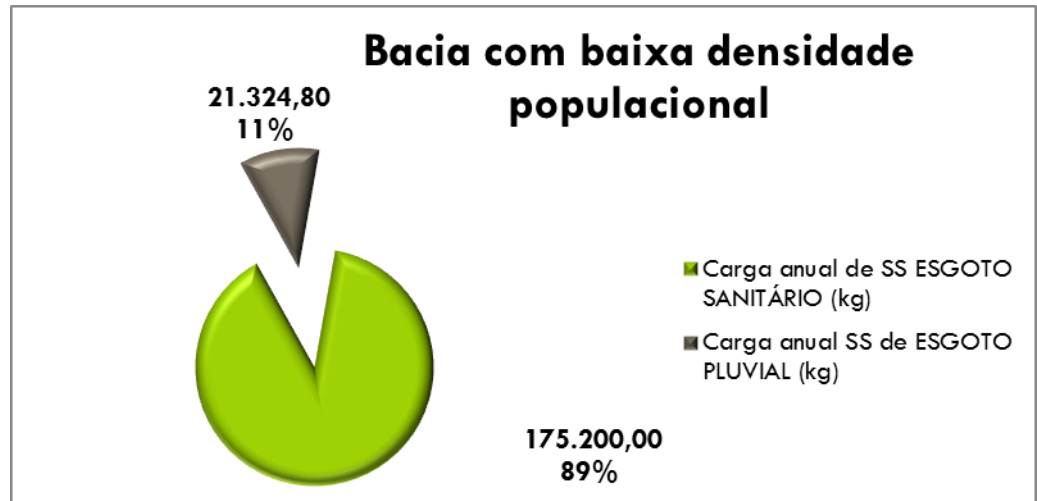


Figura 11 – Comparação de carga anual de SS para bacia de média densidade populacional

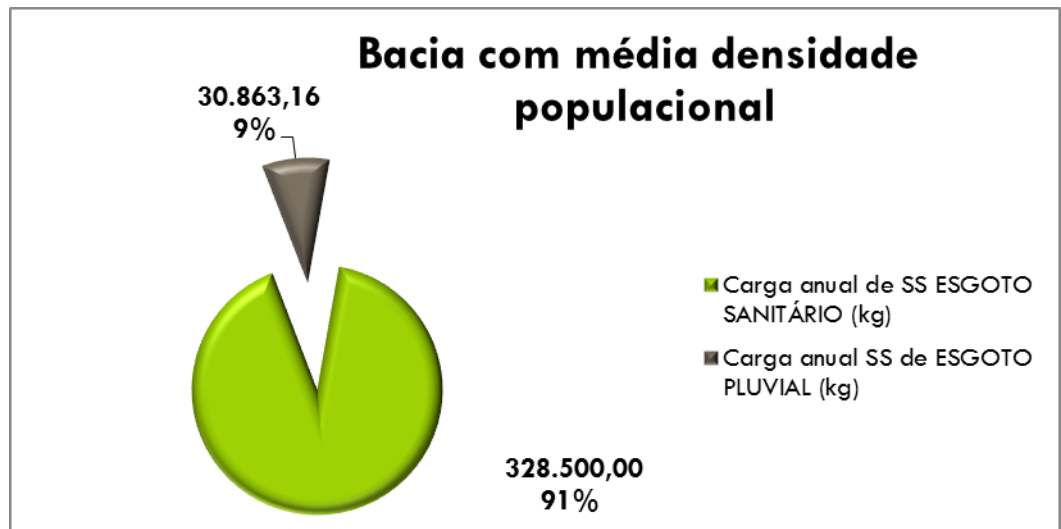
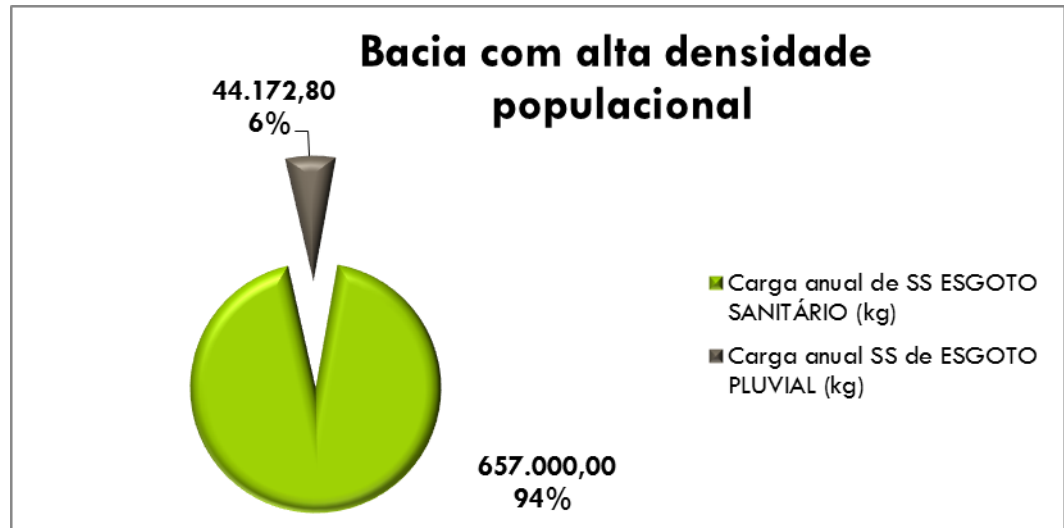


Figura 12 – Comparação de carga anual de SS para bacia de alta densidade populacional



(fonte: elaborada pelo autor)

Pela interpretação dos gráficos percebe-se que em média 6% da carga total de DBO produzida em uma bacia, é de origem dos esgotos pluviais. Para a carga anual de SS, a parcela contribuinte dos esgotos pluviais é em média de 8%. Para a carga em eventos a comparação deverá ser feita com a vazão máxima admitida pela ETE e limitada pelas estruturas de regularização de vazão. Os valores usuais de vazão em estações de tratamento de esgotos que recebem o efluente de rede mista ficam em torno de 2 a 2,5 vezes o valor de vazão a tempo seco.

Foram criados cenários para determinar uma vazão de acordo com a densidade populacional. Para o estudo, foram determinados valores de população para a mesma bacia de área 100 ha, fazendo a correspondência com quantidades de esgotos. Também é suposto que todo o volume de esgoto pluvial da lâmina de 25mm seja armazenado para posterior tratamento. Os dados obtidos são demonstrados no quadro 25.

O quadro 26 apresenta valores do multiplicador de vazão de tempo seco. Esse multiplicador é aplicado na vazão do esgoto cloacal para dimensionamento da vazão máxima da ETE. Os valores de multiplicação tem influência direta no tempo de armazenamento do volume de esgoto pluvial a ser tratado pois, quanto maior a vazão máxima da ETE, menor é o tempo de armazenamento do esgoto pluvial. Esse quadro também apresenta a relação entre o volume de esgoto pluvial correspondente a lâmina de 25 mm e o volume de esgoto sanitário diário, representado também na figura 13.

Quadro 25 – Comparação dos valores por evento do sistema de esgoto pluvial

Densidade Populacional (hab/ha ²)	Porcentagem de área impermeável	Porcentagem de áreas com condutos	Valor de R	Porcentagem de Escoamento superficial	Chuva com 90% dos poluentes (mm)	Volume do esgoto pluvial a ser tratado (m ³)
80,0	30%	35%	1,8	30%	25,0	7500
150,0	60%	80%	3,3	55%	25,0	13750
300,0	85%	100%	5,1	55%	25,0	13750
450,0	90%	100%	5,8	55%	25,0	13750
600,0	95%	100%	5,9	55%	25,0	13750
750,0	100%	100%	6,0	55%	25,0	13750
900,0	100%	100%	6,1	55%	25,0	13750

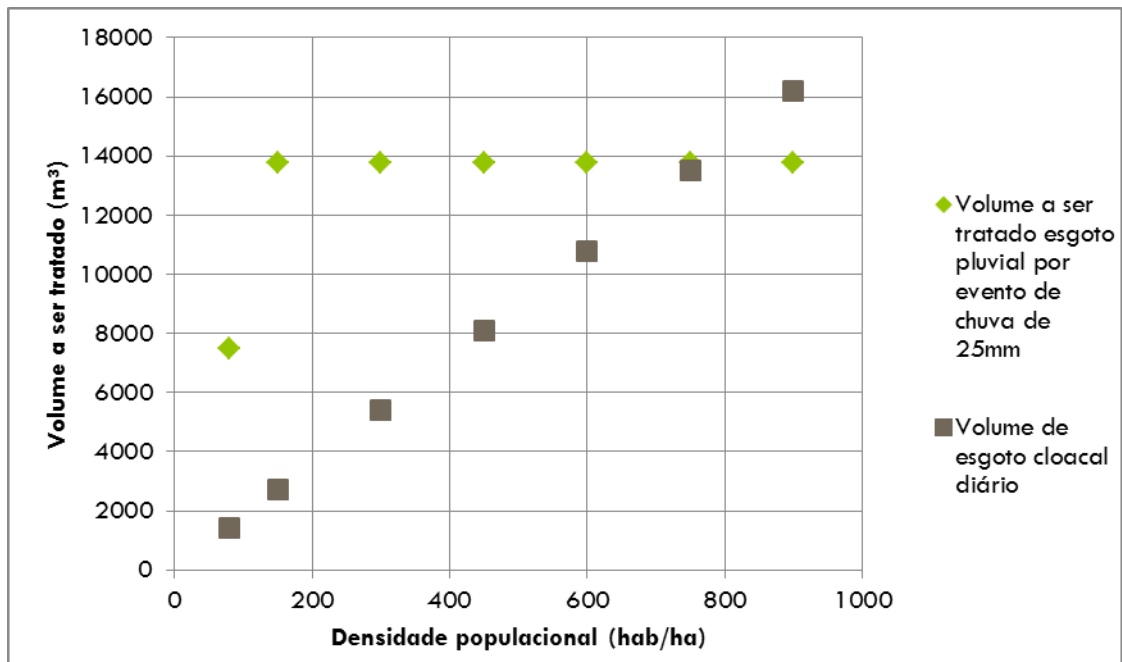
(fonte: elaborada pelo autor)

Quadro 26 – Comparação dos valores do multiplicador de vazão de tempo seco

Densidade Populacional (hab/ha ²)	Volume a ser tratado pluvial em evento (m ³)	Vazão esgoto cloacal (m ³ /dia)	Quantidade de dias para tratamento do volume pluvial com o multiplicador de vazão em tempo seco de:					Razão entre volumes do pluvial e cloacal
			1,8	2	2,3	2,6	2,9	
80,0	7500,0	1440,0	6,5	5,2	4,0	3,3	2,7	5,2
150,0	13750,0	2700,0	6,4	5,1	3,9	3,2	2,7	5,1
300,0	13750,0	5400,0	3,2	2,5	2,0	1,6	1,3	2,5
450,0	13750,0	8100,0	2,1	1,7	1,3	1,1	0,9	1,7
600,0	13750,0	10800,0	1,6	1,3	1,0	0,8	0,7	1,3
750,0	13750,0	13500,0	1,3	1,0	0,8	0,6	0,5	1,0
900,0	13750,0	16200,0	1,1	0,8	0,7	0,5	0,4	0,8

(fonte: elaborada pelo autor)

Figura 13 – Comparação entre volumes de esgotos a serem tratados pela densidade populacional



(fonte: elaborada pelo autor)

Percebe-se pelo crescimento da população na mesma bacia, que o aumento do volume em eventos de chuva tem a tendência de se estabilizar. Para os esgotos cloacais, este tende a crescer linearmente. Deve-se adotar o valor de multiplicação de vazão de tempo seco de acordo com a densidade populacional, para chegar a valores econômicos tanto na estação de tratamento como na estrutura de armazenamento do volume de esgotos pluviais.

9 CRITÉRIOS PARA DIMENSIONAMENTO DA ETE PARA REDE UNITÁRIA

Este capítulo tem por objetivo a orientação dos critérios a serem considerados para as etapas de cálculo do dimensionamento da ETE. Serão utilizados como referência os valores das bacias hipotéticas discriminadas neste trabalho, bem como toda bibliografia estudada.

9.1 VAZÃO MÁXIMA DA ETE

A vazão a ser admitida na ETE vai depender das parcelas de esgoto cloacal e de esgoto pluvial. Para a parcela de esgoto cloacal, esta é facilmente obtida através de parâmetros já bem conhecidos e estudados, inclusive existe na NBR 12209 uma metodologia para cálculo dessa vazão. A vazão do esgoto cloacal dependerá somente de valores da população contribuinte, pelo consumo de água *per capita* e coeficiente de retorno água/esgoto, ou seja, o quanto de água consumida retorna ao ambiente como esgoto bruto que deve ser encaminhado para tratamento.

A parcela de esgoto pluvial irá depender de fatores que aleatórios, como a quantidade de chuva por dia, mas é possível saber o volume da chuva que necessita ser escoado da bacia pelos canais pluviais. Sabendo o volume a ser escoado, precisaria do valor do tempo de detenção das bacias para o conhecimento da vazão máxima a ser atingida. O tempo de detenção da bacia com condutos pode ser ajustado com estruturas reguladoras de vazão e contenção, conhecidas como caixas limitadoras de vazão e canais de amortecimento.

Alia-se o dimensionamento das estruturas reguladoras de vazão com a máxima vazão da ETE, sendo esses valores diretamente relacionados. Parte-se, então, para um melhor ajuste econômico e viabilidade técnica, pois aumentando a vazão máxima da ETE pode ser mais vantajoso que intervir nas redes pluviais e implantar canais de amortecimento.

Para o projetista da estação de tratamento, das estruturas regularizadoras de vazão e da estrutura de armazenamento de esgoto pluvial, a adoção do valor de multiplicação de vazão de tempo seco de acordo com a densidade populacional. Para se chegar a valores econômicos

nessas estruturas, evitando o desperdício de recursos ou acarretando num sub dimensionamento da estação.

Ocorre que o regime pluviométrico deve ser estudado para cada região para o dimensionamento da estrutura de armazenamento. Chuvas consecutivas devem ser avaliadas em duas situações. A primeira será o tempo de separação entre essas duas chuvas, sendo que o tempo de detenção do esgoto pluvial deveria ser igual ou menor. E a segunda é o tempo de acúmulo de poluentes na superfície da bacia, que deve ser avaliado de bacia para bacia.

9.2 GRADEAMENTO

Os critérios a serem observados para o dimensionamento do gradeamento são o material a ser retirado e a frequência de limpeza. O tipo de material transportado para essa etapa não será somente oriundo de esgoto cloacal, pelo menos nas ocorrências de chuvas. O esgoto pluvial tem como principal característica a quantidade de sólidos suspensos, oriundos da lavagem superficial da bacia, que contém lixos dispostos incorretamente no chão.

Portanto serão comuns resíduos como garrafas plásticas, sacolas com lixos, pneus, restos de madeira, entre muitos outros materiais que possam ultrapassar as bocas-de-lobo e percorrer a tubulação, que normalmente tem diâmetro nominal superior a 40 cm. Seria de boa prática então, aumentar a frequência de limpeza do gradeamento em horas de chuva para garantia de sua funcionalidade, pois rapidamente muitos resíduos chegarão a essa estrutura..

9.3 CAIXAS DE AREIA

Os critérios para as caixas de areia também sofrerão acréscimos em cuidados para receber o efluente pluvial. A parcela de sólidos suspensos totais do escoamento pluvial é alta comparando a um único evento, no caso, uma chuva de 25mm. A parcela correspondente a sólidos suspensos fixos em relação aos sólidos suspensos totais não foi encontrada em nenhuma bibliografia consultada neste trabalho. O tipo de sólidos suspensos fixos vai depender do tipo de solo da bacia estudada, sendo então muito particular do caso estudado. Para a definição de quantidades e o tipo de material, deverá ser feita uma análise na bacia onde será implantada a ETE. Portanto essa caixa deverá estar apta a receber as parcelas

combinadas dos esgotos pluviais e cloacais nas ocorrências de chuvas, onde a concentração de sólidos suspensos totais será máxima.

9.4 ESTRUTURAS AUXILIARES

Para a melhor funcionalidade da estação de tratamento de esgotos combinados são sugeridas estruturas auxiliares, que não existem no projeto de uma estação de tratamento somente de esgoto cloacal. São elas:

- a) caixas reguladoras de vazão – estrutura com finalidade de determinar a vazão de saída para compatibilidade da ETE;
- b) canais de amortecimento – locais onde terá o amortecimento das vazões escoadas das bacias;
- c) reservatório de esgotos combinados em excesso – reservatório onde poderá suportar todo ou parte do volume de escoamento da bacia que a ETE não consegue tratar, para posterior tratamento;
- d) extravasor de esgotos combinados – após exceder a capacidade máxima de tratamento da ETE e do reservatório, o esgoto será desviado ao corpo receptor por essa estrutura, pois já se tratará de esgotos muito diluídos, grandes impactos ambientais.

10 CONCLUSÕES

O presente trabalho envolveu o estudo dos critérios a serem empregados para dimensionamento de ETE que recebem contribuições combinadas de esgoto sanitário e águas pluviais contaminadas pelas diferentes atividades antrópicas desenvolvidas em áreas urbanas centrais e periféricas.

Foi feito a partir de bacias hipotéticas, com área de 100ha e densidade populacional distintas, o levantamento das cargas orgânicas, de sólidos suspensos que a estação de tratamento de esgotos deverá se adequar. Para a volume a ser tratado em eventos chuvosos foi adotada a lâmina de 25mm. Para chuvas médias anuais na bacia a precipitação acumulada de 1700mm, com $P_j = 0,4$ o que significa que 40% das chuvas anuais são chuvas que geram esgotos pluviais comparadas à chuva de evento, no caso a chuva de 25mm. Para os valores de C na equação do método simples, foi feito um levantamento dos dados existentes para a classificação dos valores em função da densidade populacional, disponível no quadro 16.

Os acréscimos de carga orgânica, expressos em DBO_5 foram estimados em função da densidade populacional pelo método simples, em cargas de poluentes nos eventos de precipitação e em cargas acumuladas ao longo do ano. As cargas de DBO_5 estimada para o *first flush* de eventos chuvosos resultaram em valores de 173,6 kg para bacias de pequenas densidades populacionais, 460,2 kg para médias densidades populacionais e 857,8 kg para altas densidades populacionais. Para valores anuais se obteve valores de 7.082,88 kg para pequenas densidades, 18.776,16 kg para médias densidades e 34.997,73 kg para altas densidades.

Os acréscimos de carga de sólidos suspensos também foram estimados em função da densidade populacional pelo método simples, para os eventos de precipitação e em valores de cargas anuais. As cargas de sólidos suspensos estimada para o *first flush* de eventos chuvosos resultaram em 748,0 kg para bacia de pequena densidade populacional, 1632,8 kg para média densidade populacional e 2363,5 kg para alta densidade populacional. Para os valores anuais foi obtido o valor de 21.324,8 kg para pequena densidade, 30.863,16 kg para média densidade e 44.172,8 para alta densidade populacional.

Foi verificado que o volume de esgoto pluvial gerado na bacia urbana sofre estabilização com o aumento da densidade populacional, ao passo que o esgoto cloacal cresce linearmente. É necessária a adoção criteriosa do multiplicador de vazão de tempo seco, pois esse tem influência direta na estrutura de armazenamento e na ETE. Neste caso, recomenda-se o desenvolvimento de estudo econômico referente ao investimento em estruturas de armazenamento na bacia urbana comparativamente ao custo de investimento na ETE. Sendo essas estruturas dimensionadas pelo multiplicador da vazão em tempo seco, em função da densidade populacional, conforme apresentado no quadro 26 do presente trabalho.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12209**: projeto de estações de tratamento de esgoto. Rio de Janeiro, 1992.

BAPTISTA, M.; NASCIMENTO, N.; BARRAUD, S. **Técnicas compensatórias de drenagem urbana**. Porto Alegre: ABRH, 2005.

BRASIL. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. **Lei n. 11.445**, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis n. 6.766, de 19 de dezembro de 1979; 8.036, de 11 de maio de 1990; 8.666, de 21 de junho de 1993; 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei 6.528, de 11 de maio de 1978 e dá outras providências. Brasília, DF, 2007. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/111445.htm>. Acesso em: 20 nov. 2010.

BOLLMANN, H.A. **Relação da densidade populacional sobre variáveis de qualidade físico-química das águas superficiais em microbacias hidrográficas urbanas sem cobertura sanitária em Porto Alegre – RS**. 2003. 145 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

CARDOSO NETO, A. **Sistemas Urbanos de Drenagem**. Brasília: ANA, 2000. Disponível em: <http://www.ana.gov.br/PortalConhecimento/AntonioCardosoNeto/Introducao_a_drenagem_urbana.pdf>. Acesso em: 17 out. 2010.

COSTA, A. R.; SIQUEIRA, E. Q.; MENEZES FILHO, F. C. M. **Curso Básico de Hidrologia Urbana**: guia do profissional em treinamento. Brasília: ReCESA, 2007. Nível 3.

IDE, C. N. **Qualidade da drenagem pluvial urbana da Bacia dos Açorianos**. 1984. 137 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

MENEZES FILHO, F. C. M. **Simulação e controle da qualidade das águas pluviais**. 2011. 63 f. Plano de qualificação para obtenção do título parcial de Doutor. (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

PORTO, R.; ZAHED FILHO, K.; TUCCI, C. E. M.; BIDONE, F. Drenagem Urbana. In: _____ (Org.). **Hidrologia**: ciência e aplicação. 4. ed. Porto Alegre. Editora da Universidade – UFRGS. Porto Alegre: 2009. p. 805-847.

PORTZ, C. S. **Sistema de esgotamento combinado**: adoção como fase inicial para viabilizar obras de saneamento integrando questões sanitárias e ambientais. 2009. 72 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

TEODORO, V. L. I.; TEIXEIRA, D.; COSTA, D. J. L.; FULLER, B. B. O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. **Revista Uniara**, n. 20, p. 137-157, 2007. Disponível em: <http://www.uniara.com.br/revistauniara/pdf/20/RevUniara20_11.pdf>. Acesso em: 12 jun. 2011.

TOMAZ, P. **Manejo de águas**. 2009. [capítulo 30 – Método Simples de Schueler]. Disponível em: <http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/capitulo30_schueler.pdf>. Acesso em: 12 out. 2011.

TUCCI, C. E. M. **Gestão de águas pluviais**. Brasília: Ministério das Cidades, 2005. Saneamento para Todos, Programa de Modernização do Setor de Saneamento. v. 4.

_____. Águas urbanas: estudos avançados. **The Scientific Electronic Library Online**, v. 22, n. 63, 2008. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142008000200007&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 13 nov. 2010.