

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

Étan Alexandre Noro

**SISTEMA COMBINADO DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO:
ALTERNATIVA VIABILIZADORA DE SISTEMAS DE
ESGOTOS**

Porto Alegre
julho 2012

ETAN ALEXANDRE NORO

**SISTEMA COMBINADO DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO:
ALTERNATIVA VIABILIZADORA DE SISTEMAS DE
ESGOTOS**

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: Gino Roberto Gehling

Porto Alegre
julho 2012

ETAN ALEXANDRE NORO

**SISTEMA COMBINADO DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO:
ALTERNATIVA VIABILIZADORA DE SISTEMAS DE
ESGOTOS**

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/a Professor/a Orientador/a e pela Coordenadora da disciplina Trabalho de Diplomação Engenharia Civil II (ENG01040) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, julho de 2012

Prof. Gino Roberto Gehling
Dr. pela Universitat Politecnica de Catalunya
Orientador

Profa. Carin Maria Schmitt
Coordenadora

BANCA EXAMINADORA

Prof. Gino Roberto Gehling (UFRGS)
Dr. Em Engenharia Ambiental pela Universidade Politécnic da Catalunha/Espanha

Prof. Tiago Luis Gomes
Mestre em Saneamento Ambiental pela Universidade Federal de Santa Maria

Michael Espinosa Herreira
Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Rio Grande

Dedico este trabalho a meus pais, Hildo e Ida, que sempre me apoiaram e especialmente durante o período do meu Curso de Graduação estiveram ao meu lado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Prof. Gino Roberto Gehling, orientador deste trabalho, pelas sábias e precisas orientações prestadas.

Agradeço à Profa. Carin Maria Schmitt, pela disponibilidade e paciência nas inúmeras consultas prestadas.

Agradeço à minha esposa Cris, por sempre estar a meu lado.

Agradeço à minha amada filha Érica, por ser o Norte em minha vida.

Agradeço a meus pais, pelo apoio prestado em todos os momentos de minha vida.

Há muitas maneiras de avançar, mas só uma maneira de
ficar parado.

Franklin D. Roosevelt

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo determinar o tempo necessário para que, utilizando-se a rede de coleta pluvial previamente existente em determinada área, como sistema combinado de esgotamento, se possa executar a rede separadora absoluta com recursos gerados pelo próprio sistema de tratamento de esgotos, através da taxa de tratamento de esgotos, quando da implantação de sistemas de tratamento. Para tal, utilizou-se o projeto real do sistema de coleta e tratamento de esgotos em implantação no município de Sapiranga-RS, mais especificamente em uma das sub-bacias de contribuição do sistema, que já contava com rede de drenagem pluvial em toda sua extensão. Para proceder-se à ligação da rede pluvial com a estação de tratamento de esgotos (ETE), duas alternativas de interceptação foram levantadas: uma fazendo o redimensionamento de um dos componentes do sistema, o emissário, para atender à vazão de esgoto combinado (pico de vazão pluvial de período de chuva e vazão máxima de esgoto sanitário); outra em que se intercepte o arroio Sapiranga (para onde, invariavelmente, toda a rede pluvial do perímetro urbano converge) em ponto mais próximo à ETE e, com o auxílio de uma estrutura de regulação e desvio, fazer-se o desvio e encaminhar para tratamento apenas o correspondente à vazão de esgotos gerados na área analisada. Por questões técnicas e de economicidade, a segunda alternativa mostrou-se a solução mais adequada para a adaptação da rede. O tempo necessário para execução da rede separadora, no cenário criado no presente trabalho, foi de 23 anos, contados a partir de 2007, ocorrendo entre os anos de 2029 e 2030.

Palavras-chave: Sistemas de Esgotos. Rede Separadora. Rede Mista. Custos de Execução de Redes de Esgoto.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama de etapas do trabalho de diplomação	16
Figura 2 – Percentual da população brasileira com acesso à água e esgoto	19
Figura 3 – Investimentos em saneamento no Brasil	20
Figura 4 – Representação do sistema combinado	22
Figura 5 – Estruturas de regulação e desvio	23
Figura 6 – Comparação entre intensidade de chuvas em cidades europeias e brasileiras	24
Figura 7 – Representação do sistema separador absoluto	27
Figura 8 – Contribuições de esgotos e águas pluviais nas bacias de Traição e Uberaba..	29
Figura 9 – Traçado do tipo perpendicular	34
Figura 10 – Traçado do tipo leque.....	34
Figura 11 – Traçado do tipo radial	35
Figura 12 – Posições dos coletores na via pública	35
Figura 13 – Fluxograma de identificação de situação de esgotamento	45
Figura 14 – Curva de crescimento populacional de Sapiranga para 1970-2010	49
Figura 15 – Bacia do arroio Sapiranga	52
Figura 16 – Divisão da bacia em sub-bacias	53
Figura 17 – Projeto do sistema de esgotos em execução	55
Figura 18 – Divisão em sub-bacias do projeto	56
Figura 19 – Densidade demográfica por setores censitários	57
Figura 20 – Rede pluvial existente no Município	59
Figura 21 – Pontos de lançamento pluvial da sub-bacia 5	60
Figura 22 – Curvas IDF para Sapiranga	63
Figura 23 – Instalação da estrutura de regulação e desvio	65
Figura 24 – Curva de caixa acumulado e custos de implantação	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Vazões afluentes a estações de tratamento de esgotos europeias.	25
Tabela 2 – Contribuição pluvial em bacias dos municípios de Traição e Uberaba	28
Tabela 3 – Coeficientes de escoamento para diferentes superfícies	40
Tabela 4 – INCC e IGP – M acumulados anuais desde 2001	44
Tabela 5 – Populações do Município em diferentes instantes de tempo	49
Tabela 6 – Taxa de crescimento populacional do Município para 1970 – 2010	51
Tabela 7 – Previsão de crescimento populacional para o Município de Sapiranga entre 2007 e 2036	51
Tabela 8 – Previsão populacional para a sub-bacia 5	58
Tabela 9 – Máximas precipitações diárias mensais e anuais para Sapiranga	61
Tabela 10 – Determinação de curvas IDF pelo método de Bell	62
Tabela 11 – Custos de implantação e operação do sistema de tratamento de esgotos para a sub-bacia 5	66
Tabela 12 – Divisão de custos de implantação do sistema de tratamento para a sub- bacia 5	67
Tabela 13 – Estrutura tarifária de serviços de água e esgoto	68
Tabela 14 – Estimativa de arrecadação e evolução dos custos de execução	71

LISTA DE SIGLAS

DBO –	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO –	Demanda Química de Oxigênio
EE –	Estação Elevatória
ETE –	Estação de Tratamento de Efluentes
IBGE –	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ODM –	Objetivos de Desenvolvimento do Milênio
ONU –	Organização das Nações Unidas
PNAD –	Pesquisa Nacional por Amostragem de Domicílios
Sabesp –	Companhia de Saneamento de São Paulo
SS –	Sólidos Suspensos

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 DIRETRIZES DA PESQUISA	14
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA	14
2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA	14
2.2.1 Objetivo principal	14
2.2.2 Objetivo secundário	14
2.3 HIPÓTESE	15
2.4 PRESSUPOSTOS	15
2.5 DELIMITAÇÕES	15
2.6 LIMITAÇÕES	15
2.7 DELINEAMENTO	15
3 ESGOTAMENTO SANITÁRIO E PLUVIAL	18
3.1 SANEAMENTO BÁSICO	18
3.2 SISTEMAS DE ESGOTO	20
3.2.1 Breve histórico	21
3.2.2 Tipos de sistemas de esgoto	22
3.2.2.1 Sistema combinado	22
3.2.2.2 Sistema separador absoluto	26
3.2.2.3 Sistema separador parcial	29
3.2.3 Concepção de sistemas de esgoto	30
3.2.3.1 Concepção da rede coletora de esgotos	32
3.2.3.1.1 <i>Projeção populacional</i>	33
3.2.3.1.2 <i>Traçado das redes coletoras</i>	33
3.2.3.1.3 <i>Órgãos acessórios à rede coletora</i>	36
3.2.3.1.4 <i>Interceptores</i>	36
3.2.3.1.5 <i>Emissários</i>	36
3.2.4 Dimensionamento de coletores de esgoto	37
3.2.4.1 Coletores de esgoto sanitário	37
3.2.4.2 Coletores de águas pluviais	38
3.2.4.2.1 <i>Escoamento superficial urbano</i>	38
3.2.4.2.2 <i>Metodologia para o dimensionamento de galerias pluviais</i>	41
3.2.5 Análise econômico-financeira de projetos	42
3.2.5.1 Juros compostos	43

3.5.2.2 Indexadores econômicos	44
3.2.6 Adoção de sistema unitário em fase inicial de sistemas de esgotos	44
4 CASO DE SAPIRANGA	48
4.1 DESCRIÇÃO DO MUNICÍPIO	48
4.2 ESTIMATIVA DE CRESCIMENTO POPULACIONAL	49
4.3 CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS	52
4.4 SITUAÇÃO DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO	54
4.4.1 Sistema de esgotos em implantação	54
4.4.2 Utilização da rede pluvial existente	58
4.4.2.1 Alternativa 1	59
4.4.2.2 Alternativa 2	64
4.4.2.3 Decisão entre as alternativas	65
4.5 ANÁLISE ECONÔMICO-FINANCEIRA.....	66
4.5.1 Custos de implantação do sistema	66
4.5.2 Estimativa de arrecadação e custos operacionais da ETE	67
4.5.3 Determinação do tempo necessário para a execução da rede separadora	68
5 CONCLUSÕES	72
REFERÊNCIAS	73
ANEXO A	76

1 INTRODUÇÃO

O saneamento básico constitui um dos principais requisitos para a perfeita manutenção da vida e saúde do homem. Dentre as ações que compõem os serviços de saneamento básico, o esgotamento sanitário merece destaque. No Brasil, assim como em grande parte dos países, tem-se por regra o uso de redes coletoras separadoras absolutas (sistema no qual o esgoto pluvial é totalmente separado do esgoto sanitário), consideradas ideais para o transporte de águas residuais e pluviais, em detrimento da utilização de redes combinadas ou unitárias (sistema em que tanto o esgoto sanitário quanto o pluvial são transportados através da mesma rede de tubulações). Assim, nas redes separadoras absolutas, apenas o esgoto sanitário é tratado, pois parte-se do pressuposto de que o esgoto pluvial não detém carga poluidora significativa. Na prática isso não se confirma, pois a carga poluidora da assim chamada poluição difusa (no caso, das águas pluviais dos primeiros minutos de chuva, que lavam a superfície das áreas urbanas) chega a ser maior que a do próprio esgoto sanitário. Isso sem contar as ligações residenciais clandestinas à rede pluvial, comuns em localidades onde a rede de coleta do esgoto sanitário não existe.

Frente a isso, o presente trabalho analisou a possibilidade da utilização de sistema combinado de esgotamento sanitário como alternativa inicial para implantação de sistemas de esgotos (o tratamento em si não faz parte do escopo do trabalho, que foi limitado à análise da rede de coleta e transporte de esgotos). Nessa alternativa, e rede separadora absoluta será implantada quando o sistema, através da taxa de tratamento de esgotos, arrecadar o montante necessário para tal, minimizando assim o impacto financeiro inicial que projetos de tal monta exigem.

Como objeto de estudo, avaliou-se a implantação do sistema de tratamento de esgotos do município de Sapiranga-RS, integrante da bacia do Rio dos Sinos, obra que já está em fase de execução e que prevê a imediata instalação da rede separadora. A Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) contará com três módulos, implantados em diferentes etapas, cada um com capacidade de atender até 25 mil habitantes. O primeiro módulo, em fase final de execução, custará em torno de R\$ 12,4 milhões, sendo que R\$ 10 milhões para a rede coletora e seus acessórios e R\$ 2,4 milhões para a ETE propriamente dita. A proposta de análise no caso da implantação do sistema de tratamento de esgotos de Sapiranga estimou qual o tempo

necessário para a execução da rede separadora, caso esse fosse inicialmente executado utilizando-se a rede pluvial existente, utilizando-se dos recursos gerados pela cobrança da taxa de coleta e de tratamento, criando-se assim uma alternativa economicamente interessante para esse tipo de projeto de saneamento.

Essa análise se justifica pelo potencial de ser duplamente atrativa. Primeiro, por poder reduzir a alocação inicial de recursos financeiros em projetos de sistemas de tratamento de esgotos, haja vista que, na implantação de tais projetos, a rede coletora separadora responde por, em média, 80% do valor total da obra, sendo que a ETE em si corresponde por em média 20% desse montante. Segundo, por possibilitar que a rede separadora seja implantada com recursos gerados pelo próprio sistema, que podem ser auferidos tão logo as residências sejam conectadas a rede e esta seja ligada à ETE.

O trabalho divide-se em cinco capítulos, iniciando pela introdução, que proporciona um panorama geral da proposta do trabalho. O segundo capítulo apresenta as diretrizes da pesquisa, contendo a questão de pesquisa, os objetivos que a orientam, as hipóteses, pressupostos, delimitações e limitações adotados, fazendo, ao final, o delineamento do desenvolvimento do trabalho. O terceiro capítulo versa sobre esgotamento sanitário, apresentando os sistemas de esgotos existentes, a metodologia aplicada à concepção de projetos de sistemas de esgotos e dimensionamento de seus condutos, finalizando com os parâmetros necessários para proceder à análise econômico-financeira de projetos. O quarto capítulo é destinado ao estudo de um projeto real de esgotamento sanitário, que faz uso de rede separadora, propondo alternativas para o emprego da rede pluvial como sistema combinado, estimando ao final o tempo necessário para que o sistema arrecade o montante necessário para a execução da rede separadora. O quinto capítulo é destinado às conclusões a respeito dos resultados obtidos.

2 DIRETRIZES DA PESQUISA

As diretrizes para desenvolvimento do trabalho são descritas nos próximos itens.

2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

A questão de pesquisa do trabalho é: conhecido o custo de implantação de um sistema de esgotos de determinado município empregando-se o sistema separador absoluto, qual seria o tempo necessário, nesta mesma área, fazendo-se uso inicialmente da rede pluvial como sistema combinado, para a execução da rede separadora, utilizando-se os recursos gerados pela cobrança da taxa de tratamento de esgotos?

2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA

Os objetivos da pesquisa estão classificados em principal e secundário e são descritos a seguir.

2.2.1 Objetivo Principal

O objetivo principal do trabalho é a determinação do tempo necessário para que a rede separadora absoluta do sistema de tratamento de esgotos do município de Sapiranga-RS seja executada, com recursos gerados pelo próprio sistema, através da taxa de tratamento de esgotos, fazendo-se uso inicialmente da rede pluvial como sistema combinado.

2.2.2 Objetivo secundário

Os objetivos secundários do trabalho são:

- a) o levantamento de dados e parâmetros técnicos para elaboração de projetos de redes coletoras que façam uso de sistema combinado;
- b) a elaboração de alternativas técnicas que possibilitem a utilização da rede pluvial como sistema combinado.

2.3 HIPÓTESE

A hipótese do trabalho é que a rede separadora absoluta pode ser executada com recursos gerados pela cobrança da taxa de tratamento de esgotos e dentro horizonte de projeto.

2.4 PRESSUPOSTO

O trabalho tem por pressupostos:

- a) que a maioria dos municípios não dispõe da totalidade dos recursos que obras de sistemas de tratamento de esgotos exigem já em sua fase inicial, quando se prevê o uso de redes separadoras, sendo este um dos fatores mais significativos para se ter uma taxa de tratamento tão baixa;
- b) que todas as residências na área de estudo já estejam previamente ligadas à rede pluvial existente.

2.5 DELIMITAÇÕES

O trabalho delimita-se a uma das sub-bacias do sistema de tratamento de esgotos do município de Saporanga, restringindo-se à análise da rede coletora de esgotos e seus acessórios, sem ater-se a outros aspectos do mesmo, como, por exemplo, a ETE.

2.6 LIMITAÇÕES

É limitação do trabalho a avaliação apenas da capacidade do próprio sistema de gerar recursos para a execução da rede separadora, não levando em conta outras formas de financiamento.

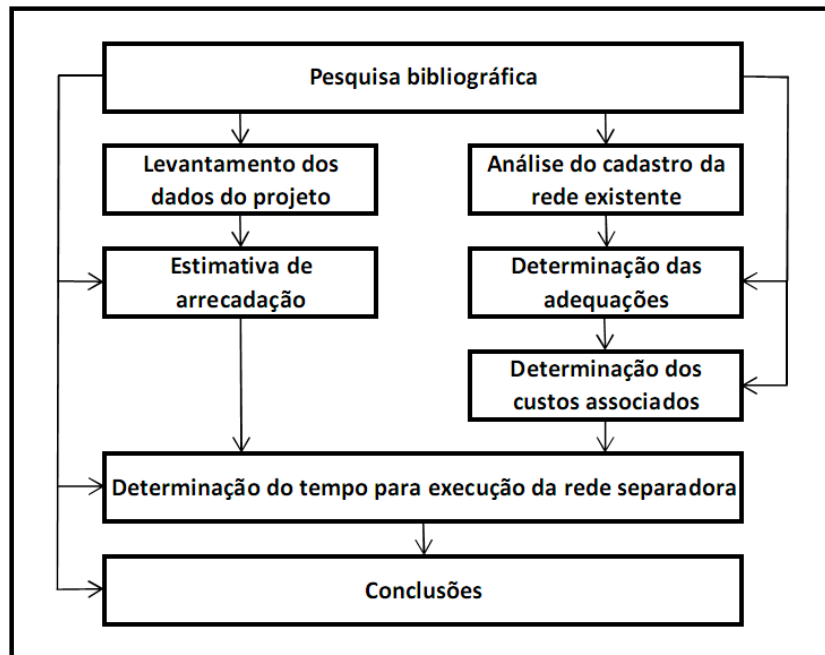
2.7 DELINEAMENTO

O trabalho foi realizado através das etapas apresentadas a seguir que estão representadas na figura 1 e são descritas nos próximos parágrafos:

- a) pesquisa bibliográfica;
- b) levantamento dos dados do projeto do sistema de tratamento em execução;
- c) análise do cadastro da rede de coleta pluvial previamente existente no Município;
- d) determinação das adequações necessárias à rede pluvial;

- e) determinação dos custos associados à alternativa proposta;
- f) estimativa de arrecadação com a cobrança da taxa de tratamento de esgotos,
- g) determinação do tempo necessário para execução da rede separadora;
- h) conclusão.

Figura 1 – Diagrama das etapas do trabalho de diplomação



(fonte: elaborado pelo autor)

A primeira etapa do trabalho consistiu na pesquisa bibliográfica, com consulta a trabalhos que tratem sobre saneamento, hidrologia e hidráulica, coleta e transporte de efluentes. Também incluiu a consulta a manuais técnicos para o dimensionamento de redes coletoras, diretrizes governamentais para o saneamento básico, a normas técnicas da área e à legislação pertinente. A pesquisa estendeu-se durante todo o desenvolvimento do trabalho.

A segunda etapa consistiu na análise do projeto do sistema de tratamento de esgotos que está sendo implantado no Município. Teve por objetivos a verificação de possíveis detalhes técnicos adotados que devem ser respeitados na alternativa proposta neste trabalho e o levantamento da rede de esgoto sanitário que será implantada. Esta rede de esgotos será executada posteriormente, completando assim o sistema separador absoluto.

A terceira etapa serviu para o levantamento da rede pluvial existente, verificando-se o traçado, diâmetros e declividades associados. Essa rede serviu para o transporte dos esgotos sanitários

até a ETE, como sistema unitário. De posse das informações coletadas na terceira etapa, passou-se à quarta etapa, em que foram determinadas as adequações necessárias à rede coletora.

Com o projeto da rede mista definido na etapa anterior, passou-se à estimativa de custos da solução adotada. Estes custos são de fase inicial de projeto, o que implica que não foram cobertos pelos recursos gerados na cobrança da taxa de coleta de esgotos, sendo bancados com recursos externos, seja pelo ente público executor ou pela entidade financiadora.

A sexta etapa consistiu na estimativa de arrecadação com a cobrança da taxa de tratamento de esgoto, que pôde ser implementada tão logo foram feitas as ligações com as residências. Esta etapa foi precedida unicamente pela segunda etapa, mas foi definida na sexta posição apenas por questão de adequação ao cronograma.

A determinação do tempo necessário para a execução da rede separadora absoluta, sétima etapa do delineamento do trabalho, foi precedida pela análise do projeto do sistema de tratamento em execução, pois a rede de esgotos que compôs o sistema separador absoluto juntamente com a rede pluvial existente foi a do projeto original. Também foi precedida pela estimativa de arrecadação, pois os recursos para sua implantação vêm da cobrança da taxa de tratamento de esgotos.

Como última etapa, está a conclusão do trabalho. Esta avaliou os resultados obtidos no decorrer do mesmo.

3 ESGOTAMENTO SANITÁRIO E PLUVIAL

Nos próximos itens, será feita uma breve introdução à questão do saneamento básico, aos sistemas de coleta e transporte de esgotos, bem como será feito o detalhamento técnico para a execução de redes coletoras.

3.1 SANEAMENTO BÁSICO

O saneamento básico tem papel fundamental na perfeita manutenção da vida e na preservação do meio ambiente. Tanto é importante que o acesso ao saneamento básico foi declarado direito humano fundamental, pela Assembleia Geral da Organização das Nações Unidas (ONU), na sede das Nações Unidas, em Nova York, Estados Unidos da América, no dia 28 de julho de 2010 (WORSNIP, 2010, tradução nossa). Todos os Estados-Membros, inclusive o Brasil, se comprometeram a adotar medidas que viabilizem o acesso aos serviços de saneamento. Tal decisão se tornou necessária diante das alarmantes taxas de atendimento de serviços de saneamento, que estão muito aquém do ideal, notadamente em países pobres e em desenvolvimento.

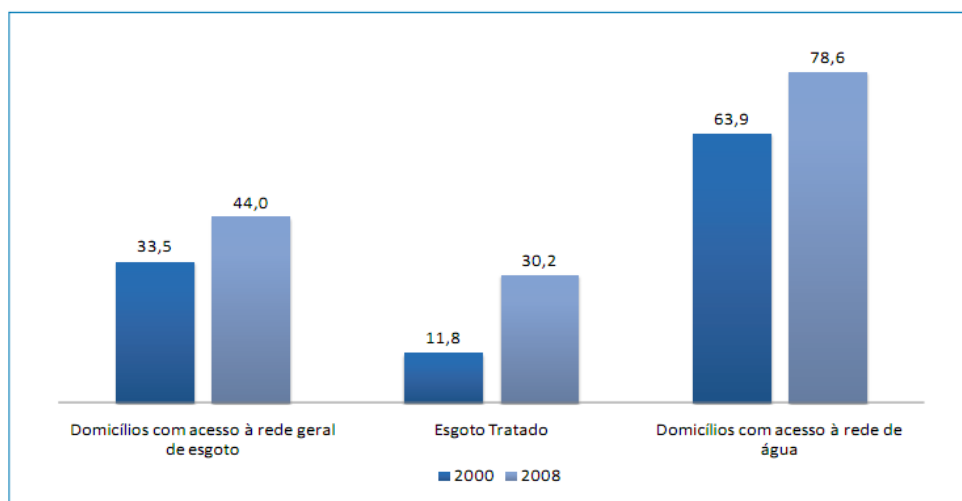
Ainda segundo Worsnip (2010, tradução nossa), a decisão informa que 884 milhões de pessoas no mundo não têm acesso à água potável e que mais de 2,6 bilhões de pessoas não têm acesso a saneamento básico. Estima-se que 1,5 milhões de crianças, com até 5 anos, morram todos os anos no mundo acometidas por moléstias decorrentes de problemas com água e saneamento. Reduzir pela metade estes números tornou-se um dos Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM), ou seja, metas de desenvolvimento a serem alcançadas até o ano de 2015.

No Brasil, o saneamento básico, segundo a Lei n. 11.445 (BRASIL, 2007), é definido como o conjunto de serviços, infraestrutura e instalações de abastecimento de água potável, de esgotamento sanitário, de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos e de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas. Para o escopo do presente trabalho, tem especial importância o esgotamento sanitário e a drenagem e manejo de águas pluviais urbanas.

Em países em desenvolvimento, como é o caso do Brasil, obras de saneamento não são implantadas muitas vezes pela simples falta de recursos por parte dos entes estatais. No caso específico de sistemas de coleta, transporte e tratamento de esgotos e de abastecimento de água tratada, os problemas são alarmantes.

Segundo Oliveira et al. (2011), enquanto 76% da população brasileira tem acesso à água tratada, apenas 44% tem acesso a redes de esgoto sanitário, desse esgoto coletado, apenas 29,4% é tratado, como se pode verificar na figura 2. A evolução da cobertura também é muito lenta, e, segundo a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios de 2009 – PNAD 2009 –, entre os anos de 1995 e 2009 o aumento do atendimento foi de 11,6%. De 2008 para 2009, a coleta de esgotos chegou à absurda situação de cair de 59,3% para 59,1%. Nas áreas rurais, a taxa de atendimento chega a ser menor do que países devastados por guerras, como Timor Leste e Afeganistão. Além dos investimentos serem baixos, sua evolução é praticamente nula. Entre 1999 e 2009, se mantiveram na faixa de R\$ 4 bilhões e R\$ 6 bilhões anuais

Figura 2 – Percentual da população brasileira com acesso à água e esgoto

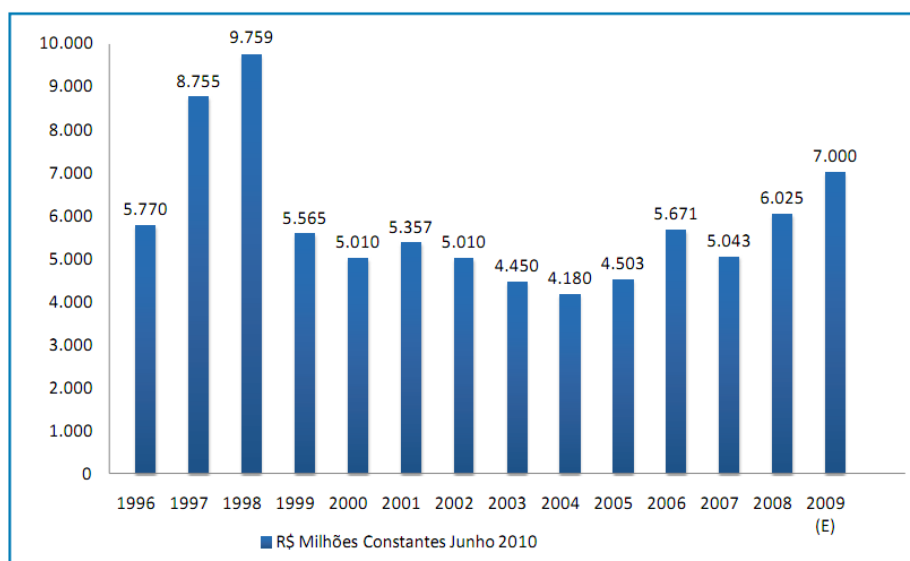


(fonte: INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA¹, 2009
apud OLIVEIRA et al., 2011)

Para que se chegue à universalização do saneamento no Brasil, duas frentes de ações devem ser abertas (OLIVEIRA et al., 2011). Uma é aumentar os investimentos, que estão em patamares muito baixos, como pode-se ver na figura 3 (os valores correspondentes a 2009 são estimativas), outra é conseguir que esses investimentos sejam usados de forma eficiente.

¹ INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios**. Rio de Janeiro, 2009.

Figura 3 – Investimentos em saneamento no Brasil (1996-2008)



(fonte: BRASIL², 2009 apud OLIVEIRA et al., 2011)

Como forma de melhorar a eficiência no uso dos recursos destinados ao saneamento básico, a implementação de sistemas unitários de esgotamento sanitário pode ter papel importante. O uso de sistemas separadores absolutos, que sejam subproveitados, representa uso ineficiente de recursos públicos. Pinto e Cavassola (2011) afirmam que, no Rio Grande do Sul, verifica-se a existência de sistemas separadores nos quais a capacidade instalada é muito maior que a demanda, pois na prática as ligações das economias à rede não acontecem. As ETE operam com capacidade ociosa, os benefícios ambientais não ocorrem e o custo é muito alto. A poluição difusa, muitas vezes não prevista no projeto, pode deter carga poluidora maior que a do próprio esgoto sanitário.

3.2 SISTEMAS DE ESGOTOS

Segundo definição de Tsutiya e Alem Sobrinho (2000), em sua moderna concepção, entende-se por sistema de esgotos o conjunto de tubulações e órgão acessórios que tem por finalidade coletar e transportar águas residuárias para um destino final, usualmente um corpo hídrico receptor, passando ou não por algum tipo de tratamento. A presente seção abordará os diferentes sistemas de esgotos, suas características e parâmetros de projeto, fazendo antes pequeno relato histórico de sua evolução através dos tempos.

² BRASIL. Ministério das Cidades. Sistema nacional de informações sobre saneamento. **Diagnóstico dos serviços de água e esgoto**. Brasília, DF, 2009.

3.2.1 Breve histórico

Tsutiya e Bueno (2004) consideram que o primeiro sistema de esgoto considerado como tal foi a Cloaca Máxima, que recebia esgotos domésticos da região do Fórum Romano, na antiga Roma. Na Europa medieval, usavam-se drenos semelhantes aos dos romanos, mas com a diferença de que não se podiam lançar excrementos humanos na rede de coleta, os quais eram dispostos na rua, ocasionando sérios problemas de saúde pública.

Nos séculos XVI e XVII essa prática ainda persistia, pois de acordo com Hammer (1979), os sistemas de drenagem serviam apenas para afastar águas pluviais, para que não ocorressem inundações nas áreas edificadas. As águas residuárias oriundas das residências eram geralmente jogadas na rua, criando condições sanitárias deploráveis.

Tsutiya e Alem Sobrinho (2000) informam que, durante o século XVIII, houve a popularização da privada com descarga hídrica e iniciou-se a produção em larga escala de tubulações de ferro fundido. Esses fatores elevaram significativamente o consumo de água e consequentemente a geração de águas residuais. Os problemas com disposição de esgotos agravaram-se, levando as autoridades a prestarem uma maior atenção ao problema de coleta e afastamento de esgotos domésticos.

No início do século XIX, os primeiros sistemas de esgotos, localizados na Europa e nos Estados Unidos de América, serviam apenas para drenagem de águas pluviais. Em Londres, por volta de 1815, autorizou-se o despejo de esgotos sanitários nas galerias pluviais, sendo que em 1847 essa prática se tornou compulsória (HAMMER, 1979). O maior avanço até então em projetos de sistemas de esgotos ocorreu na Alemanha, em 1842. Depois de um incêndio destruir parte da cidade Hamburgo, pela primeira vez na história um sistema de coleta e transporte de efluentes foi projetado previamente à urbanização de determinada área. O sistema recebia águas pluviais, industriais e domésticas. Foi o primeiro sistema unitário, no sentido atual da expressão, de que se tem notícia.

Nos Estados Unidos, em 1879, quando da implantação do sistema de esgotos de Memphis, concluiu-se que seria melhor, devido às características hidrológicas da região, separar a rede de coleta de esgoto sanitário da de águas pluviais. Este sistema recebeu o nome de separador absoluto, e tem sido utilizado como o principal modelo de coleta e transporte de esgotos até os dias de hoje (TSUTIYA; ALEM SOBRINHO, 2000).

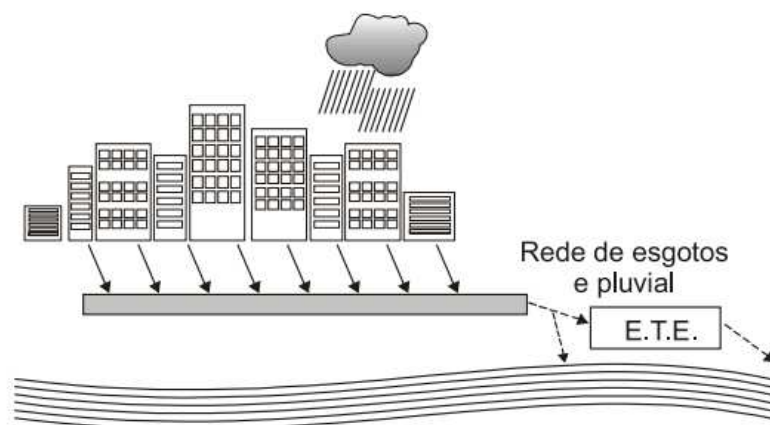
3.2.2 Tipos de sistemas de esgoto

Os sistemas de esgotos podem ser de três tipos: combinado, separador absoluto e separador parcial (TSUTIYA; BUENO, 2004). De acordo com Pinto e Cavassola (2011), na prática, são utilizados dois sistemas: o separador e o unitário. A seguir, faz-se uma descrição dos três sistemas, dando-se ênfase maior ao unitário e ao separador absoluto.

3.2.2.1 Sistema combinado

Também chamado de sistema unitário ou sistema misto, é aquele em que esgoto sanitário, as águas de infiltração e as pluviais são transportados pela mesma rede de canalizações. O sistema é representado na figura 4. Se for previsto o tratamento da totalidade dos efluentes que chegam à ETE (incluindo as contribuições pluviais), o processo se torna extremamente oneroso, pois exige a construção de grandes sedimentadores para atender a demanda de vazão, enquanto que o tratamento secundário apresenta diferentes graus de diluição, o que também é prejudicial (TSUTIYA; ALEM SOBRINHO, 2000).

Figura 4 – Representação do sistema combinado

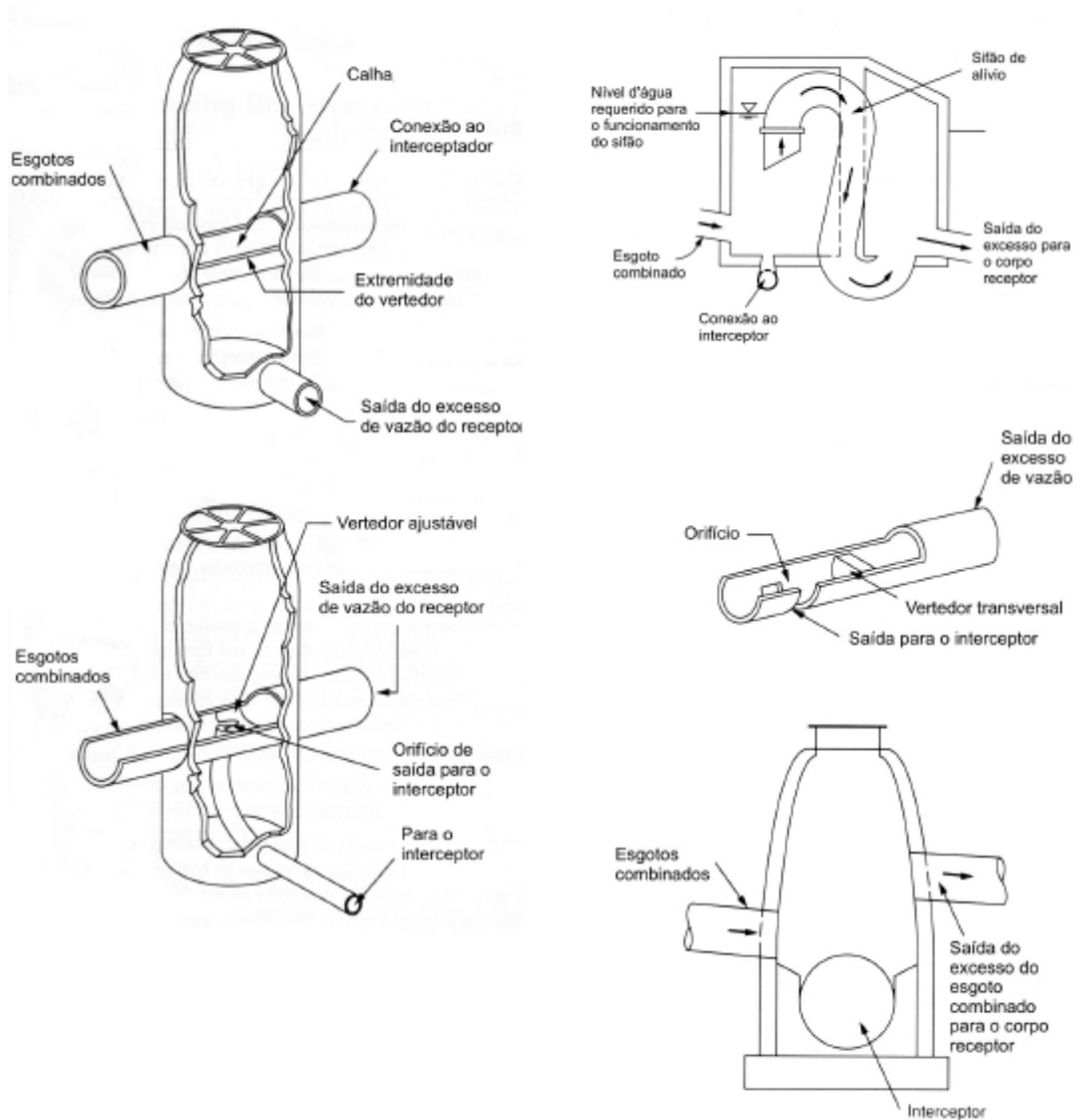


(fonte: TSUTIYA; BUENO, 2004)

Porém, uma alternativa seria dimensionar as ETE para atender as vazões do esgoto sanitário e as vazões pluviais de tempo seco, sendo que nos períodos de chuva, quando as vazões aumentam drasticamente, faz-se uso de estruturas de regulação e desvio de águas pluviais. Existem diversos tipos dessas estruturas (BENETTI; GEHLING, 2004): vertedor lateral, vertedor transversal, vertedor ajustável, regulador de saída elevado e sifão de alívio, entre outros (figura 5). O excesso de esgotos desviados pela estrutura é encaminhado para o curso

d'água mais próximo. Se a cota na saída da canalização for inferior ao nível d'água percebido por ocasião de cheias, deve-se instalar uma comporta que impeça a entrada de água do manancial para a rede. Esta permite apenas fluxo no sentido rede de esgotos-corpo d'água.

Figura 5- Estruturas de regulação e desvio



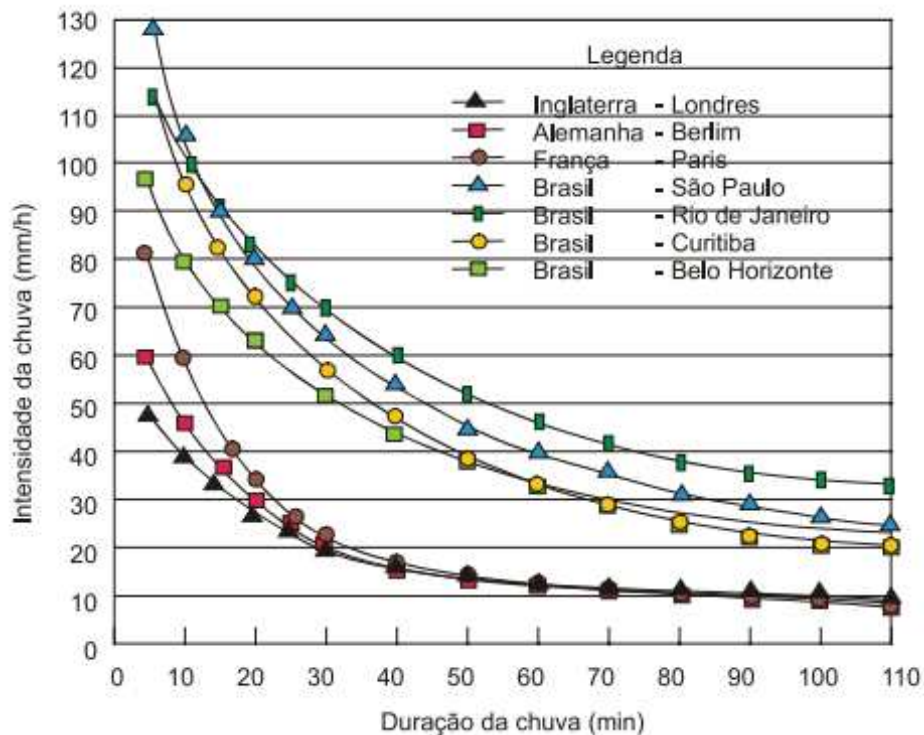
(fonte: METCALF & EDDY, INC³, 1991 apud BENETTI; GEHLING, 2004)

O *by-pass* também pode ser considerado como estrutura de regulação e desvio, e consiste em um extravasador instalado a montante da ETE. A utilização dessas estruturas se faz necessária devido ao fato de o sistema unitário ter sido desenvolvido em países com baixo índice pluviométrico, notadamente da América do Norte e da Europa. Como o Brasil detém um

³ METCALF & EDDY, INC. **Wastewater engineering**: treatment, disposal and reuse. 3. ed. New York: McGraw-Hill, 2003.

regime pluvial em torno de três vezes mais intenso, os picos de vazões em períodos de chuva são consideravelmente maiores que os encontrados naqueles países, como se verifica na figura 6. Extravasar o excedente correspondente aos períodos chuvosos se torna necessário, caso contrário os custos das estações de tratamento se tornariam proibitivos (TSUTIYA; BUENO, 2004).

Figura 6 – Comparação entre intensidade de chuvas em cidades europeias e brasileiras



(fonte: TSUTIYA; BUENO, 2004)

Na Europa, na Ásia e na América do Norte o uso de sistema unitário é comum. Nos momentos em que não está chovendo, trata-se o esgoto sanitário e o pluvial, que nesses momentos conta com vazões pequenas. Quando chove e as vazões se tornam muito altas, diluindo o esgoto sanitário, utiliza-se o sistema de *by-pass*, que permite que o efluente seja diretamente lançado no corpo receptor (PINTO; CAVASSOLA, 2011). A tabela 1 apresenta as vazões usuais que chegam às estações de tratamento em alguns países europeus, em termos das respectivas vazões de tempo seco.

Tabela 1 – Vazões afluentes a estações de tratamento de esgotos europeias

País	Vazões máximas
Bélgica	2,5 x QMPS
Dinamarca	8-10 x QMPS
França	4-6 x QMPS
Alemanha	7 x QMPS
Grécia	3-6 x QMPS
Irlanda	6 x QMPS
Itália	3-5 x QMPS
Portugal	6 x QMPS
Espanha	3-5 x QMPS
Inglaterra	6 x QMPS

QMPS = Vazão Máxima de Período Seco

(fonte: TSUTIYA; BUENO, 2004)

Segundo Tucci (2005), o dimensionamento da rede coletora, no sistema unitário, faz-se em função das vazões do escoamento pluvial de período de chuva e da vazão de esgoto sanitário. A vazão que servirá de base ao projeto da ETE, definida em função da qualidade esperada do efluente que será lançado no corpo receptor, leva em consideração a vazão sanitária, usualmente adotada como 180 L/dia e um fator adimensional que introduz a vazão inicial de água pluvial encaminhada à ETE, denominada *first flush*.

Segundo Benetti e Gehling (2004), o *first flush* ou **primeira lavagem**, é um aumento na concentração de sólidos suspensos e outros poluentes no esgoto combinado nos primeiros momentos de chuvas intensas. Isso ocorre pelo carreamento de material depositado na superfície urbana e no interior dos condutos, ocasionado pela lavagem que o escoamento superficial das águas de chuva promove. Alguns fatores que contribuem para o efeito são: acúmulo de material sobre a superfície; intensidade e duração da chuva; frequência de limpeza e declividade dos condutos, etc.

Um inconveniente do sistema unitário é o mau cheiro que pode se originar nos pontos de coleta de águas pluviais. Segundo Pinto e Cavassola (2011), para evitarem-se problemas de

mau cheiro no sistema unitário, deve-se prever bocas de lobo sifonadas e limpeza anual das fossas sépticas.

Pinto e Cavassola (2011, p. 28) veem ainda vantagens econômicas na utilização do sistema unitário, como se depreende da seguinte afirmação:

A utilização de sistemas coletores unitários existentes poderá viabilizar economicamente inúmeros sistemas de esgotos, além de evitar a abertura de todas as ruas de uma cidade para implantação desta nova rede, o que causa, invariavelmente, um enorme transtorno ao poder público.

Segundo Bernardes e Soares (2004), a vazão característica dos esgotos combinados pode ser considerada, para efeitos de dimensionamento dos condutos, como composta pela parcela coletada de águas pluviais e esgotos sanitários, através da seguinte expressão:

$$Q_t = Q_e + Q_p \quad \text{(equação 1)}$$

Onde:

Q_t = vazão de esgotos combinados, em m^3/h ;

Q_e = vazão de esgotos sanitários, em m^3/h ;

Q_p = vazão de águas pluviais, em m^3/h .

3.2.2.2 Sistema separador absoluto

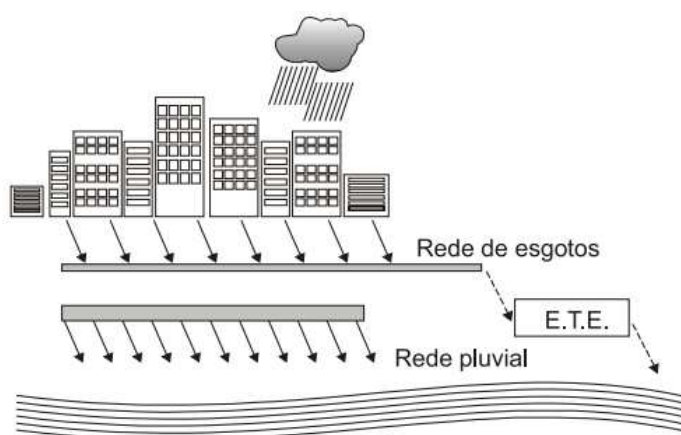
No sistema separador absoluto, o esgoto sanitário é totalmente separado das águas pluviais. Por uma rede coletora veiculam os esgotos domésticos, industriais e as águas de infiltração. Por outra, totalmente independente, são transportadas as águas pluviais. O sistema é representado na figura 7. No Brasil, é o sistema predominante, pois é o exigido tradicionalmente por lei. Tsutiya e Alem Sobrinho (2000, p. 4) ponderam que:

O sistema separador absoluto [...] oferece reconhecidas vantagens:

- a) custa menos, pelo fato de empregar tubos mais baratos, de fabricação industrial (manilhas, tubos de PVC etc.);
- b) oferece mais flexibilidade para a execução das etapas, de acordo com as prioridades (prioridade maior para a rede sanitária);

- c) reduz consideravelmente o custo do afastamento das águas pluviais, pelo fato de permitir o seu lançamento no curso d'água mais próximo, sem a necessidade de tratamento;
- d) não se condiciona e nem se obriga a pavimentação das vias públicas;
- e) reduz muito a extensão das canalizações de grande diâmetro em uma cidade, pelo fato de não exigir a construção de galerias em todas as ruas;
- f) não prejudica a depuração dos esgotos sanitários.

Figura 7 – Representação do sistema separador absoluto



(fonte: TSUTIYA; BUENO, 2004)

Como se percebe, do ponto de vista técnico, o sistema separador absoluto mostra-se claramente uma evolução em relação ao sistema unitário. O sistema unitário pode ser usado como um sistema viabilizador do separador absoluto, haja vista que os custos de implantação são reduzidos pela não execução imediata de uma nova rede de coleta de esgotos, no caso de existirem canalizações de coleta pluvial que possam ser usadas para a coleta de esgoto sanitário.

O sistema separador absoluto, para seu pleno funcionamento, exige fiscalização eficiente de suas redes, para evitar que vazões não previstas cheguem à rede sanitária, principalmente, oriundas de coletores pluviais instalados nos pátios das residências. Notadamente, no Brasil, tal fiscalização é praticamente nula (TSUTIYA; ALEM SOBRINHO, 2000).

No Brasil, segundo Tsutiya e Bueno (2004), o sistema separador absoluto passou a ser utilizado por orientação de Saturnino de Brito (1864–1929), proeminente sanitarista

brasileiro. A cidade de São Paulo adotou o sistema já em 1912, em substituição ao sistema separador parcial.

Tsutiya e Bueno (2004) trazem a informação de que, mesmo que no Brasil tenha-se adotado o sistema separador absoluto como regra para a implantação de sistemas de esgotos, na prática o que ocorre em grande parte das cidades brasileiras que o utilizam é o sistema funcionando como separador parcial (sistema tratado a seguir).

Esse fato acaba não justificando a obrigatoriedade do sistema separador absoluto, visto que as vantagens que tal sistema deveria proporcionar, como o tratamento apenas das vazões de esgoto sanitário, via de regra, muito menores que as vazões pluviais, não são alcançadas.

Para demonstrar as contribuições pluviais nas redes de esgotos, Tsutiya e Bueno (2004) reproduzem as pesquisas efetuadas em sistemas de esgotos operados pela Companhia de Saneamento Básico de São Paulo (Sabesp), implementadas em oito bacias, no ano de 1988, nas quais foram avaliados os postos de monitoramento de vazões. A taxa de contribuição pluvial nas bacias estudadas, na forma de escoamento superficial, está explicitada na tabela 2, enquanto que a contribuição de esgoto e águas pluviais que efetivamente chegaram à rede de esgotos é apresentada na figura 8.

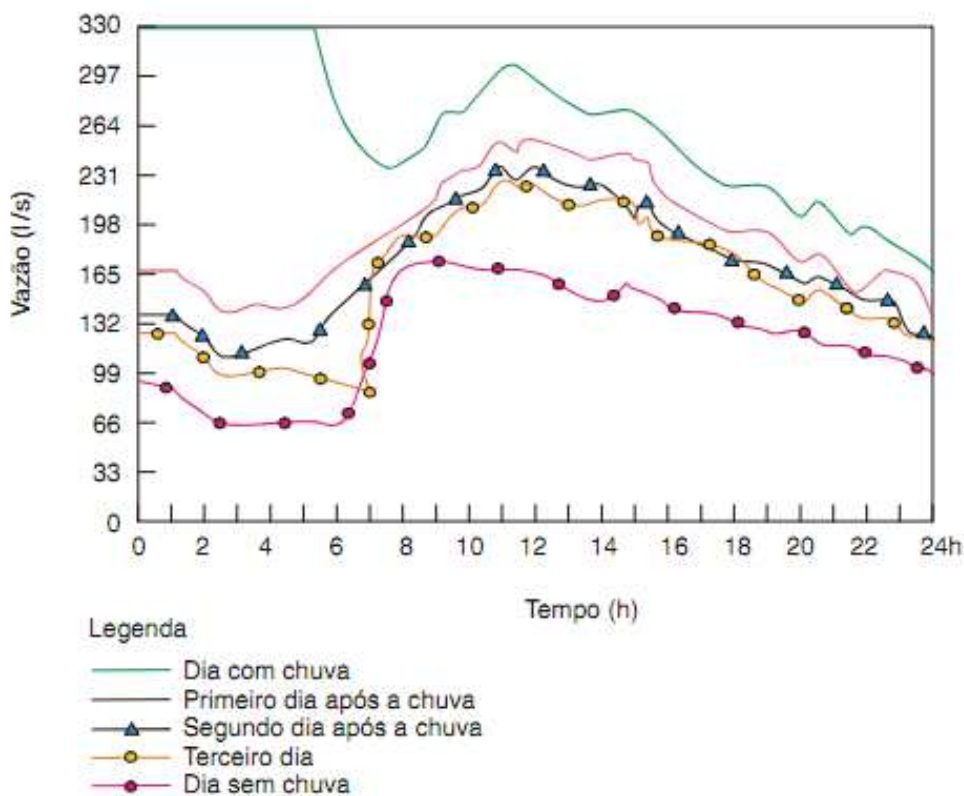
Tabela 2 – Contribuição pluvial em bacias de São Paulo

Ponto de controle	Bacia	Taxa de contribuição pluvial (L/s.km)
6601	PI 20 - Traição	2,72
6602	PI 20 - Traição	6,88
6603	PI 20 - Traição	1,94
6701	PI 18 - Uberaba	4,06
6702	PI 18 - Uberaba	1,57
6703	PI 18 - Uberaba	12,01

(fonte: ALONSO⁴ et al., 1990 apud TSUTIYA; BUENO, 2004)

⁴ ALONSO, L. R. et al. Sewage system improvement by operational parameters research, **Water Environment & Technology**, v. 2, n. 12, Dec. 1990.

Figura 8 – Contribuições de esgotos e águas pluviais nas bacias de Traição e Uberaba, São Paulo



(fonte: ALONSO⁵ et al, 1990 apud TSUTIYA; BUENO, 2004)

Pode-se perceber pelos dados apresentados que, nos dias de chuva, as vazões que chegaram à rede de esgotos aumentaram proporcionalmente ao volume escoado superficialmente. Isso evidencia o não isolamento da rede de esgotos e, portanto, o não funcionamento da rede separadora.

3.2.2.3 Sistema separador parcial

No sistema separador parcial, uma parcela das águas de chuva, aquela proveniente dos pátios e dos telhados das residências, veicula juntamente com o esgoto sanitário na mesma rede de tubulações, enquanto que as galerias pluviais recebem as contribuições de chuva provenientes do sistema de drenagem das vias públicas (TSUTIYA; ALEM SOBRINHO, 2000). Assim, Tsutiya e Bueno (2004) salientam que nesse sistema também são duas as redes coletoras, como no separador absoluto.

⁵ ALONSO, L. R. et al., Sewage system improvement by operational parameters research, **Water Environment & Technology**, v. 2, n. 12, Dec. 1990.

3.2.3 Concepção de sistemas de esgotos

A concepção de sistemas de esgotos consiste no conjunto de estudos e conclusões a respeito das diretrizes, definições e parâmetros necessários para a caracterização do sistema a projetar. A concepção é elaborada em fase inicial de projeto e tem como objetivos, segundo Tsutiya e Alem Sobrinho (2000, p. 5):

- a) identificação e quantificação de todos os fatores intervenientes com o sistema de esgotos;
- b) diagnóstico do sistema existente, considerando a situação atual e futura;
- c) estabelecimento de todos os parâmetros básicos de projeto;
- d) pré-dimensionamento das unidades dos sistemas, para as alternativas selecionadas;
- e) escolha da alternativa mais adequada mediante a comparação técnica, econômica e ambiental, entre as alternativas;
- f) estabelecimento das diretrizes gerais de projeto e estimativa das quantidades de serviços que devem ser executados na fase de projeto.

As partes que devem ser abordadas na concepção de sistemas de esgotos são as seguintes (TSUTIYA; ALEM SOBRINHO, 2000):

- a) rede coletora: canalizações que coletam e transportam os esgotos das residências, as quais se ligam diretamente à rede através do coletor predial. É composta de coletores tronco e coletores secundários, sendo que estes últimos são ligados aos coletores prediais. O coletor tronco é o coletor principal da bacia de drenagem, recebendo as contribuições dos coletores secundários;
- b) interceptor: recebe coletores ao longo de seu comprimento. Não recebe ligações prediais;
- c) emissário: não recebe nenhuma contribuição em marcha, apenas encaminhando os efluentes a um destino final, seja ele uma ETE ou o corpo receptor;
- d) sifão invertido: sistema hidráulico destinado a transpor obstáculos, funcionando sob pressão;
- e) corpo de água receptor: corpo hídrico onde se lançam os esgotos;
- f) estação elevatória (EE): sistema de instalações destinadas a transportar os esgotos de uma cota mais baixa para outra mais alta;
- g) ETE, quando prevista: instalações concebidas para a depuração dos esgotos, antes de seu lançamento.

O conjunto de canalizações que compõem o sistema de esgotos deve ser projetado para funcionar como conduto livre. Faz-se exceção aos sifões invertidos e à linha de recalque de

estações elevatórias, que funcionam como condutos forçados, e aos emissários, que podem funcionar como condutos forçados ou livres.

Segundo Tsutiya e Alem Sobrinho (2000), para o projeto de sistemas de esgotos sanitários, as normas que devem ser seguidas são:

- a) NBR 9648/86 – Estudo de Concepção de Sistemas de Esgoto Sanitário: estabelece as condições gerais para o estudo de concepção de sistemas de esgoto, determinando também a terminologia que deverá ser utilizada;
- b) NBR 9649/89 – Projeto de Redes Coletoras de Esgoto Sanitário: aborda a terminologia e os critérios adotados para a elaboração de projeto hidráulico sanitário de redes coletoras de esgoto;
- c) NB 566/89 – Projeto de Interceptores de Esgoto Sanitário: estabelece critérios para projeto de interceptores de grande porte;
- d) NB 569/89 – Projeto de Estações Elevatórias de Esgoto Sanitário: estabelece os critérios para o projeto de estações elevatórias que fazem uso de bombas centrífugas;
- e) NB 570/89 - Projeto de Estações de Tratamento de Esgoto Sanitário: estabelece as condições para o projeto de estações de tratamento.

O estudo da concepção de sistemas de esgotos sanitários pressupõe uma série de atividades, sendo as principais (TSUTIYA; ALEM SOBRINHO, 2000):

- a) a coleta de dados da comunidade, como localidade, infraestrutura existente, cadastro atualizado dos sistemas de abastecimento de água e de esgotos sanitários, condições sanitárias atuais, etc.;
- b) análise do sistema de esgoto sanitário existente, identificando todos seus elementos, baseada no cadastro e informações existentes;
- c) estudos demográficos e de uso e ocupação do solo, com atenção aos dados censitários, à pesquisa de campo, ao zoneamento da cidade, ao plano diretor, à projeção populacional;
- d) o cálculo das contribuições domésticas, industrial e de infiltração;
- e) a formulação criteriosa das alternativas de concepção, com a descrição detalhada dos componentes do sistema, levando-se em conta, em cada uma delas, os impactos ambientais e legais;
- f) o estudo dos corpos receptores, com o levantamento das vazões, cota de inundação, usos a montante e a jusante, atuais e futuros;
- g) o pré-dimensionamento das unidades dos sistemas desenvolvidos para a escolha da alternativa, englobando a rede coletora, o coletor tronco, o interceptor, o emissário, as estações elevatórias e a ETE, quando houver;
- h) a estimativa de custos das alternativas estudadas;

- i) a comparação técnico-econômica e ambiental das alternativas, quando deve-se apresentar as vantagens e desvantagens de cada uma das alternativas, apresentando-se também medidas mitigadoras e/ou compensatórias.

3.2.3.1 Concepção da rede coletora de esgotos

No estudo de concepção relativo à rede coletora, as principais atividades são (TSUTIYA; ALEM SOBRINHO, 2000):

- a) o estudo da população, delimitando-se em planta os setores com diferentes densidades demográficas;
- b) a adoção de critérios para a previsão de vazões, levando-se em conta a quota de consumo por habitante por dia, a taxa de retorno, coeficientes de dia e hora de maior consumo e as vazões de infiltração;
- c) a estimativa das vazões dos grandes contribuintes, como indústrias, hospitais, grandes edifícios em geral, etc.;
- d) a divisão da cidade em bacias ou sub-bacias de contribuição;
- e) a definição do traçado e o pré-dimensionamento dos coletores tronco;
- f) a quantificação preliminar dos serviços a executar, sendo que para os coletores de esgotos, a extensão e os diversos diâmetros serão pré-dimensionados com base nas vazões de esgotos.

A apresentação dos trabalhos será feita em memorial descritivo, no qual se reúnem todos os critérios de cálculo utilizados, a descrição do sistema, os cálculos hidráulicos, etc. Também deve-se fornecer planta altimétrica da cidade, em escala 1:5000 ou 1:10000, com curvas de nível de 5 em 5 metros, com a setorização das diferentes densidades demográficas, a apresentação das bacias e sub-bacias e o traçado dos coletores tronco com seus diâmetros e extensões. Além disso, deve-se apresentar uma pré-estimativa das quantidades de serviços e custos (TSUTIYA; ALEM SOBRINHO, 2000).

Para rede coletora secundária, a concepção de seu traçado é apresentada normalmente na fase de projeto propriamente dita. Para o estudo de seu traçado, necessita-se de plantas topográficas planialtimétricas, nas escalas 1:2000 ou 1:1000, com o preciso nivelamento geométrico dos pontos nos quais serão projetados os órgãos acessórios, localizando-se também as tubulações, unindo-se os órgãos acessórios com a indicação do sentido de escoamento (TSUTIYA; ALEM SOBRINHO, 2000).

Ainda segundo Tsutiya e Alem Sobrinho (2000), a concepção deve-se prever o aproveitamento das canalizações de coleta de esgotos existentes, as quais são verificadas na

análise do cadastro, que deverá conter as seguintes informações: localização das tubulações e dos órgãos acessórios, sentido de escoamento, diâmetro de cada trecho, profundidades a montante e a jusante e cotas dos tampões de poços de visita e outros órgãos acessórios. Deve-se levar em conta o plano diretor de urbanização, para que a rede coletora esteja capacitada a receber com o mínimo de modificações, os esgotos no fim do período de projeto.

3.2.3.1.1 Projeção de população

De fundamental importância para projetos de saneamento, estão as vazões a esgotar. No caso de esgotos sanitários, esta depende basicamente de dois parâmetros: a população atendida e o consumo *per capita* de água. Segundo Wartchow e Gehling (trabalho não publicado)⁶ para a primeira, deve-se projetar para início e fim de plano, sendo seu horizonte de 30 anos. Para tal, utilizam-se métodos de fácil aplicação, que levam em conta o porte dos municípios e a tendência de crescimento verificada, entre os quais pode-se citar:

- a) método do crescimento aritmético: adequado para comunidades de pequeníssimo porte. Na falta de dados, pode-se utilizar dados de comunidades vizinhas. Suas taxas de crescimento geralmente situam-se entre 2,0% e 5% ao ano;
- b) método do crescimento geométrico: adequado para cidades de médio porte ou para aquelas onde observa-se crescimento muito acentuado. Excetuam-se no Brasil as capitais de estados;
- c) método da curva logística: adequado para cidades de grande porte ou para aquelas em que a população está tendendo à saturação.

3.2.3.1.2 Traçado das redes coletoras

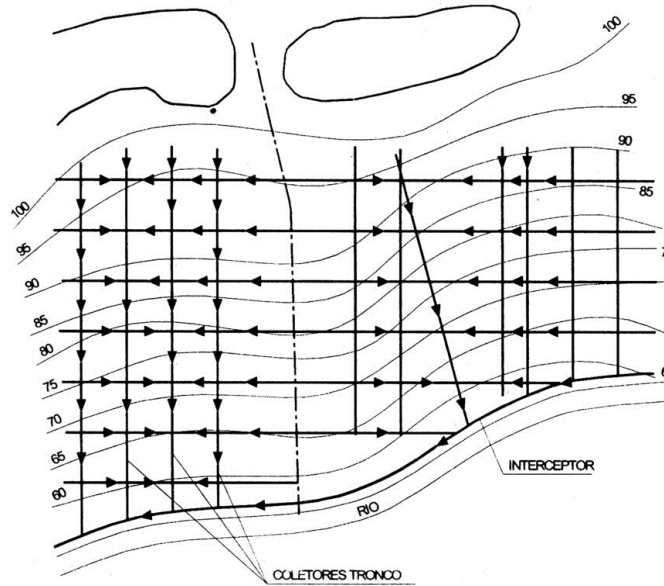
As redes de esgotos têm seus traçados relacionados com a topografia da cidade, podendo ter os seguintes tipos de traçados (TSUTIYA; ALEM SOBRINHO, 2000):

- a) perpendicular: adequado a cidades circundadas por cursos d'água, compõe-se de vários coletores tronco independentes perpendiculares ao curso d'água. Os efluentes são levados ao curso de água por um interceptor marginal, como pode-se verificar na figura 9;
- b) leque: ideal para terrenos acidentados, tem seus coletores tronco assentados no fundo de vales ou através da parte baixa das bacias. Os coletores secundários chegam a ele em forma de leque, como pode-se verificar na figura 10;
- c) radial ou distrital: desenvolvido para cidades planas, divide-se a cidades em setores e em cada um deles criam-se pontos baixos, para onde convergem os

⁶ Apostila da disciplina Sistemas de Água e Esgoto do curso de Engenharia Civil da UFRGS, Estudo de concepção de projetos, de Dieter Wartchow e Gino Gehling, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2007.

esgotos. Os esgotos então são recalcados para outro setor ou para o destino final, como se pode verificar na figura 11.

Figura 9 – Traçado do tipo perpendicular



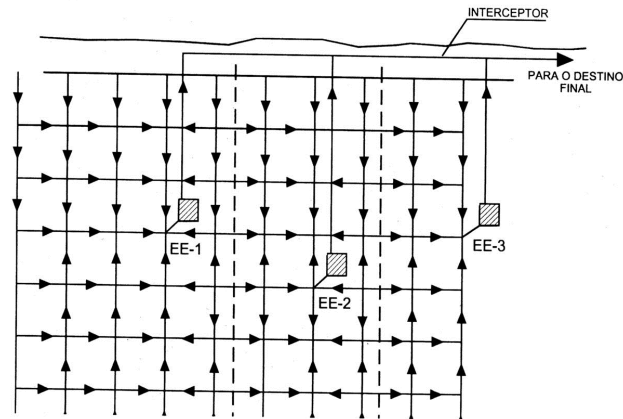
(fonte: TSUTIYA; ALEM SOBRINHO, 2000)

Figura 10 – Traçado tipo leque



(fonte: TSUIYA; ALEM SOBRINHO, 2000)

Figura 11 – Traçado do tipo radial

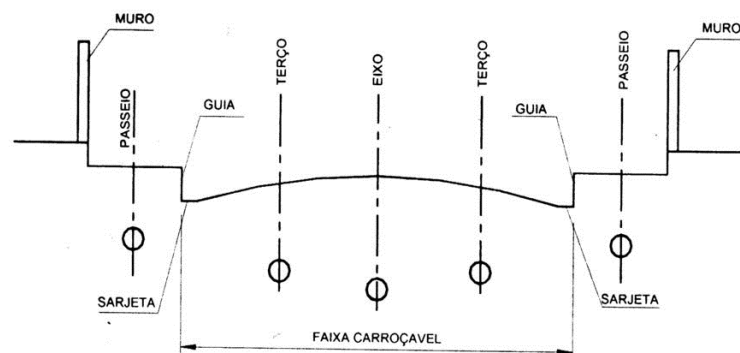


(fonte: TSUTIYA; ALEM SOBRINHO, 2000)

Na concepção do traçado das redes coletoras, deve-se levar em conta as profundidades máximas e mínimas, em função das condições de escavação do terreno. Deve-se conhecer as condições do subsolo, para detectar-se a presença de rochas, solos de baixa resistência, lençol freático e outros problemas. Quando assentados nos passeios, a profundidade máxima dos coletores deve ser de 2,5 metros, e a mínima de 0,65 metros. No leito carroçável e nos terços, as profundidades máximas serão definidas em projeto, enquanto que o mínimo admitido é de 0,90 metros (TSUTIYA; ALEM SOBRINHO, 2000).

As redes coletoras podem ser assentadas em cinco posições diferentes, segundo Tsutiya e Alem Sobrinho (2000), como está representado na figura 12: eixo, terço par, terço ímpar, passeio par e passeio ímpar. Par ou ímpar refere-se ao lado de numeração par ou ímpar das residências da rua.

Figura 12 – Posições dos coletores na via pública



(fonte: TSUTIYA; ALEM SOBRINHO, 2000)

Pode-se assentar uma única tubulação na via pública, sendo chamada de rede simples. Se forem assentadas duas tubulações, chama-se de rede dupla. A rede simples é utilizada quando não há ocorrência de nenhum dos casos que determinem a necessidade de rede dupla. A rede dupla se faz necessária quando da ocorrência de um dos seguintes casos: as vias apresentam tráfego intenso; as vias têm largura superior a 14 metros (quando asfaltadas) ou 18 metros (ruas de terra); as vias apresentem algum empecilho ao assentamento das tubulações no leito carroçável (TSUTIYA; ALEM SOBRINHO, 2000).

3.2.3.1.3 Órgãos acessórios à rede coletora

Os órgãos acessórios à rede coletora existem para garantir o não entupimento das canalizações em seus pontos singulares, como curvas, pontos de afluência de tubulações, etc., possibilitando ainda o acesso de pessoas e equipamentos nesses pontos. Até algum tempo atrás, empregava-se largamente o poço de visitas, dispositivo composto de uma chaminé de acesso e de uma parte inferior chamada de balão. Devido a seu alto custo e à mecanização do processo de limpeza, esse dispositivo vem sendo substituído por outros mais simples e econômicos, que são (TSUTIYA; ALEM SOBRINHO, 2000): terminal de limpeza, dispositivo que permite a introdução de equipamentos de limpeza; caixa de passagem, que consiste em câmaras sem acesso instaladas em curvas e mudanças de declividade; tubo de inspeção e limpeza, dispositivo que permite a inspeção e introdução de equipamentos de limpeza, mas que não é visitável.

3.2.3.1.4 Interceptores

Após a definição do traçado das redes coletoras e do ponto de lançamento, procede-se à concepção dos interceptores. Segundo Tsutiya e Alem Sobrinho (2000), geralmente os fundos de vales, nos quais passam os interceptores, ficam em locais não urbanizados, com uma faixa variando entre 4 e 8 metros, que deverá ficar à disposição dos serviços de esgotos. Essa área normalmente provém de desapropriações de terrenos particulares, então, se possível, lotes com menor valor devem ter preferência de escolha.

3.2.3.1.5 Emissários

Os emissários se assemelham aos interceptores, com a diferença de não receber contribuições em marcha ao longo de seu trajeto (TSUTIYA; ALEM SOBRINHO, 2000).

3.2.4 Dimensionamento de coletores de esgotos

O dimensionamento dos coletores de esgotos faz-se de maneira distinta para esgotos sanitários e esgotos pluviais. A metodologia aplicada para cada tipo é descrita a seguir. Para o esgoto sanitário será apresentada a metodologia aplicada à determinação da vazão de projeto, suficiente para o escopo do trabalho.

3.2.4.1 Coletores de esgoto sanitário

A vazão de esgotos sanitários (Q_e) pode ser determinada através da seguinte expressão (trabalho não publicado)⁷:

$$Q_e = k_1 k_2 P q C / 86400 \quad (\text{equação 2})$$

Onde:

Q_e = vazão de esgotos sanitários, em L/s;

k_1 = coeficiente de máxima vazão diária: relação entre a máxima vazão diária verificada no ano e a vazão média diária anual, adimensional;

k_2 = coeficiente de máxima vazão horária: relação entre a maior a maior vazão observada em um dia e a vazão média horária do mesmo dia, adimensional;

P = população atendida, em habitantes;

q = consumo *per capita* de água, em L/hab.dia;

C = coeficiente de retorno de águas servidas, adimensional.

A NBR 9.649 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1986) recomenda, na falta de dados obtidos por meio de medições, valores de $k_1 = 1,2$ e $k_2 = 1,5$, enquanto que o consumo per capita pode ser considerado de 180 L/hab.dia. O coeficiente de retorno usualmente adotado é de 0,8.

Bernardes e Soares (2004) incluem ainda as águas de infiltração no dimensionamento. A NBR 9.649 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1986) preconiza que essa

⁷ Apostila da disciplina Sistemas de Água e Esgoto do curso de Engenharia Civil da UFRGS, Sistemas de esgotos sanitários, de Dieter Wartchow e Gino Gehling, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2007.

taxa de infiltração deva situar-se entre 0,05 L/s.km e 1,0 L/s.km. Na falta de dados coletados em campo, 0,5 L/s.km é uma boa aproximação (trabalho não publicado)⁸.

3.2.4.2 Coletores de águas pluviais

O dimensionamento de coletores pluviais depende, entre outros fatores, diretamente do regime pluvial da localidade onde será instalado (BERNARDES; SOARES, 2004). Para a determinação de como o regime de chuvas afeta seu dimensionamento, a seguir faz-se alguns apontamentos sobre o escoamento superficial urbano, para depois descrever a metodologia de dimensionamento dos condutos.

3.2.4.2.1 Escoamento superficial urbano

O escoamento superficial em áreas urbanizadas é o principal parâmetro para o dimensionamento de galerias pluviais. Por sua vez, este é vinculado ao comportamento das precipitações chuvosas máximas na área de estudo. Segundo Teixeira (2010), necessita-se conhecer três grandezas associadas às precipitações máximas, para o dimensionamento de obras hidráulicas: sua intensidade, sua frequência e sua duração. As relações entre essas três grandezas são peculiares a cada localidade e sua determinação empírica deriva da análise de longas séries de dados coletados em pluviógrafos. Os resultados dessa análise podem ser apresentados através de gráficos, os quais se compõem de famílias de curvas, cada uma para um período de retorno específico. A essa família de curvas dá-se o nome de curvas IDF (Intensidade – Duração – Frequência). Em localidades onde não se dispõe de postos pluviográficos, mas que possua pluviômetros instalados, pode-se proceder ao Método de Bell para a determinação das curvas IDF. O método é explicado a seguir.

Quando se dispõe apenas de dados oriundo de pluviômetros, que apenas quantifica o volume precipitado em determinado período de tempo, usualmente um dia, e não apresenta a sua distribuição ao longo desse período, Bell ajustou, baseado em dados de diversos continentes, a seguinte equação (TEIXEIRA, 2010):

⁸ Apostila da disciplina Sistemas de Água e Esgoto do curso de Engenharia Civil da UFRGS, Sistemas de esgotos sanitários, de Dieter Wartchow e Gino Gehling, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2007.

$$P_T^t = (0,35 \ln T_r + 0,76) (0,54 t^{0,25} - 0,50) P_2^{60} \quad (\text{equação 3})$$

Onde:

P_T^t = precipitação para a duração t e tempo de retorno T , em mm;

t = é a duração da precipitação, em minutos, válida para $5 \leq t \leq 120$;

T_r = tempo de retorno, em anos, válido para $2 \leq T_r \leq 100$ anos.

A equação acima permite a estimativa de precipitação de duração t e tempo de retorno T_r , desde que se conheça a precipitação de duração de 60 minutos e tempo de retorno de 2 anos. Esta pode ser determinada com dados de séries curtas de pluviômetro instalado na região de análise, através da seguinte equação (TEIXEIRA, 2010):

$$P_2^{60} = 8,27 \cdot 10^{-3} M^{0,67} n^{0,83} \quad (\text{equação 4})$$

Onde:

M = média das precipitações máximas anuais com duração diária, em mm, válida para $1 \leq M \leq 114,3$;

n = média de dias de tormentas, válida para $1 \leq n \leq 80$.

Para a vazão de águas pluviais, Bernardes e Soares (2004) expõem que o volume de escoamento direto, ou seja, aquele gerado pela parcela de precipitação que escoar inicialmente pela superfície do solo, é o maior responsável pelas vazões de cheia, principalmente em bacias pequenas e urbanizadas. A análise do escoamento superficial permite a determinação da vazão pluvial máxima na bacia (Q_p). Para bacias pequenas, tal análise opera-se através do Método Racional, com a seguinte expressão:

$$Q_p = 0,278 C i A \quad (\text{equação 5})$$

Onde:

Q_p = vazão máxima, em m^3/s ;

C = coeficiente de escoamento superficial, adimensional;

i = intensidade de precipitação, em mm/h;

A = área da bacia, em km².

O coeficiente de escoamento (C) depende, segundo Tucci et al. (1995), das características do solo, tipo de ocupação, tempo de retorno, cobertura e intensidade de precipitação. Para tempos de retorno de cinco a dez anos, utiliza-se a tabela 3 (trabalho não publicado)⁹.

Tabela 3 – Coeficientes de escoamento para diferentes superfícies

Área comercial central	0,70 a 0,95
Área comercial em bairros	0,50 a 0,70
Área Residencial	
Residências isoladas	0,35 a 0,50
Unidades múltiplas (separadas)	0,40 a 0,60
Unidades Múltiplas (conjugadas)	0,60 a 0,75
Lotes com 2.000 m ou mais	0,30 a 0,45
Área com prédios de apartamentos	0,50 a 0,70
Área industrial leve	0,50 a 0,80
Área industrial pesada	0,60 a 0,90
Parques, cemitérios	0,10 a 0,25
Playgrounds	0,20 a 0,35
Pátios de estradas de ferro	0,20 a 0,40
Áreas sem melhoramentos	0,00 a 0,30

(fonte: trabalho não publicado¹⁰)

A intensidade de precipitação (BERNARDES; SOARES, 2004) é estimada considerando-se o tempo de concentração e o período de retorno. Quanto menor o tempo de concentração, maior a intensidade da precipitação. Para determinação do tempo de concentração, pode-se proceder

⁹ Apostila da disciplina Sistemas de Água e Esgoto do curso de Engenharia Civil da UFRGS, Esgotos pluviais, de Dieter Wartchow e Gino Gehling, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2007.

¹⁰ Idem.

à seguinte expressão, adequada para pequenas bacias urbanas (GERMANO¹¹ et al.,1998 apud BERNARDES; SOARES, 2004):

$$t_c = 5,32 L^{0,882} / A_i^{0,272} \quad (\text{equação 6})$$

Onde:

t_c = tempo de concentração, em minutos;

L = comprimento da bacia, em km;

A_i = área impermeável, em km².

Para determinação da área impermeável da bacia, Campana e Tucci (1994), propõem a seguinte relação entre densidade habitacional e a percentagem de áreas impermeabilizadas:

$$A_i / A = 0,00489 D_h \quad (\text{equação 7})$$

Onde:

A_i/A = percentual de área impermeável;

D_h = densidade habitacional, em hab/ha.

3.2.4.2.2 Metodologia de dimensionamento de galerias pluviais

Para o dimensionamento de galerias pluviais circulares, recomenda-se o recobrimento mínimo de 1,0 metro (trabalho não publicado)¹². Considerando-se que o tubo funcione à seção plena, quando da ocorrência da precipitação de projeto, chega-se à seguinte expressão para o diâmetro do coletor:

¹¹ GERMANO, A.; TUCCI, C.E.M.; SILVEIRA, A. L. L. Estimativa dos parâmetros do modelo IPH II para algumas bacias urbanas brasileiras. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Porto Alegre: ABRH, v. 3, n. 4, 1998, p. 89 – 101.

¹² Apostila da disciplina Sistemas de água e Esgoto do curso de Engenharia Civil da UFRGS, Esgotos pluviais, de Dieter Wartchow e Gino Gehling, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2007.

$$D = 1,5483 (Q / K I^{1/2})^{3/8} \quad (\text{equação 8})$$

Onde:

D = diâmetro do tubo, em metros;

Q = vazão afluyente ao tubo, em m³/s;

K = coeficiente de Strickler-Manning, adimensional;

I = inclinação do trecho, em m/m.

O coeficiente K adotado depende da rugosidade do material em que a tubulação foi confeccionada. Para tubos de concreto não alisado, a NBR 10.844 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989) fornece coeficiente de Manning = 0,013, que corresponde a um coeficiente de Strickler-Manning de 76,9.

3.2.5 Análise econômico-financeira de projetos

As estimativas de custos em obras de saneamento, em especial de sistemas de esgotamento sanitário, subdividem-se em obras de implantação imediata, de complementação de primeira etapa e de segunda etapa (TSUTIYA; ALEM SOBRINHO, 2000). Na estimativa de custos, devem ser apresentadas as planilhas orçamentárias, o memorial de cálculo e eventuais composições de custos de serviços e propostas de materiais e equipamentos, todos com data base definida.

Na comparação econômico-financeira das alternativas propostas, a definição da proposta mais econômica fica a cargo da entidade financiadora. No caso de obras de saneamento, a Caixa Econômica Federal é o maior financiador em operação no País (TSUTIYA; ALEM SOBRINHO, 2000).

Segundo Samanez (2002), quando da avaliação de um projeto de investimento ou valoração de um ativo real, são cinco as principais etapas do processo de avaliação, a saber:

- a) estimativa dos fluxos de caixa incrementais esperados para o projeto;
- b) avaliação do risco do projeto e determinação da taxa de desconto para o desconto dos fluxos de caixa esperados
- c) utilização de indicadores econômicos para avaliação de projeto;

- d) análise de limitações no modelo adotado e de custos intangíveis associados ao projeto;
- e) tomada de decisão.

Samanez (2002) ainda afirma que projetos de investimento são classificados segundo seu horizonte econômico. Por exemplo, de curto e longo prazo; sua natureza (projetos táticos e estratégicos, por exemplo); os tipos de incertezas envolvidos, que podem ser de origem técnica, econômica, estratégica e sua dependência em relação a outros projetos.

3.2.5.1 Juros compostos

Para a determinação da evolução de valores ao longo do tempo, onde os rendimentos sejam incorporados ao principal e passem também a gerar juros para o período seguinte, podemos fazer uso da equação (SAMANEZ, 2002):

$$S = P (1 + i)^n \quad (\text{equação 9})$$

Onde:

S = é o montante ao final de n períodos;

P = é o principal aplicado;

i = é a taxa de atualização do principal;

n = é o número de períodos de capitalização.

Ainda segundo o autor, o regime de atualização representado pela equação 9 chama-se regime de juros compostos, sendo o mais comum no dia-a-dia, no meio financeiro e no cálculo econômico. O momento em que os juros são incorporados ao principal e passam a participar da geração de rendimentos para o período seguinte chama-se capitalização. É indicado quando se pretende determinar o montante gerado por um principal aplicado uma única vez, no início do período de capitalização (como é o caso dos custos de implantação). Também pode ser usado quando existem fluxos de caixa periódicos acrescentados ao principal (caso do caixa arrecadado com a cobrança da taxa de tratamento de esgotos), bastando, neste caso, somar o montante do período anterior com o caixa arrecadado no período e submeter o total ao regime de juros compostos, assim sucessivamente.

3.2.5.2 Indexadores econômicos

Para que se possa criar um cenário mais fidedigno para a execução da rede separadora, é necessário conhecer também as flutuações dos custos ao longo do tempo. Para a evolução dos custos de implantação, será utilizado o INCC (Índice Nacional de Custos da Construção). Para a evolução da taxa de tratamento e dos custos operacionais da ETE, o mais indicado parece ser o IGP-M (Índice Geral de Preços: mercado), pois este é utilizado para a indexação de tarifas de serviços básicos (PORTAL BRASIL, 2012). Os recursos gerados pela cobrança das taxas de tratamento, se resultarem em fluxo de caixa positivo, abatidos os custos operacionais da ETE, serão acumulados e poderão ser investidos enquanto não somarem o montante necessário para a execução do restante do sistema. Na tabela 4, apresentam-se o INCC e o IGP-M com seus acumulados anuais para o período de janeiro de 2002 a abril de 2012. Para a estimativa do comportamento dos índices no futuro, será adotada a média aritmética dos acumulados anuais entre 2001 e 2011. Para o INCC, esta fica em 8,69%. Para o IGP-M, em 8,55%. Para saldo de caixa do sistema, assumimos que este possa ser aplicado à uma taxa igual ao INCC, o que mantém coerência com os custos de execução e é uma perspectiva extremamente conservadora, haja visto que investimentos de longo prazo e de baixo risco tem retorno geralmente maiores que 12% ao ano.

Tabela 4 – INCC e IGP-M acumulados anuais desde janeiro de 2001

INCC acumulado anual		IGPM acumulado anual	
2001	8,85%	2001	10,37%
2002	12,87%	2002	25,30%
2003	14,41%	2003	8,69%
2004	11,04%	2004	12,42%
2005	6,84%	2005	1,20%
2006	5,03%	2006	3,84%
2007	6,16%	2007	7,74%
2008	11,86%	2008	9,80%
2009	3,24%	2009	-1,71%
2010	7,77%	2010	11,32%
2011	7,48%	2011	5,09%
2012*	2,47%	2012*	1,47%

* até o mês de abril

(fonte: elaborado pelo autor, adaptado de PORTAL BRASIL, 2012)

3.2.6 Adoção de sistema unitário em fase inicial de sistemas de esgotos

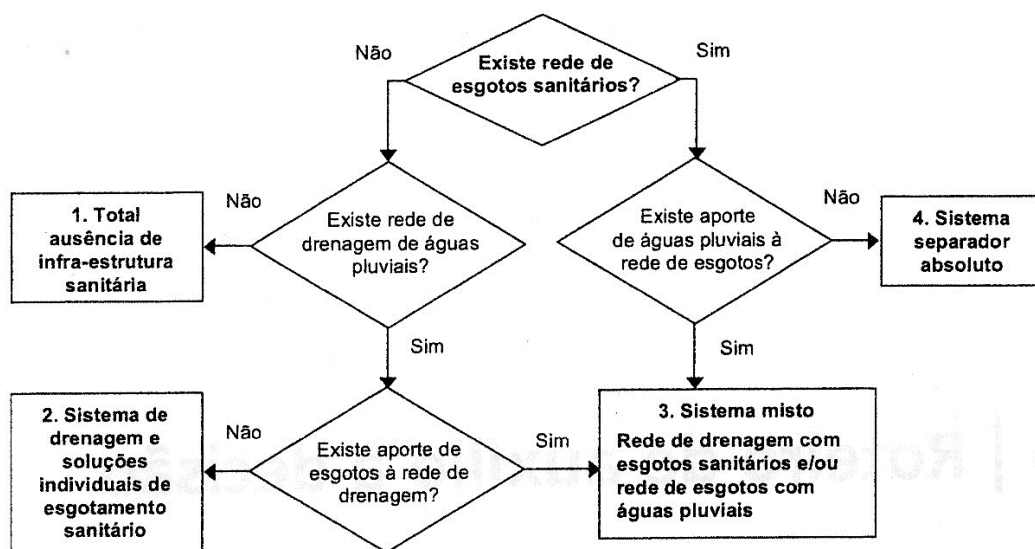
Para a tomada de decisão entre a adoção ou não de sistema combinado, deve-se proceder à análise do sistema de esgotos pré-existente na localidade de interesse. Segundo Bernardes e

Soares (2004), a análise do sistema de esgotos existente permite a identificação de quatro grandes cenários:

- a) ausência total de infraestrutura sanitária: nessa situação, necessita-se implementar tanto o sistema de esgotos sanitários quanto o de drenagem pluvial. Se não for recomendada a adoção de soluções individuais para os esgotos sanitários, é recomendada a adoção do sistema tipo separador absoluto, considerado ideal do ponto de vista técnico;
- b) sistema de drenagem e soluções individuais: se as soluções individuais efetivamente funcionarem, deve-se mantê-las. Caso não sejam adequadas, e o sistema separador não puder ser implementado, deve-se adotar o sistema combinado, aproveitando a rede de drenagem existente e procedendo-se ao adequado tratamento dos esgotos;
- c) sistema de esgoto combinado: nessa situação, pode-se manter o transporte dos esgotos sanitários pelas galerias pluviais. Essa situação ocorre tanto oficialmente, quanto extraoficialmente (ligações clandestinas);
- d) sistema separador de esgotos: aqui, os esgotos sanitários são transportados por rede independente. Em função da concentração dos esgotos na rede, a questão do tratamento se torna mais relevante. Deve-se manter o sistema, se focando na questão do tratamento.

Para auxiliar na análise e tomada de decisão, pode-se utilizar o fluxograma apresentado na figura 13 (BERNARDES; SOARES, 2004).

Figura 13 - Fluxograma de identificação de situação de esgotamento



(fonte: BERNARDES; SOARES, 2004)

Como no Brasil o déficit de atendimento às populações com sistemas de coleta e tratamento de esgotos detém índices ainda longe do ideal, a utilização do sistema unitário em fase inicial de sistemas de tratamento de esgotos poderia se revelar uma alternativa viabilizadora de inúmeros projetos. Sua utilização requereria uma menor alocação de recursos dos cofres públicos, pois a rede separadora seria implantada com recursos gerados pelo próprio sistema, através da taxa de coleta de esgotos (em localidades contempladas previamente com rede de drenagem pluvial). Para o caso específico de nosso estado, Pinto e Cavassola (2011) ponderam que se for prevista a utilização apenas do sistema separador absoluto, o Rio Grande do Sul não terá recursos financeiros nem tempo para atender as metas de universalização de esgotamento sanitário.

Além de não ser economicamente atrativa a ideia de implantar imediatamente sistemas separadores absolutos em todas as localidades que se deseja contemplar com sistemas de esgotos, os benefícios ambientais também podem não serem alcançados. Segundo Pinto e Cavassola (2011), que apresentam o exemplo do rio Tiete, em São Paulo, que conta com redes do tipo separador absoluto em quase toda sua extensão e mesmo assim a carga poluidora encontrada nas águas ainda é muito alta.

Pinto e Cavassola (2011, p. 28) afirmam:

Desta forma, entendemos que os dois sistemas podem ser utilizados simultaneamente, o sistema unitário e sistema separador absoluto, este último implantado progressivamente de acordo com a viabilidade econômica e segundo os padrões de licenciamento definidos pela Resolução 245 do Consema.

Segundo Benetti e Gehling (2004), em muitas comunidades verifica-se a existência de redes pluviais apenas. Nessas localidades, é prática exigir-se a instalação de fossas sépticas nos prédios, que por sua vez são ligadas à rede pluvial. Como usualmente essas não sofrem manutenção nem limpezas periódicas, tornam-se inoperantes com o passar do tempo, descartando esgotos praticamente *in natura* nos corpos receptores. Dada essa configuração, a adoção de sistema combinado com subsequente tratamento possibilitaria a recuperação, pelo menos em parte, desses corpos receptores, bastando instalar interceptores que impeçam a chegada dos esgotos aos córregos e arroios e instalação de ETE. Esse é um dilema enfrentado por diversos municípios, que detém recursos para a instalação de interceptores e ETE, mas não para a execução de redes separadoras, parcela mais cara do sistema.

A questão da adequação ambiental de projetos sanitários é competência do Conselho Estadual do Meio Ambiente (Consema). A Resolução n. 245 do Consema (RIO GRANDE DO SUL, 2010), trata da fixação de procedimentos para o licenciamento de sistemas de esgotamento sanitário. Tem por objetivo alcançar progressivamente os padrões de qualidade das emissões de efluentes, bem como gradativamente recuperar os corpos hídricos do estado.

Essa resolução está assentada em três bases:

- a) a necessidade de preservar a qualidade ambiental, a saúde pública e os recursos naturais do estado do Rio Grande do Sul;
- b) a necessidade da redução progressiva da carga poluidora lançada *in natura* nos corpos hídricos e a ciência de que a instalação progressiva de sistemas de esgotamento sanitário promoverá melhorias na qualidade das águas dos mananciais do Estado;
- c) a necessidade de promover a abrangência da coleta e a melhoria do tratamento dos esgotos sanitários.

Com base nesses preceitos, o Consema entende que municípios que dispõem de alguma forma de esgotamento sanitário, seja ele combinado, na forma de ligações clandestinas ao sistema de coleta pluvial, podem ter seus projetos de sistemas de tratamento de efluentes aprovados, desde que adotem a implantação gradativa da rede separadora absoluta, como depreende-se do texto do artigo quarto da Resolução n. 245 (RIO GRANDE DO SUL, 2010):

Art. 4. Para fins de obtenção de Licença de Operação dos sistemas de esgotamento sanitário novos é necessário o atendimento das condicionantes relacionadas abaixo:

- I. implantação de ETE com tratamento para atendimento dos padrões de emissão referentes aos parâmetros $DBO_5^{20^{\circ}C}$, DQO e SS, determinados pela legislação em vigor;
- II. implantação de interceptores que conduzam os efluentes à ETE, considerada a sua adequação ao processo de tratamento adotado e à implantação gradativa de sistema separador absoluto.

Assim, a Resolução n. 245 (RIO GRANDE DO SUL, 2010) fornece o respaldo legal para a implantação de sistemas unitários de esgotamento sanitário, pois prevê a possibilidade da interligação dos interceptores do sistema aos coletores de esgoto. Esse procedimento será válido quando da implantação de uma ETE, tendo o poder público que arcar imediatamente apenas com a implantação da estação e com as adequações necessárias à rede existente que, via de regra, deverão ter um custo menor que a instalação de toda uma rede nova.

4. CASO DE SAPIRANGA

Nos próximos itens deste capítulo, será feita a análise do sistema de tratamento de esgotos em implantação no município de Sapiranga, o desenvolvimento das adequações necessárias para a utilização da rede pluvial e a análise econômico-financeira da solução adotada. Antes será feita uma descrição do Município e da atual situação de esgotamento sanitário e pluvial encontrada.

4.1 DESCRIÇÃO DO MUNICÍPIO

Sapiranga é um município do Vale dos Sinos, pertencente à região metropolitana de Porto Alegre. Segundo dados do Censo 2010 (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2010), contava naquele ano com 73.839 habitantes, distribuídos por uma área de 137,5 km². A área urbana ocupa 27,5 km², e concentra 70.626 habitantes, tendo então densidade demográfica média de 2.568,21 hab/km². A zona rural detém 2.697 habitantes e, se considerada como rural toda a zona restante da área legal do Município, tem densidade demográfica média de 24,52 hab/km².

Sapiranga, até sua emancipação, no ano de 1954, foi distrito do município de São Leopoldo. Foi colonizada, tal qual todo Vale dos Sinos, por imigrantes alemães a partir de 1824. A cultura alemã, em várias facetas da vida social, se desenvolveu nos primórdios do Município e vem se mantendo até os dias atuais. O idioma alemão, apesar de não ser oficial, foi durante muito tempo mais utilizado que o português na cidade (SAPIRANGA, 2012).

Ainda segundo o sítio da Prefeitura de Sapiranga, a economia do Município é fortemente ligada à metalurgia e à indústria coureiro-calçadista, sendo a confecção de calçados para a exportação a maior contribuição para o PIB do Município. A expansão da indústria calçadista, durante as décadas de 1970 e 1980, ocasionou intensa migração de pessoas de outras regiões do Estado, que se estabeleciam no Município atraídas pelo alto número de empregos que essa atividade gera.

4.2 ESTIMATIVA DE CRESCIMENTO POPULACIONAL

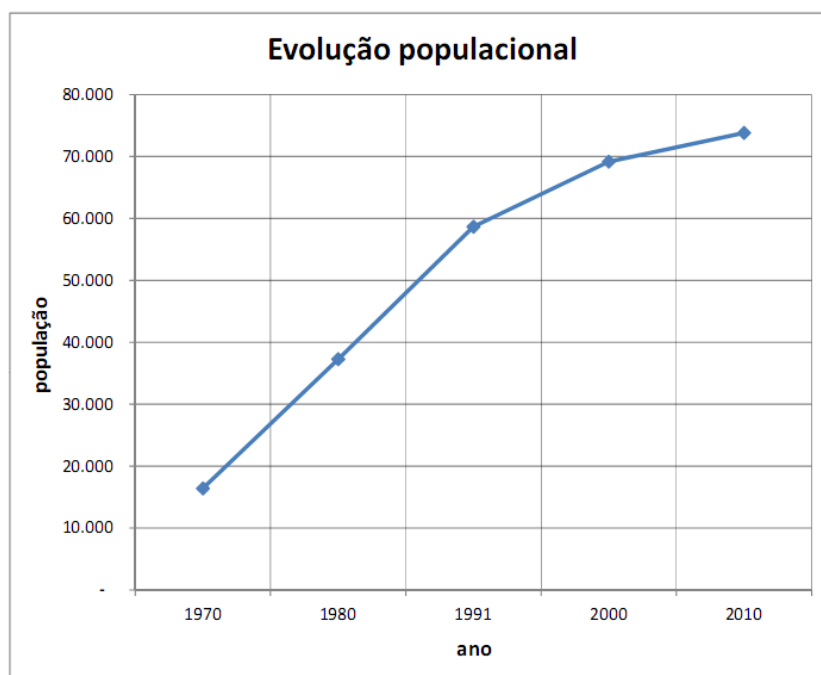
Como dito anteriormente, o Município contava, no ano de 2010, com 73.839 habitantes. Juntando-se o histórico de crescimento para os anos de 1970, 1980, 1991, 2000 (FEDERAÇÃO DAS ASSOCIAÇÕES DE MUNICÍPIOS DO RIO GRANDE DO SUL, 2005) com os dados de 2010, pode-se elaborar a tabela 5, que pode ser apresentada de forma gráfica na figura 14.

Tabela 5 – Populações do Município em diferentes instantes de tempo

Ano	1970	1980	1991	2000	2010
População	16.420	37.288	58.678	69.189	73.839

(fonte: elaborado pelo autor¹³)

Figura 14 – Curva de crescimento populacional de Sapiranga para 1970-2010



(fonte: elaborado pelo autor)

Analisando-se o gráfico, percebe-se o acentuado crescimento populacional durante as décadas de 1970 e 1980, coincidente com o período de maior expansão da indústria calçadista no Município. Nota-se uma progressiva redução na taxa de crescimento a partir da década de

¹³ Os dados referentes a 1970, 1980, 1991 e 2000 foram retirados de Federação das Associações de Municípios do Rio Grande do Sul (2005), enquanto que os de 2010 foram retirados de Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2010).

1990 (período de declínio dessa atividade econômica). Assemelha-se à curva logística, mas como se trata de um município de médio porte, que tem ainda muito potencial para expansão, pelo menos territorial, para a previsão populacional optou-se pelo uso do método geométrico, que utiliza as equações (trabalho não publicado¹⁴):

$$r = T_1 - T_0 (P_1 / P_0)^{0,5} - 1 \quad (\text{equação 10})$$

Onde:

- r = taxa de crescimento populacional anual;
- T₁ = instante de tempo final, em anos;
- T₀ = instante de tempo inicial, em anos;
- P₁ = população no instante T₁, em habitantes;
- P₀ = população no instante T₀, em habitantes.

Essa fornece a taxa de crescimento verificada entre dois instantes de tempo. Para obter-se a população em um instante de tempo qualquer, usa-se a equação (trabalho não publicado¹⁵):

$$P = P_1 (1 + r)^{T - T_1} \quad (\text{equação 11})$$

Onde:

- P = população em um ano qualquer, em habitantes;
- P₁ = população conhecida no instante de tempo T₁, em habitantes;
- T = instante de tempo referente à P, em anos;
- T₁ = instante de tempo conhecido, em anos.

A utilização da equação 10 nos fornece a taxa de crescimento populacional verificada em cada década, a partir de 1970. Os resultados explicitados na tabela 6.

¹⁴ Apostila da disciplina Sistemas de Água e Esgoto do curso de Engenharia Civil da UFRGS, Estudo de concepção de projetos, de Dieter Wartchow e Gino Gehling, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2007.

¹⁵ Idem.

Tabela 6 – Taxa de crescimento populacional do Município para 1970 – 2010

Década	1970 - 1980	1980 - 1991	1991 - 2000	2000 - 2010
r (%)	8,55	4,21	1,85	0,65

(fonte: elaborado pelo autor)

A análise puramente estatística dos dados indica que a tendência é de que a taxa de crescimento continue diminuindo com o passar dos anos, fato também observado na curva de crescimento populacional da figura 14. Mas, por uma questão de conservadorismo, optou-se por manter a taxa de crescimento verificada entre 2000 e 2010, a qual nos fornece, com uso da equação 11, a previsão de crescimento populacional para um horizonte de 30 anos, contados a partir de 2007, ano em que se iniciaram as obras do sistema de tratamento de esgotos (tabela 7).

Tabela 7 – Previsão de crescimento populacional para o município de Sapiranga entre 2007 e 2036

Ano	População (hab.)	Ano	População (hab.)
2007	72.413	2022	79.834
2008	72.886	2023	80.355
2009	73.361	2024	80.880
2010	73.839	2025	81.407
2011	74.322	2026	81.939
2012	74.807	2027	82.473
2013	75.295	2028	83.012
2014	75.786	2029	83.553
2015	76.281	2030	84.099
2016	76.779	2031	84.647
2017	77.280	2032	85.200
2018	77.784	2033	85.756
2019	78.292	2034	86.315
2020	78.803	2035	86.879
2021	79.317	2036	87.446

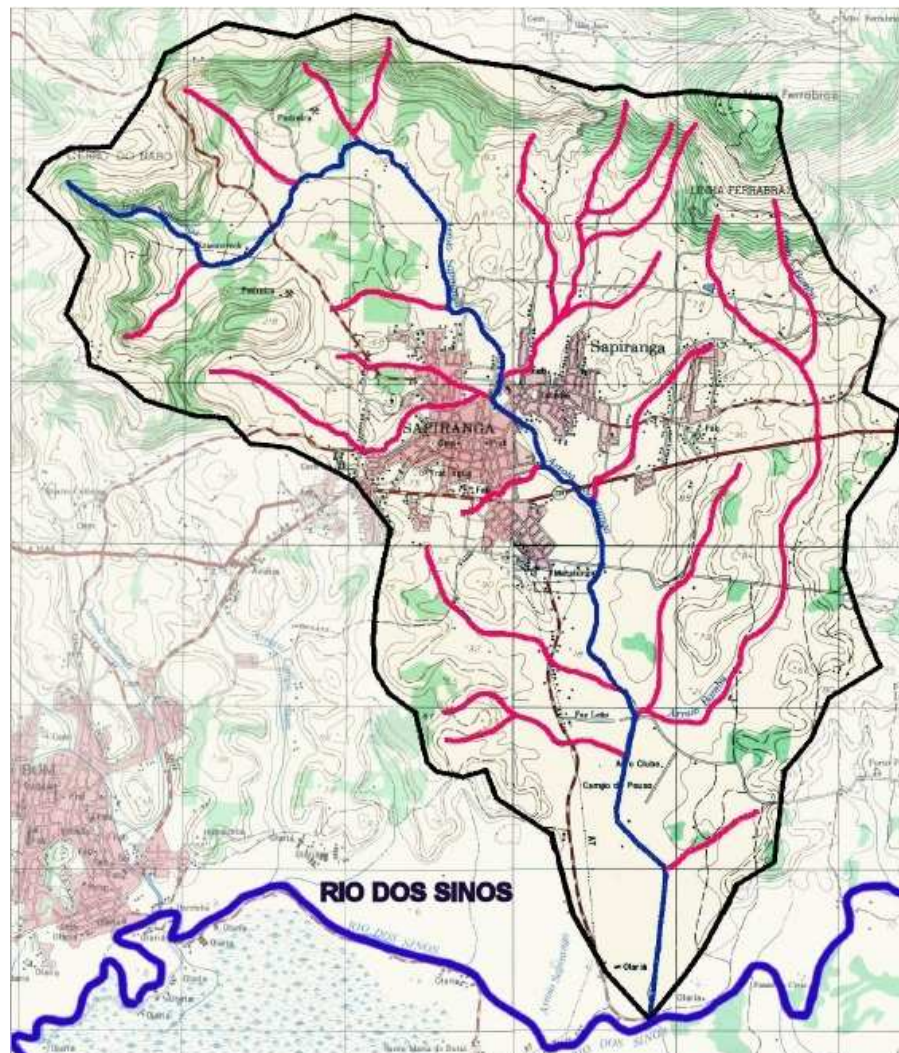
(fonte: elaborado pelo autor)

Como o projeto do sistema de tratamento data do ano de 2007, ele não inclui em sua previsão de crescimento populacional os dados colhidos pelo Censo de 2010. Para o presente trabalho, serão incluídos esses dados nas estimativas de crescimento populacional.

4.3 CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS

Segundo Appel (2005), a área urbana de Sapiranga é atravessada pelo Arroio Sapiranga, que desempenha o papel de dreno pluvial e de transportador dos efluentes gerados no Município. O Arroio é afluente do Rio dos Sinos, o qual encontra ao sul da cidade. A bacia natural do Arroio, com sua rede de drenagem, definida pelas condições topográficas da região é apresentada na figura 15, contando com 72,56 km². O Arroio é alimentado por diversos cursos d'água ao longo de sua extensão, gerando uma complexa rede de drenagem.

Figura 15 – Bacia do arroio Sapiranga

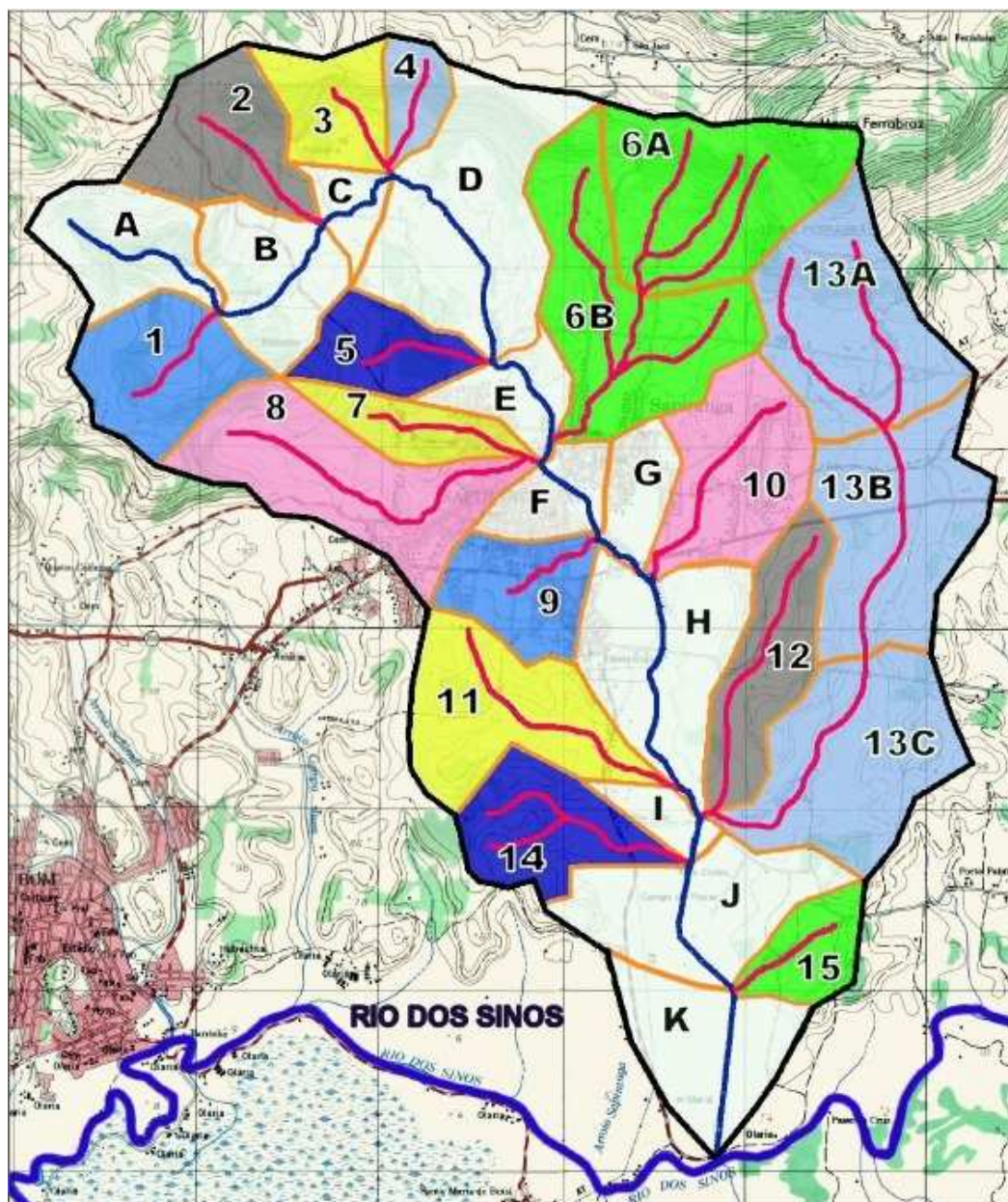


(fonte: APPEL, 2005)

Sua bacia pode ser dividida em sub-bacias (figura 16), que levam em conta os divisores de água e os pontos de confluência dos cursos d'água afluentes ao arroio (APPEL, 2005).

Verifica-se que têm dimensões máximas menores que 5 km² e que a divisão não considera os coletores pluviais e canais artificiais que modificam o fluxo natural das águas. A topografia da bacia varia de 634 metros de altitude no topo do Morro Ferrabraz a 5 metros nas margens do Rio dos Sinos (cotas estabelecidas em relação ao nível do mar). A bacia natural sofreu diversas modificações ao longo dos anos. Aumento da área urbana, desmatamentos e modificações nas condições de permeabilidade do solo aumentaram consideravelmente o volume de escoamento ao Arroio Sapiranga, por ocasião das precipitações.

Figura 16 – Divisão da bacia em sub-bacias



(fonte: APPEL, 2005)

4.4 SITUAÇÃO DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO

Segundo dados levantados pela Prefeitura, o Município conta apenas com o tratamento primário de esgotos cloacais, através de sistema composto por fossa séptica e filtro anaeróbico. Atualmente, o Município não conta com nenhum tipo de sistema de tratamento coletivo de esgotos. Agrava o problema o fato de que uma significativa parcela das residências contarem ainda com o sistema de tratamento primário incompleto, tendo apenas a fossa séptica instalada, principalmente as mais antigas, quando não havia a exigência de filtro. Essas, por sua vez, são ligadas à rede de coleta pluvial, oficial ou clandestinamente, que invariavelmente converge para o arroio Sapiranga ou algum de seus afluentes. Essa configuração deriva, como exposto anteriormente, do fato de o Município ter sofrido uma explosão demográfica a partir dos anos 70 do século XX, que associada à falta de controle e planejamento urbano por parte dos entes públicos da época acabou por dar essa configuração não adequada ao sistema de esgotos e, a rigor, nenhum tipo de tratamento, haja vista que nem ao menos o sistema individual parece funcionar adequadamente.

4.4.1 Sistema de esgotos em implantação

O projeto do sistema de tratamento de esgotos de Sapiranga, que data do ano de 2007, foi dimensionado para atender, em final de plano de projeto, aliado a outras alternativas individuais de tratamento, com adequada coleta e tratamento de esgoto sanitário, um contingente populacional de até 100 mil habitantes (trabalho não publicado¹⁶). O horizonte de projeto é de 30 anos (até 2036), e prevê a execução de redes de coleta de esgotos sanitários em toda a área contemplada no projeto, a execução de três estações elevatórias de esgotos (EE) com suas respectivas linhas de recalque e três ETE, compostas de:

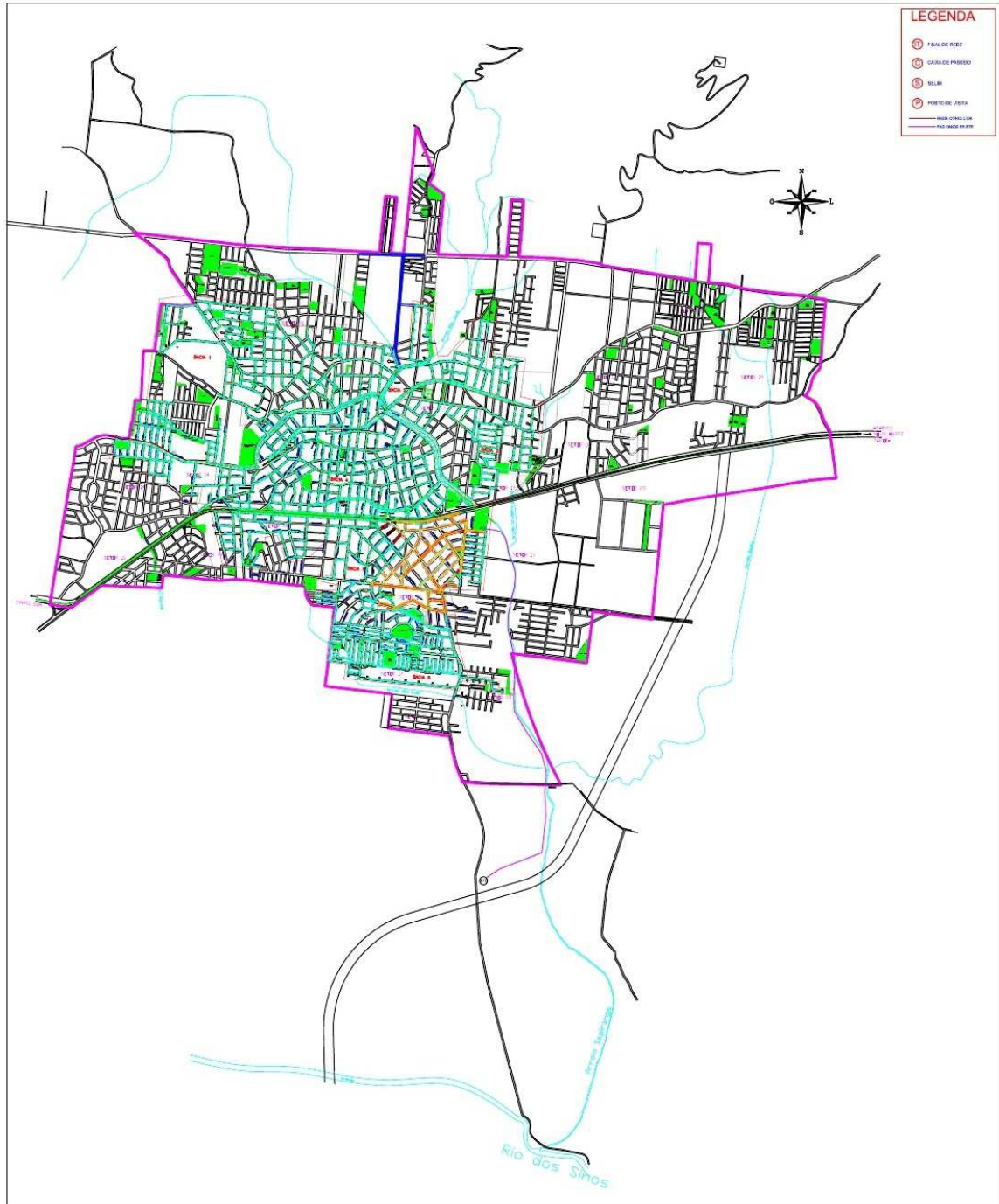
- a) estação de tratamento UASB (reator anaeróbico de fluxo ascendente e manta de lodos);
- b) biofiltro aerado submerso;
- c) decantador secundário.

O projeto será executado em três etapas distintas, com módulo de tratamento independente, ou seja, pode entrar em funcionamento sem que os demais estejam instalados, cada um com capacidade total para tratar os esgotos gerados por até 25 mil habitantes. A primeira ETE está

¹⁶ Informações fornecidas por técnicos da Prefeitura Municipal de Sapiranga, em maio de 2012.

concluída, mas não está ainda em funcionamento, sendo que a rede separadora está em execução, como se pode ver na figura 17.

Figura 17 – Projeto do sistema de esgotos em execução

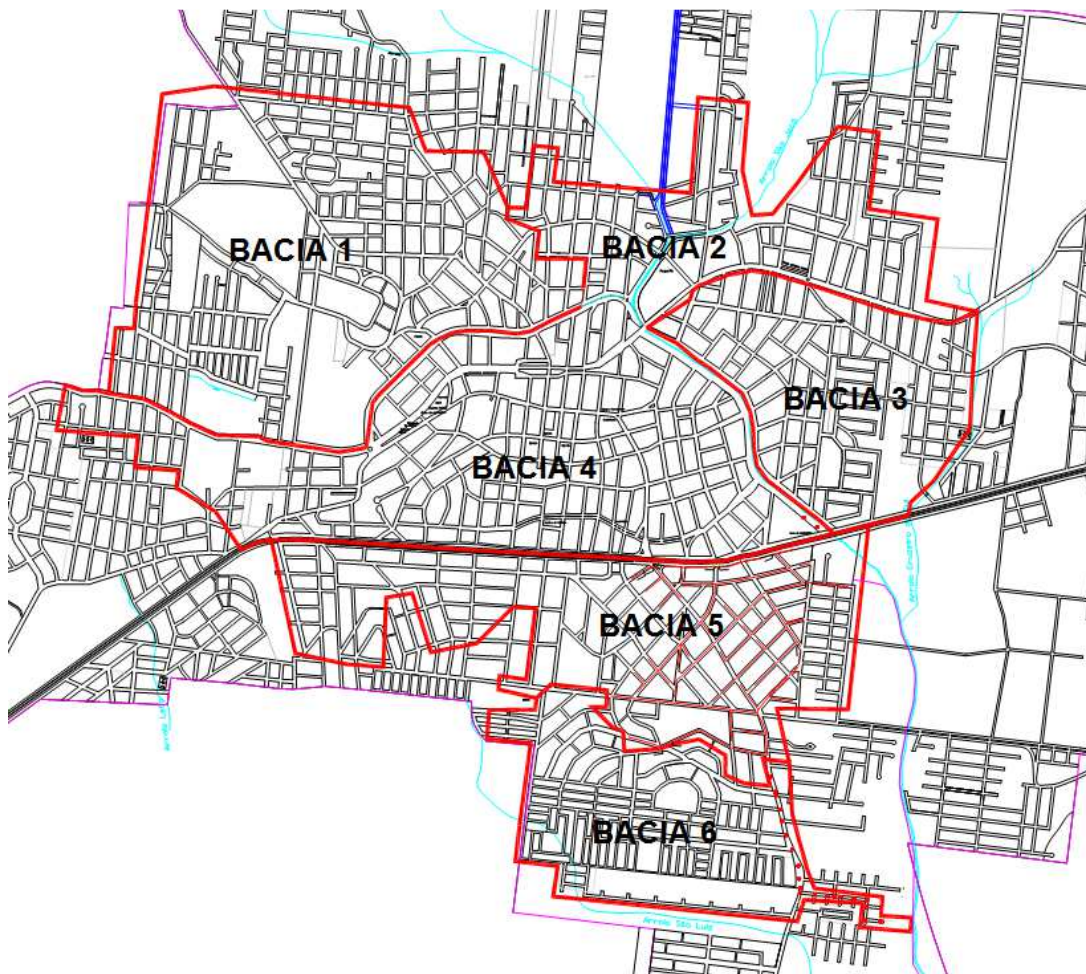


(fonte: trabalho não publicado¹⁷)

¹⁷ Informações fornecidas por técnicos da Prefeitura Municipal de Saporanga, em maio de 2012.

Para os objetivos do projeto, dividiu-se a área urbana a ser contemplada em seis sub-bacias de contribuição, que levam em consideração a atual configuração urbana do Município. A configuração atual de drenagem da área não é determinada apenas pela topografia do terreno natural, pois o mesmo sofreu intensas modificações no decorrer do processo urbanizatório, como exposto anteriormente. A divisão da bacia do projeto pode ser contemplada na figura 18.

Figura 18 – Divisão em sub-bacias do projeto

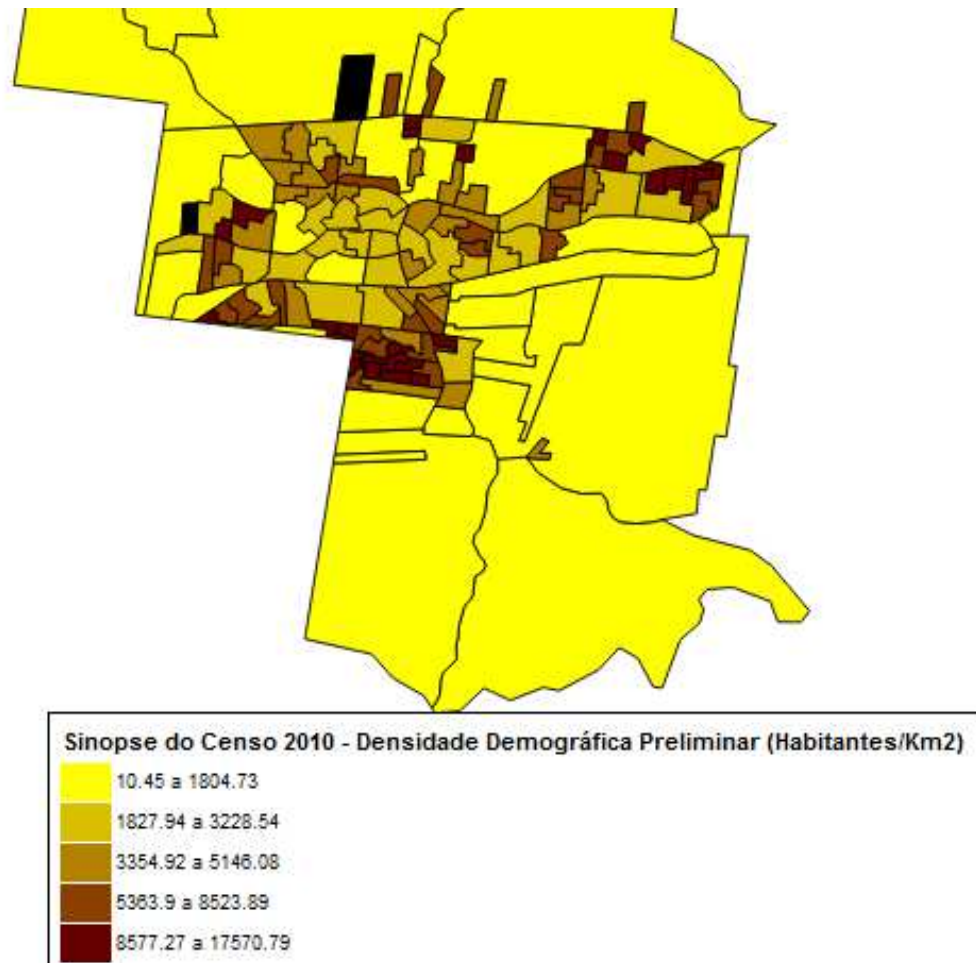


(fonte: elaborado pelo autor, adaptado de trabalho não publicado¹⁸)

A primeira etapa do projeto cobrirá a sub-bacia 5. Para a estimativa de população residente nesta área, será utilizada a densidade demográfica por setores censitários do IBGE, referentes ao Censo 2010, apresentados na figura 19.

¹⁸ Informações fornecidas por técnicos da Prefeitura Municipal de Saporanga, em maio de 2012.

Figura 19 – Densidade demográfica por setores censitários



(fonte: INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2011)

A análise dos diferentes setores que compõem a sub-bacia 5, nos fornece uma população de 12.844 habitantes nesta área no ano de 2010 (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2011). Como a área tem 1,93 km², a densidade demográfica no local é de 6.654,92 habitantes/km², cerca de três vezes maior que a densidade média do perímetro urbano. Fazendo-se a regressão da população até o ano de 2007 e a progressão até 2036, utilizando-se a taxa de crescimento adotada de 0,65%, percebemos que a população em início de plano é de 12.597 habitantes e 15.212 habitantes em fim de plano, como pode-se averiguar na tabela 8. Até o presente momento, 9,3 km de rede sanitária já foram lançados, cobrindo parte da sub-bacia 5, que vai contar com um total de 23,1 km de rede de coleta sanitária. Para dar vazão ao esgoto coletado, uma das estações elevatórias foi executada, juntamente com sua respectiva linha de recalque. O emissário que transportará o esgoto até a primeira ETE, que

inicia na EE executada, acompanha o traçado do Arroio Sapiranga, estendendo-se por 4,2 km com declividade de 0,15%. O emissário fará o transporte dos efluentes por gravidade.

Tabela 8 – Previsão populacional para a sub-bacia 5

Ano	População (hab.)	Ano	População (hab.)
2007	12.597	2022	13.888
2008	12.679	2023	13.978
2009	12.762	2024	14.070
2010	12.844	2025	14.161
2011	12.929	2026	14.254
2012	13.013	2027	14.347
2013	13.098	2028	14.440
2014	13.184	2029	14.535
2015	13.270	2030	14.629
2016	13.356	2031	14.725
2017	13.443	2032	14.821
2018	13.531	2033	14.918
2019	13.619	2034	15.015
2020	13.708	2035	15.113
2021	13.798	2036	15.212

(fonte: elaborado pelo autor)

4.4.2 Utilização da rede pluvial existente

O município de Sapiranga conta com rede de drenagem pluvial instalada ao longo de toda sua área urbana, rede esta quase toda já cadastrada. Devido a ligações de esgoto das economias à rede, clandestinas ou não, essa acaba por transportar também os esgotos sanitários gerados na cidade, já funcionando, a rigor, como sistema combinado. A rede pluvial do Município converge e deságua invariavelmente no arroio Sapiranga, com significativos impactos ambientais. Os lançamentos se fazem diretamente, ou através de algum de seus afluentes. O presente trabalho limita-se ao estudo da sub-bacia 5, pois: a primeira fase do projeto está em execução nesta sub-bacia, então tem-se os custos reais de sua implantação; a rede pluvial tem seu cadastro praticamente completo na área e converge diretamente para o arroio Sapiranga; por ser totalmente urbanizada, ela é representativa da área total a qual o projeto restringe-se, pois o mesmo está totalmente inserido no perímetro urbano.

Figura 20 – Rede pluvial existente no Município



(fonte: trabalho não publicado¹⁹)

Para a utilização da rede pluvial, cogitaram-se duas possibilidades de adaptação entre o projeto original e a rede pluvial para funcionar como sistema combinado. Uma, na qual seja executado o emissário na mesma posição adotada no projeto, apenas redimensionado para atender as vazões pluviais de chuva e que faça uso de *by-pass* a montante da ETE para o extravasamento da vazão pluvial excedente. Isso livraria o Arroio de receber desde já a carga poluidora da sub-bacia 5. Essa será chamada **alternativa 1**. Na segunda possibilidade (**alternativa 2**), opta-se por manter o lançamento de esgotos e águas pluviais da área de estudo diretamente no arroio Sapiranga. Para desviar a parcela de esgotos correspondente ao gerado na sub-bacia 5 e encaminhá-la até a tratamento, utilize-se uma estrutura de regulação e desvio de vazões mais próxima à ETE. A seguir, faz-se o desenvolvimento de cada uma das alternativas.

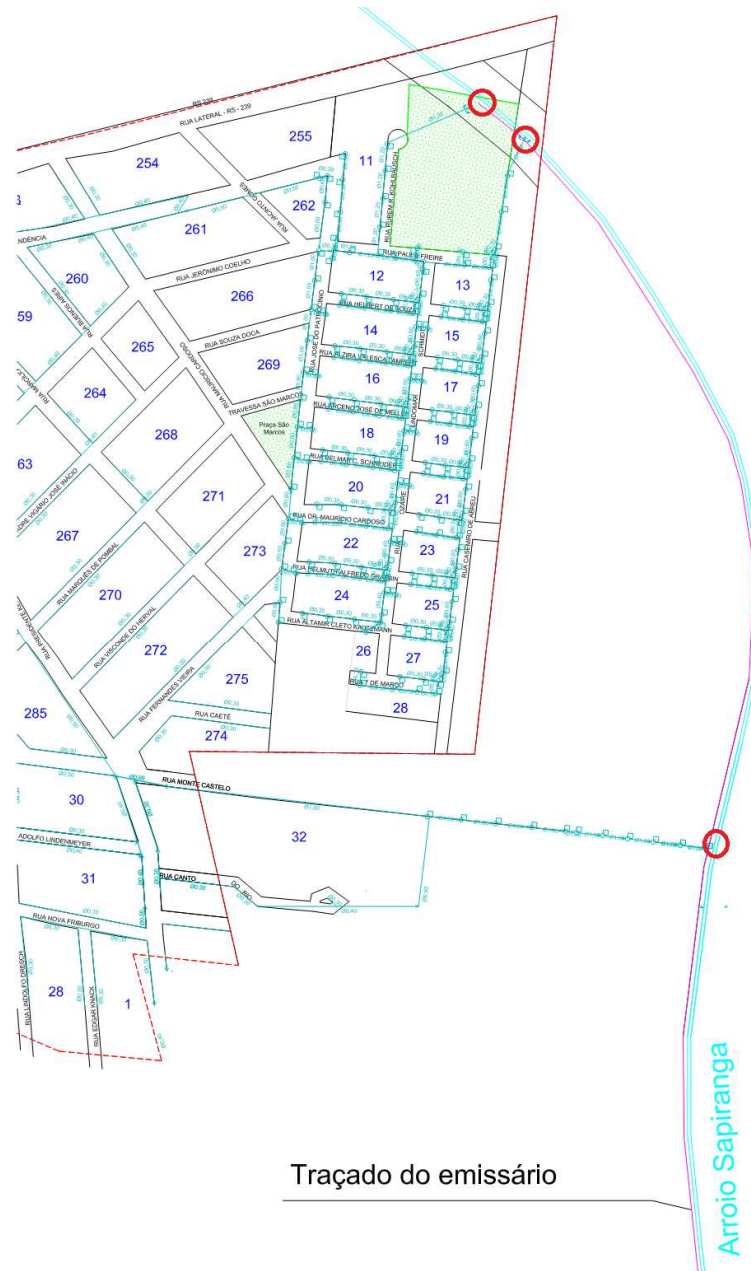
4.4.2.1 Alternativa 1

Como já mencionado, o lançamento do esgoto pluvial da sub-bacia 5 se faz diretamente no arroio Sapiranga em três pontos distintos, apresentados na figura 21. O emissário de esgotos

¹⁹ Informações fornecidas por técnicos da Prefeitura Municipal de Sapiranga, em maio de 2012.

da primeira fase de projeto acompanha o traçado do Arroio. Poderia se utilizar a rede pluvial como sistema combinado apenas redimensionando o emissário do projeto original e proceder à interceptação da rede coletora nesses três pontos de lançamento, livrando o arroio de receber essa parcela de esgotos.

Figura 21 – Pontos de lançamento pluvial da sub-bacia 5



(fonte: elaborado pelo autor, adaptado de trabalho não publicado²⁰)

²⁰ Informações fornecidas por técnicos da Prefeitura Municipal de Saporanga, em maio de 2012.

Para seu dimensionamento, deve-se incluir as contribuições pluviiais da área. Essas contribuições são as de período de chuva. Como a bacia natural do Arroio Sapiranga sofreu diversas modificações ao longo dos anos, não se pode considerar que o regime de escoamento superficial na malha urbana seja como o sugerido exclusivamente pela topografia do terreno natural. Seguindo-se essa configuração, o escoamento das águas das chuvas na área de estudo do presente trabalho não convergiria totalmente para os pontos de lançamento reais levantados no cadastro da rede pluvial do Município. A divisão em sub-bacias do projeto do sistema de esgotos fornece dados mais confiáveis, pois inclui a rede de galerias e canais de drenagem executados. Essas sub-bacias definem a atual situação de microdrenagem da área, que já foi inteiramente urbanizada. Como não existem dados oficiais específicos do regime de chuvas do Município, utilizou-se dados coletados por um pluviômetro padronizado instalado no Centro municipal de estudos ambientais (Cemeam) de Sapiranga. Este registra os eventos chuvosos desde janeiro de 2007, fornecendo assim uma série histórica de cinco anos (até 2011) para a geração de curvas IDF. As leituras apresentam algumas falhas na série, mais precisamente durante os meses de janeiro de 2007 e 2008, momentos em que não foi possível proceder à leitura. Mas, para efeitos didáticos, e na falta de outra fonte de dados, as falhas serão desconsideradas. As máximas precipitações diárias mensais e anuais percebidas no Município, bem com a média destas são apresentadas na tabela 9.

Tabela 9 – Máximas precipitações diárias mensais e anuais para Sapiranga

	Máxima precipitação diária mensal (mm)												Máxima precipitação diária anual (mm)
	jan.	fev.	mar.	abr.	maio	jun.	jul.	ago.	set.	out.	nov.	dez.	
2007	*	63,0	21,0	70,0	103,0	63,0	37,0	70,0	55,0	75,0	18,0	38,0	103,0
2008	*	63,0	34,0	35,0	67,0	23,5	80,0	38,0	95,0	35,0	52,0	55,0	95,0
2009	90,0	46,0	35,0	12,0	58,0	25,0	23,0	100,0	54,0	70,0	102,0	55,0	102,0
2010	50,0	80,0	70,0	80,0	33,0	57,0	70,0	24,0	58,0	21,0	53,0	75,0	80,0
2011	37,0	45,0	90,0	96,0	23,0	65,0	79,0	65,0	35,0	37,0	7,0	18,0	96,0
Média das máximas precipitações diárias anuais (mm)													95,2

(fonte: elaborado pelo autor, adaptado de trabalho não publicado²¹)

De posse desses dados, a utilização do Método de Bell para a aproximação de curvas IDF torna-se possível. Para tal, utilizou-se a equação 3, com os respectivos cálculos explicitados na tabela 10.

²¹ Tabelas com leituras diárias de pluviômetro instalado no Centro municipal de estudos ambientais (Cemeam) de Sapiranga, em maio de 2012.

Tabela 10 – Determinação de curvas IDF pelo método de Bell

Tr(anos)	t(min)	P(2,60)	P(Tr;t)	Intensidade (mm/h)	Tr(anos)	t(min)	P(2,60)	P(Tr;t)	Intensidade (mm/h)
2	5	27,6	8,9	106,6	20	5	27,6	16,0	192,3
	20		18,8	56,3		20		33,8	101,5
	40		25,2	37,8		40		45,4	68,2
	60		29,5	29,5		60		53,3	53,3
	120		38,1	19,0		120		68,7	34,4
3	5	27,6	10,1	121,7	25	5	27,6	16,7	200,6
	20		21,4	64,2		20		35,3	105,9
	40		28,8	43,1		40		47,4	71,1
	60		33,7	33,7		60		55,6	55,6
	120		43,5	21,7		120		71,7	35,8
5	5	27,6	11,7	140,7	50	5	27,6	18,9	226,4
	20		24,7	74,2		20		39,8	119,5
	40		33,2	49,9		40		53,5	80,2
	60		39,0	39,0		60		62,7	62,7
	120		50,3	25,1		120		80,9	40,5
10	5	27,6	13,9	166,5	100	5	27,6	21,0	252,2
	20		29,3	87,9		20		44,4	133,1
	40		39,3	59,0		40		59,6	89,4
	60		46,1	46,1		60		69,9	69,9
	120		59,5	29,8		120		90,1	45,1

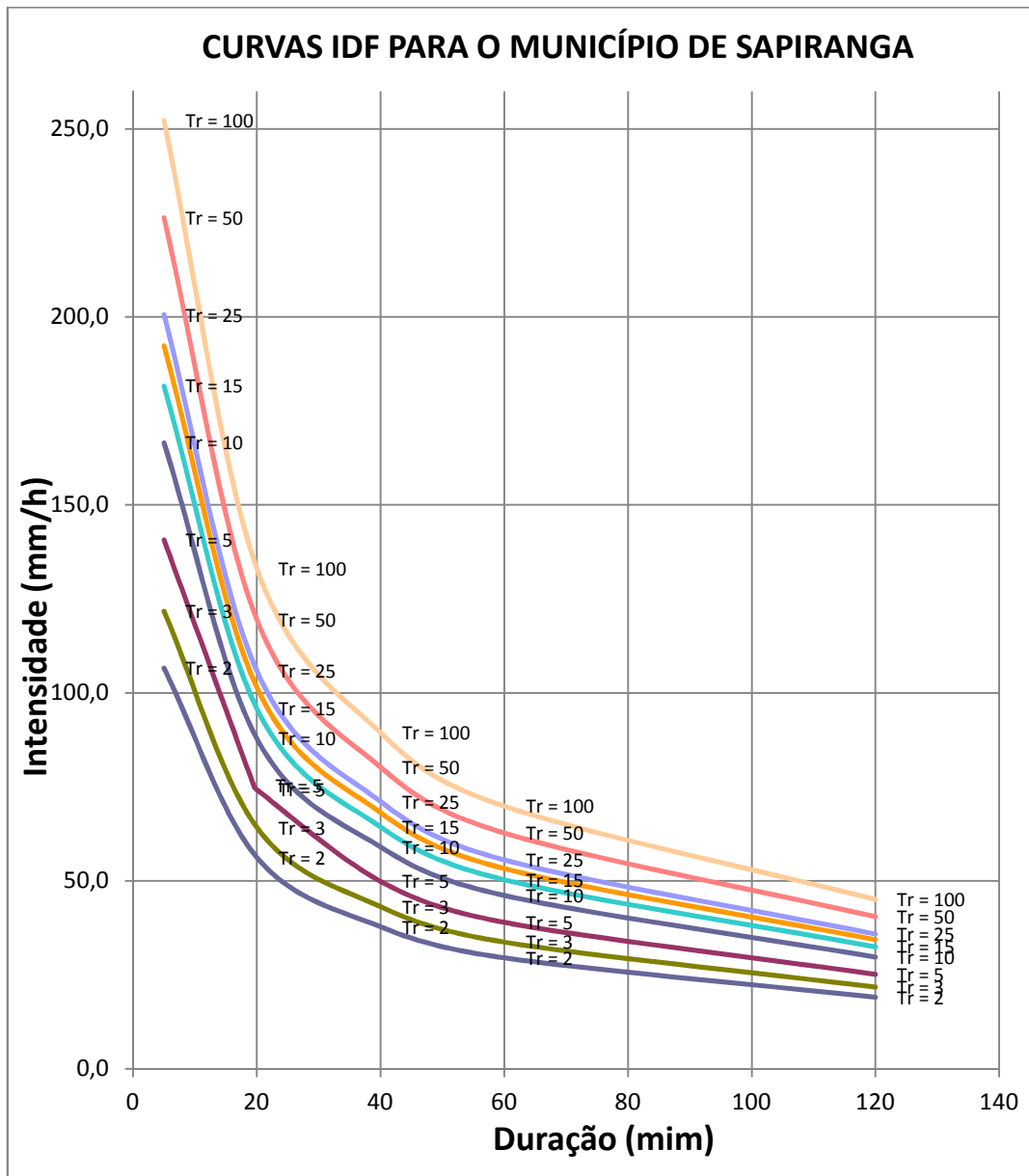
(fonte: elaborado pelo autor)

A plotagem dos resultados deu origem às curvas IDF apresentadas na figura 22.

Para a área estudada, o tempo de concentração (t_c) levou em conta a área da sub-bacia 5, que é de 1,93 km², e o comprimento (L), que foi considerado como o mais longo possível entre uma extremidade da sub-bacia e um dos três pontos de lançamento no arroio Sapiranga. Este comprimento é de 3 km. A área impermeável (A_i) foi determinada através da equação 7, e forneceu o valor de 0,744 km². Utilizando a equação 6 para a determinação do tempo de concentração, chega-se ao tempo de 15,19 min. Este tempo de concentração é igual a duração considerada para a chuva máxima de projeto, que associado ao tempo de retorno (Tr) para este tipo de obras hidráulicas (5 anos) (trabalho não publicado²²), nos fornece, na respectiva curva IDF, uma precipitação de intensidade 86,0 mm/h. Para a determinação da máxima vazão pluvial de projeto (Q_v), utilizou-se o Método Racional, apresentado no capítulo 3. O coeficiente de escoamento (C) adotado, retirado da tabela 3, foi de 0,6, o qual, em conjunto com a respectiva intensidade de precipitação e área de drenagem, nos fornece o valor de $Q_v = 27,69$ m³/s.

²² Apostila da disciplina Sistemas de Água e Esgoto do curso de Engenharia Civil da UFRGS, Esgotos pluviais, de Dieter Wartchow e Gino Gehling, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2007.

Figura 22 – Curvas IDF para Sapiranga



(fonte: elaborado pelo autor)

Para a parcela de vazão correspondente ao esgoto sanitário gerado na área, com a utilização da equação 2, da população a ser atendida na área (15.212 habitantes, em fim de plano de projeto), dos coeficientes $k_1=1,2$ e $k_2=1,5$, do coeficiente de retorno padrão adotado de 0,8 e do consumo per capita de água (q) de 180 L/hab.dia, chega-se a vazão de esgotos sanitários máxima de 46 l/s, ou de 0,046 m³/s. Como percebe-se, esta vazão é insignificante quando comparada com a vazão de período de chuva, que é a real definidora das dimensões que os coletores, no sistema combinado, devem possuir.

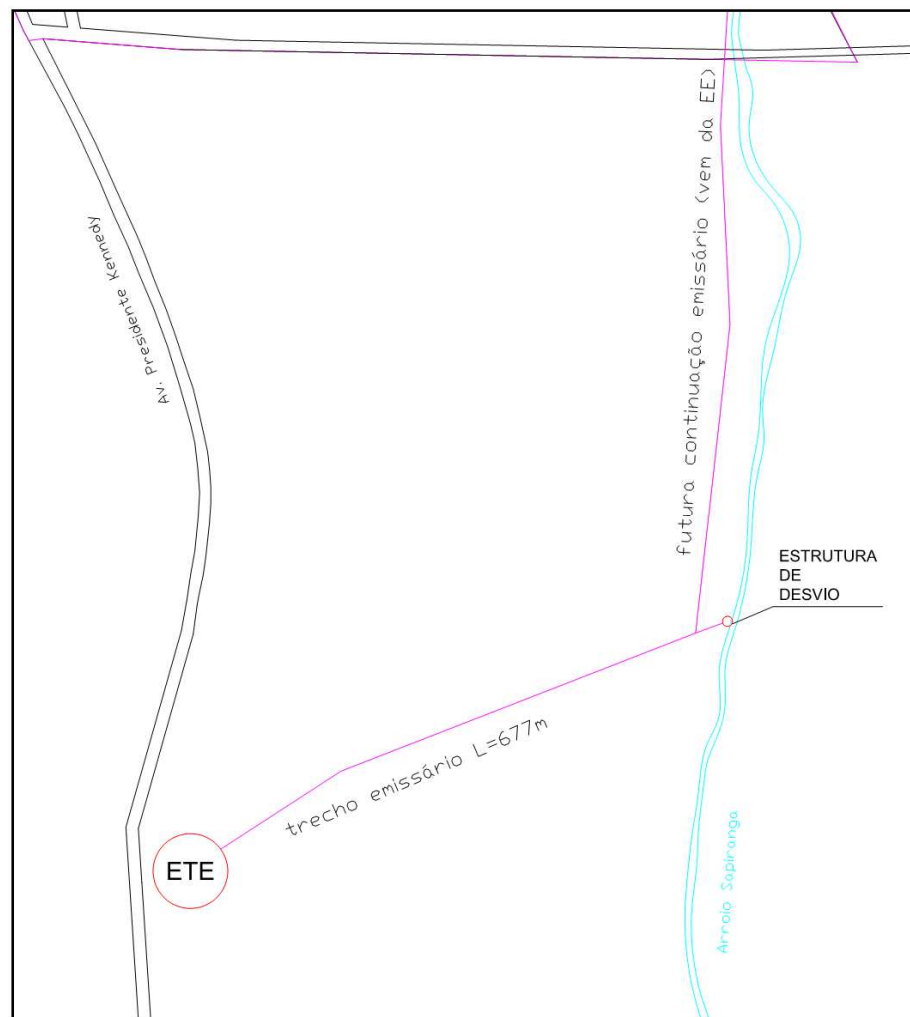
Para o dimensionamento do emissário, fez-se uso da metodologia de cálculo utilizada para galerias pluviais circulares, apresentada no capítulo 3. O material empregado foi o concreto não alisado, para o qual o coeficiente de Strimkler-Manning tem valor de 76,9. A inclinação do emissário foi adotada como sendo a do arroio Sapiranga, o qual acompanha em toda sua extensão. Esta é de 0,15%, ou 0,0015 m/m. A vazão considerada para seu dimensionamento é a soma entre a vazão de esgotos sanitários (Q_e) e a vazão de esgotos pluviais de tempo chuvoso (Q_p), através da equação 1, que tem como resultado $Q_t = 27,73 \text{ m}^3/\text{s}$ para população em final de plano de projeto. O diâmetro necessário para o novo emissário é 3,57 m, utilizando-se a equação 8. Se desconsiderada a vazão sanitária, utilizando-se a mesma metodologia, o diâmetro resulta, com dois algarismos significativos, no mesmo. Nota-se que, as contribuições sanitárias, pelo menos para pequenas populações, pouco contribuem para o dimensionamento das canalizações no sistema combinado.

4.4.2.2 Alternativa 2

Uma segunda alternativa muito mais simples e econômica para a utilização da rede pluvial no Município seria a de manter os lançamentos pluviais da sub-bacia 5 no arroio Sapiranga e interceptá-lo em um ponto mais próximo da ETE, fazendo-se uso de uma estrutura de regulação e desvio de excesso de águas pluviais (figura 23).

Para que o transporte até a ETE seja feito por gravidade, evitando-se assim a necessidade de recalque da vazão sanitária, a instalação da estrutura foi feita em cota elevada em relação à ETE. O trecho de emissário então necessário para fazer a ligação da estrutura de desvio e a ETE é de 677 m. No ponto de interceptação, o arroio Sapiranga já coletou toda a vazão sanitária do Município, pois está a jusante da malha urbana. Como pretende-se levar a tratamento apenas as contribuições sanitárias da sub-bacia 5, a estrutura irá encaminhar à ETE apenas essas vazões sanitárias. O trecho de emissário entre a estrutura de desvio e a ETE, foi mantido como o original de projeto, com DN 400mm, pois quando da execução da rede separadora, pode-se executar apenas a parte faltante do emissário entre a estrutura de desvio e a EE.

Figura 23 – Instalação da estrutura de regulação e desvio



(fonte: elaborado pelo autor)

4.4.2.3 Decisão entre as alternativas

Para dar prosseguimento aos trabalhos, deve-se optar uma das duas alternativas propostas. A alternativa 1 livraria desde já o Arroio de receber a carga poluidora referente a sub-bacia 5, mas resultaria em um emissário de dimensões muito maiores que o necessário para escoar as vazões sanitárias da área. Após a execução da rede separadora, quando não mais teria a função de transportar águas pluviais, seria subaproveitado até o final do horizonte de projeto. A alternativa 2 é muito mais em conta do ponto de vista financeiro e executivo, já que a estrutura de desvio tem custo muito menor (como se verá no próximo capítulo) e, depois que a rede separadora for executada, não deixaria uma grande estrutura ociosa. Em face disto, a alternativa 2 será utilizada para fazer a ligação entre a rede pluvial e a ETE.

4.5 ANÁLISE ECONÔMICO-FINANCEIRA DA PROPOSTA

Para a determinação do tempo necessário para a execução da rede separadora, dentro do cenário criado neste trabalho, deve-se determinar primeiramente quais componentes do sistema de tratamento devem ser executados imediatamente e quais podem ser postergados e executados com os recursos gerados pela cobrança da taxa de tratamento de esgotos. A coleta de esgotos já é executada, mesmo que em parte clandestinamente (ligações de esgoto não cadastradas à rede pluvial). A ETE deve ser implementada em um primeiro momento, para que se possa proceder à cobrança de tratamento de esgotos. Como a interceptação será executada no próprio arroio Sapiranga, deve-se lançar o emissário deste ponto até a ETE. Com essas adaptações, tão logo a ETE entre em funcionamento, pode-se proceder à cobrança.

4.5.2 Custos de implantação do sistema

Deve-se ressaltar que, para a rede de esgotos sanitários em execução, os custos são referentes a 9,23 km de rede. O projeto prevê a execução de 23,12 km de rede para atender completamente a sub-bacia 5, sendo que o restante (13,89 km), até o presente momento, não foi licitado. Assumindo-se que os custos de execução da rede sejam proporcionais para o restante da sub-bacia, teríamos a seguinte configuração de custos totais (tabela 11).

Tabela 11 – Custos de implantação e operação do sistema de tratamento de esgotos para a sub-bacia 5

Custos associados a implantação do sistema de esgotos para a sub-bacia 5					
Item	Contratado		A contratar		Total do item (R\$)
	Quant.	Custo (R\$)	Quant.	Custo (R\$)	
ETE (un.)	1,00	2.380.000,00	0,00	0,00	2.380.000,00
EE e linha de recalque (un.)	1,00	2.995.983,88	0,00	0,00	2.995.983,88
Rede coletora (km)	9,23	7.300.000,00	13,89	10.985.198,83	18.285.198,83
Emissário de esgotos (km)	4,24	200.000,00	0,00	0,00	200.000,00
				TOTAL (R\$)	23.861.182,71

(fonte: elaborado pelo autor, adaptado de trabalho não publicado²³)

Como a ETE e parte do emissário (a parte que fará a ligação entre a estrutura de desvio e a ETE) serão executados imediatamente para que o sistema entre em funcionamento, o restante pode ser executado em um segundo momento. Assumindo-se que o custo de execução do

²³ Informações fornecidas por técnicos da Prefeitura Municipal de Sapiranga, em maio de 2012.

emissário também seja proporcional ao seu comprimento, o que é plausível, haja vista que será executado ao longo de toda sua extensão em área não ocupada, acompanhando o arroio Sapiranga, e que o custo de execução da estrutura de desvio seja de R\$ 1.000,00 (trabalho não publicado²⁴), pode-se proceder à seguinte divisão (tabela 12) entre componentes imediatamente executados e aqueles que podem ser financiados pelo próprio sistema.

Tabela 12 – Divisão de custos de implantação do sistema de tratamento para a sub-bacia 5

Item	Execução imediata		Financiado pelo sistema		Total do item (R\$)
	Quant.	Custo (R\$)	Quant.	Custo (R\$)	
ETE (un.)	1,00	2.380.000,00	0,00	0,00	2.380.000,00
EE e linha de recalque (un.)	0,00	0,00	1,00	2.995.983,88	2.995.983,88
Rede coletora (km)	0,00	0,00	23,12	18.285.198,83	18.285.198,83
Emissário de esgotos (km)	0,67	31.440,02	3,58	168.559,98	200.000,00
Estrutura de regulação e desvio	1,00	1.000,00	0,00	0,00	1.000,00
Total (R\$)		2.411.440,02		21.449.742,69	23.862.182,71

(fonte: elaborado pelo autor)

Tem-se assim que o custo de implantação a ser financiado pela cobrança da taxa de tratamento é de R\$ 21.449.742,69. Lembrando que os componentes do sistema têm data base fixada em 2007, ano em que foram licitados.

4.5.3 Estimativas de arrecadação e custos operacionais da ETE

A cobrança pela coleta e tratamento incide sobre o volume de água consumida em cada residência. As vazões parasitárias, como as infiltrações na rede, são transportadas e tratadas, mas não entram na contabilização de receitas geradas pelo sistema. Como a estrutura de desvio empregada nesta simulação pode ser ajustada para desviar qualquer vazão, esta será considerada como sendo igual à gerada pelas residências da sub-bacia 5.

Para a estimativa de arrecadação, serão utilizados os valores determinados pela Companhia Riograndense de Saneamento (Corsan), constantes na tabela 13.

²⁴ Informação fornecida pelo professor Gino Gehling, orientador deste trabalho, em maio de 2012.

Tabela 13 – Estrutura tarifária de serviços de água e esgoto

TARIFA	CATEGORIA	ÁGUA			ESGOTO	
		PREÇO BASE	SERVIÇO BÁSICO	TARIFA MÍNIMA SEM HIDR.	COLETADO PREÇO m ³	TRATADO PREÇO m ³
SOCIAL	BICA PÚBLICA	1,64	6,51	22,91	0,82	1,15
	RESID. A e A1	1,39	6,51	20,41	0,70	0,97
	m ³ excedente	3,43			1,72	2,40
BÁSICA	RESIDENCIAL B	3,43	16,23	50,53	1,72	2,40
EMPRESARIAL	COMERCIAL C1	3,43	16,23	50,53	1,72	2,40
	m ³ excedente	3,90			1,95	2,73
	COMERCIAL	3,90	28,95	106,95	1,95	2,73
	PÚBLICA	3,90	57,83	135,83	1,95	2,73
	INDUSTRIAL até 1000m ²	4,43	57,83	205,01	2,21	3,10

(fonte: COMPANHIA RIOGRANDENSE DE SANEAMENTO, 2011)

A tabela 13, no tocante a esgotos, divide sua estrutura tarifária entre esgoto coletado e tratado. Como o esgoto será levado a tratamento desde um primeiro momento, a tarifa utilizada será a de esgoto tratado. Por simplificação, as seguintes premissas serão adotadas para as estimativas:

- a) todas as residências da área enquadram-se na categoria residencial B;
- b) não haverá inadimplência entre os consumidores.

Para a operação da ETE, os custos associados foram estimados por m³ tratado. A estimativa original, do ano do projeto, é de R\$ 0,34/m³ (trabalho não publicado²⁵)

4.5.4 Determinação do tempo necessário para a execução da rede separadora

Para a determinação do tempo de execução da rede separadora, necessita-se avaliar os fluxos de caixa associados à operação do sistema de tratamento. Basicamente, a expectativa de arrecadação e de gastos operacionais depende da evolução da população atendida (considerando-se o consumo médio de água *per capita* diário como constante com o passar dos anos) e da evolução da taxa de tratamento e dos custos de operação da ETE. Também deve-se atentar para a evolução dos custos de execução do restante do sistema. A tabela 14, que utiliza para a evolução dos valores a equação 9, demonstra a estimativa de tempo necessário para que se atinja o montante necessário para a execução da rede separadora. Este

²⁵ Informações fornecidas por técnicos da Prefeitura Municipal de Saporanga, em maio de 2012.

ocorre no momento em que a diferença entre o caixa acumulado aplicado e os custos de execução tornasse positiva.

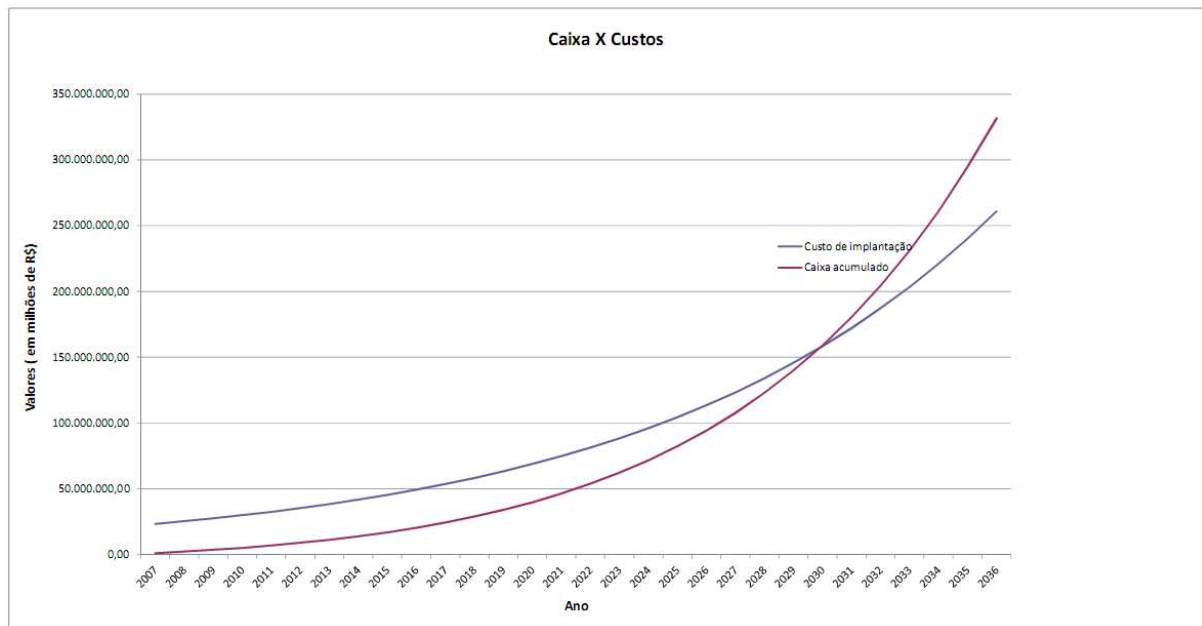
Tabela 14 – Estimativa de arrecadação e evolução dos custos de execução

Ano	Bacia 5 (hab.)	Vazão média (l/s)	Volume gerado anual (m³)	Taxa de tratamento (R\$)	Receita anual (R\$)	Custo operacional (R\$/m³)	Despesa operacional anual (R\$)	Caixa anual (R\$)	Caixa acumulado aplicado (R\$)	Custos de implantação (R\$)	Diferença (R\$)
2007	12.597	20,99	662.087,68	1,76	1.168.163,17	0,34	225.109,81	943.053,36	1.024.970,41	23.312.945,34	-22.287.974,93
2008	12.679	21,13	666.407,93	1,90	1.266.791,48	0,37	245.953,24	1.020.838,25	2.223.515,03	25.337.992,55	-23.114.477,51
2009	12.762	21,27	670.756,38	2,09	1.400.013,19	0,40	268.726,60	1.131.286,59	3.646.211,89	27.538.942,72	-23.892.730,83
2010	12.844	21,41	675.080,64	2,05	1.384.944,29	0,43	293.585,75	1.091.358,55	5.149.093,04	29.931.075,42	-24.781.982,39
2011	12.929	21,55	679.538,58	2,28	1.551.900,85	0,47	320.794,49	1.231.106,36	6.934.406,72	32.530.997,48	-25.596.590,76
2012	13.013	21,69	683.972,72	2,40	1.641.534,52	0,51	350.497,58	1.291.036,94	8.939.935,61	35.356.758,21	-26.416.822,60
2013	13.098	21,83	688.435,79	2,61	1.793.527,93	0,56	382.950,94	1.410.576,99	11.249.595,76	38.427.974,80	-27.178.379,04
2014	13.184	21,97	692.927,98	2,83	1.959.594,76	0,60	418.409,24	1.541.185,52	13.901.835,05	41.765.968,43	-27.864.133,38
2015	13.270	22,12	697.449,49	3,07	2.141.038,10	0,66	457.150,71	1.683.887,39	16.939.554,97	45.393.912,32	-28.454.357,35
2016	13.356	22,26	702.000,50	3,33	2.339.281,70	0,71	499.479,33	1.839.802,37	20.410.600,61	49.336.992,61	-28.926.392,01
2017	13.443	22,41	706.581,21	3,62	2.555.881,14	0,77	545.727,27	2.010.153,87	24.368.302,75	53.622.583,20	-29.254.280,45
2018	13.531	22,55	711.191,82	3,93	2.792.536,02	0,84	596.257,40	2.196.278,62	28.872.077,50	58.280.435,77	-29.408.358,26
2019	13.619	22,70	715.832,51	4,26	3.051.103,33	0,91	651.466,24	2.399.637,09	33.988.089,44	63.342.886,35	-29.354.796,91
2020	13.708	22,85	720.503,49	4,63	3.333.611,99	0,99	711.787,00	2.621.825,00	39.789.984,73	68.845.079,79	-29.055.095,06
2021	13.798	23,00	725.204,95	5,02	3.642.278,79	1,07	777.692,99	2.864.585,80	46.359.701,63	74.825.213,77	-28.465.512,14
2022	13.888	23,15	729.937,09	5,45	3.979.525,76	1,16	849.701,37	3.129.824,39	53.788.366,21	81.324.803,93	-27.536.437,72
2023	13.978	23,30	734.700,11	5,92	4.347.999,23	1,26	928.377,18	3.419.622,04	62.177.282,15	88.388.972,13	-26.211.689,98
2024	14.070	23,45	739.494,21	6,42	4.750.590,51	1,37	1.014.377,77	3.736.252,74	71.639.024,21	96.066.759,66	-24.427.735,45
2025	14.161	23,60	744.319,59	6,97	5.190.458,67	1,49	1.108.257,65	4.082.201,02	82.298.646,21	104.411.467,74	-22.112.821,53
2026	14.254	23,76	749.176,47	7,57	5.671.055,25	1,62	1.210.873,79	4.460.181,46	94.295.014,92	113.481.027,50	-19.186.012,58
2027	14.347	23,91	754.065,04	8,22	6.196.151,40	1,75	1.322.991,40	4.873.160,00	107.782.283,21	123.338.402,21	-15.556.119,00
2028	14.440	24,07	758.985,51	8,92	6.769.867,44	1,90	1.445.490,24	5.324.377,20	122.931.516,23	134.052.024,33	-11.120.508,10
2029	14.535	24,22	763.938,09	9,68	7.396.705,20	2,07	1.579.331,55	5.817.373,66	139.932.486,64	145.696.270,62	-5.763.783,99
2030	14.629	24,38	768.922,99	10,51	8.081.583,35	2,24	1.725.565,53	6.356.017,82	158.995.655,92	158.351.978,50	643.677,42
2031	14.725	24,54	773.940,42	11,41	8.829.875,99	2,44	1.885.339,66	6.944.536,33	180.354.360,77	172.107.007,17	8.247.353,59
2032	14.821	24,70	778.990,59	12,38	9.647.454,82	2,64	2.059.907,66	7.587.547,16	204.267.225,47	187.056.847,66	17.210.377,81
2033	14.918	24,86	784.073,72	13,44	10.540.735,21	2,87	2.250.639,33	8.290.095,88	231.020.823,22	203.305.285,65	27.715.537,56
2034	15.015	25,03	789.190,02	14,59	11.516.726,55	3,12	2.459.031,29	9.057.695,26	260.932.611,60	220.965.122,06	39.967.489,54
2035	15.113	25,19	794.339,71	15,84	12.583.087,24	3,38	2.686.718,76	9.896.368,48	294.354.170,12	240.158.956,07	54.195.214,05
2036	15.212	25,35	799.523,00	17,20	13.748.184,81	3,67	2.935.488,35	10.812.696,46	331.674.770,31	261.020.036,30	70.654.734,01

(fonte: elaborado pelo autor)

Percebe-se da tabela 14 que a diferença torna-se positiva entre os anos de 2029 e 2030, necessitando então de 23 anos, a partir do ano inicial de projeto, para que o montante necessário para a execução do restante do sistema seja acumulado. A figura 24 mostra de forma gráfica o momento em que isso ocorre, representado pela intersecção das curvas relativas ao caixa acumulado e aos custos de implantação.

Figura 24 – Curvas de caixa acumulado e custos de implantação



(fonte: elaborado pelo autor)

5 CONCLUSÕES

No cenário elaborado pelo presente trabalho, a rede separadora absoluta pôde ser executada dentro do horizonte de projeto, necessitando-se de 23 anos para que se alcançasse o montante necessário para sua efetivação. Os recursos necessários para que o sistema entre em funcionamento, correspondentes à ETE, à parte do emissário e à estrutura de regulação e desvio, respondem por em torno de 10% do valor total do sistema, portanto o desembolso imediato por parte da entidade financiadora e a contrapartida a cargo dos municípios seriam muito menores. Do ponto de vista ambiental, se a solução fosse estendida para todo o Município, a qualidade dos efluentes lançados pelo arroio Saporanga no Rio dos Sinos melhoraria significativamente e, a partir do momento em que a rede separadora fosse executada, a do próprio Arroio também.

Para a interceptação da rede pluvial, duas possibilidades foram levantadas. Uma foi redimensionar o emissário para comportar também as vazões pluviais de chuva da sub-bacia, a qual resultou em tubulações de grande diâmetro que, no momento em que a rede separadora fosse executada, seriam subaproveitadas até o fim do horizonte do projeto. Outra foi de fazer uso de estrutura de regulação e desvio de vazões, que além de ser de fácil execução não deixaria nenhuma grande estrutura ociosa quando da execução da rede separadora. Está se mostrou mais adequada para os objetivos do trabalho e foi, portanto, a escolhida.

REFERÊNCIAS

APPEL, C. R. **Avaliação da bacia do arroio Sapiranga**. Sapiranga, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9.649**: projeto de redes coletoras de esgoto sanitário. Rio de Janeiro, 1986.

_____. **NBR 10.844**: instalações prediais de águas pluviais. Rio de Janeiro, 1989.

BENETTI, A. D.; GEHLING, G. R. Sistema combinado de esgotos: possibilidades e limitações em sua utilização. In: ASSEMBLÉIA DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS SERVIÇOS MUNICIPAIS DE SANEAMENTO, 34., 2004, Caxias do Sul, **Anais...**, Porto Alegre: IPH/UFRGS, 2004. p. 1-20.

BERNARDES, R. S.; SOARES, S. R. A. **Esgotos combinados e controle da poluição: estratégia para planejamento do tratamento da mistura de esgotos sanitários e águas pluviais**. Brasília, DF: CAIXA, 2004.

BRASIL.. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. **Lei Federal 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 n. 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/L11445.htm>. Acesso em: 14 nov. 2011.

CAMPANA, N.A.; TUCCI, C.E.M. Estimativa de área impermeável de macro bacias urbanas. **Revista Brasileira de Engenharia**: caderno de recursos hídricos, [S. l.], v. 12, n. 2, p. 79-94, 1994.

COMPANHIA RIOGRANDENSE DE SANEAMENTO. **Estrutura tarifária**. Porto Alegre, 2011. Disponível em: <<http://www.corsan.com.br/sites/default/files/conteudo/Estrutura%20Tarif%C3%A1ria%20nov%20a.pdf>>. Acesso em: 29 mai. 2012.

FEDERAÇÃO DAS ASSOCIAÇÕES DE MUNICÍPIOS DO RIO GRANDE DO SUL. **Dados indicadores**: demografia. Porto Alegre, 2005. Disponível em: <http://www.portalmunicipal.org.br/entidades/famurs/demografia/mu_dem_pop_total.asp?IdEnt=5523&IdMun=100143391>. Acesso em: 17 mai. 2012.

HAMMER, M. J. **Sistemas de abastecimento de água e esgotos**. Tradução de Sérgio A. S. Almeida. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1979.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Resultados do Censo 2010 publicados no Diário Oficial da União do dia 04/11/2010**: Rio Grande do Sul. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/resultados_dou/RS2010.pdf>. Acesso em: 17 mai. 2012.

_____. **Sinopse por setores**. Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <<http://www.censo2010.ibge.gov.br/sinopseporsetores/>>. Acesso em: 29 mai. 2012.

OLIVEIRA, G.; SCAZUFCA, P.; MARCATO, F. S. Cenários e Condições para a Universalização do Saneamento no Brasil – Parte 1, **Boletim Informações FIPE**, Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas, p. 18-24, jan. 2011. Disponível em: <http://www.fipe.org.br/publicacoes/downloads/bif/2011/1_18-24-gesn.pdf>. Acesso em: 14 nov. 2011.

PINTO, J. H.F.; CAVASSOLA, G. Universalização do Esgotamento Sanitário?, **Conselho em Revista**, Porto Alegre, n. 83, p. 28, jul. 2011. Disponível em: <<http://www.crea-rs.org.br/crea/revista.php>>. Acesso em: 14 nov. 2011.

PORTAL BRASIL. **Índices financeiros brasileiros** [S. l.], 2012. Disponível em: <<http://www.portalbrasil.net/indices.htm>>. Acesso em: 17 mai. 2012.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria Estadual do Meio Ambiente. Conselho Estadual do Meio Ambiente. **Resolução n. 245**, de 20 de agosto de 2010. Dispõe sobre a fixação de procedimentos para o licenciamento de Sistemas de Esgotamento Sanitário, considerando etapas de eficiência, a fim de alcançar progressivamente os padrões de emissão e os padrões das Classes dos corpos hídricos receptores, em conformidade com os Planos de Saneamento e de Recursos Hídricos. Porto Alegre, 2010. Disponível em: <<http://www.sema.rs.gov.br/upload/Resolucao%20CONSEMA%20245-2010.pdf>>. Acesso em: 15 nov. 2011.

SAMANEZ, C. P. **Matemática financeira**: aplicação à análise de investimentos. 3. ed. São Paulo: Prentice Hall, 2002.

SAPIRANGA. **Sapiranga Município**. Sapiranga, 2012. Disponível em: <<http://www.sapiranga.rs.gov.br/index.php/historia>>. Acesso em: 17 mai. 2012.

TEIXEIRA, C. A. **Apostila de hidrologia aplicada**. Apostila da disciplina de Hidrologia aplicada. Curitiba: Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2010. Disponível em: <http://pessoal.utfpr.edu.br/mannich/arquivos/hidro_celimar.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2012.

TSUTIYA, M.T.; ALEM SOBRINHO, P. **Coleta e transporte de esgoto sanitário**. 2. ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica de São Paulo, 2000.

TSUTIYA, M. T.; BUENO, R. C. R. Contribuição de águas pluviais em sistemas de esgoto sanitário no Brasil. **Revista Água Latinoamérica**, Tucson, v. 4, n. 4, p. 20-25, jul./ago. 2004. Disponível em: <http://www.agualatinoamerica.com/docs/pdf/070804%20Sanitario%20Brasil_port.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2011.

TUCCI, C. E. M. **Gestão de águas pluviais urbanas**. Brasília: Ministério das Cidades, out. 2005. Saneamento para Todos, Programa de Modernização do Setor de Saneamento. v. 4. Disponível em: <http://www.sedur.ba.gov.br/pemapes/pdf/material_tecnico/PUBLYN2.PDF>. Acesso em: 15 nov. 2011.

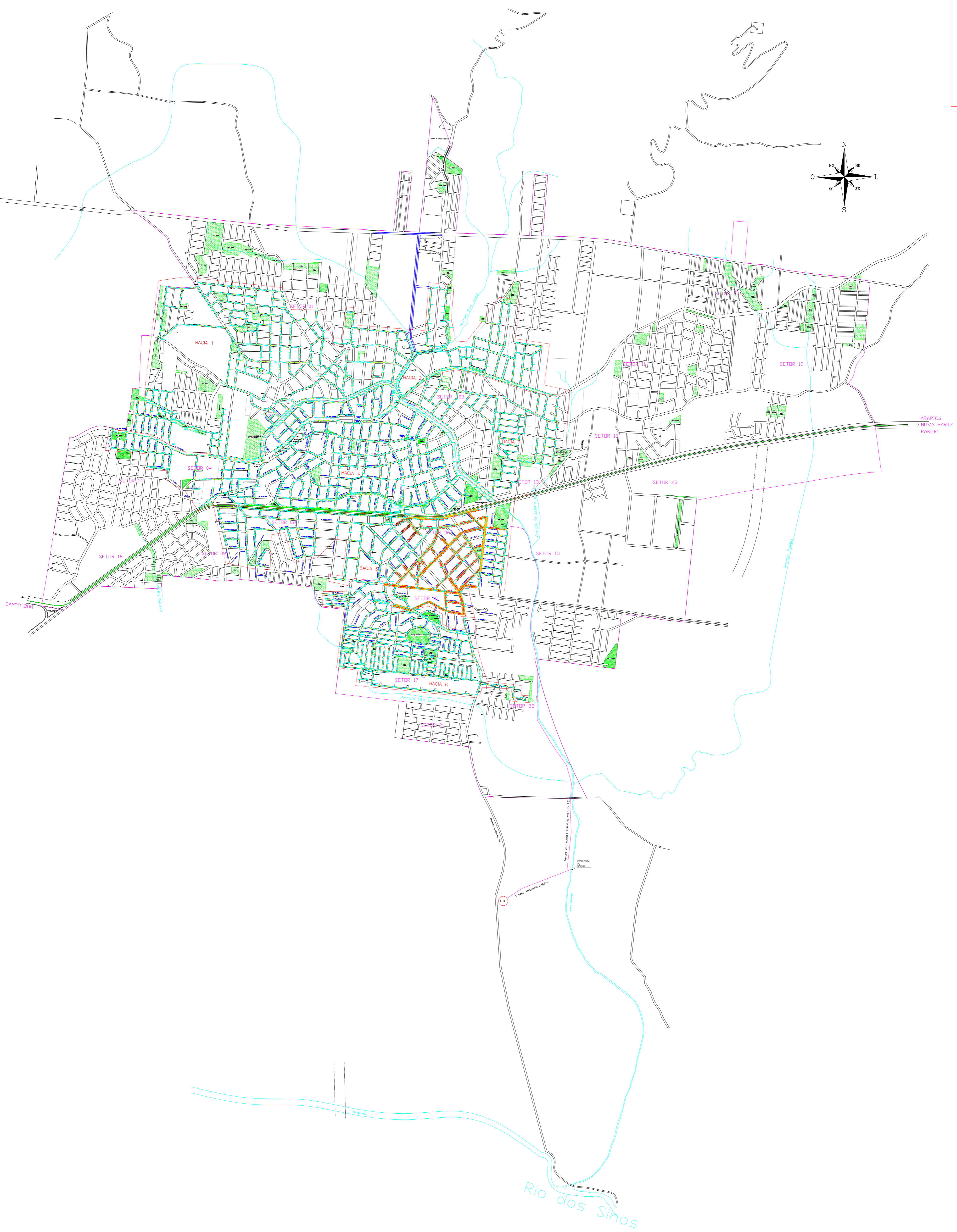
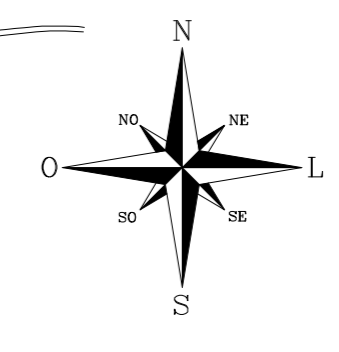
TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L. L.; BARROS, M. T. **Drenagem urbana**. 1ª ed. Porto Alegre: Editora da Universidade, 1995.

WORSNIP, P. United Nations assembly asserts water rights, some disagree, **Reuters**, Genebra, jul. 2010. Disponível em: <<http://www.reuters.com/article/2010/07/28/us-un-water-idUSTRE66R5DT20100728?feedType=RSS&feedName=everything&virtualBrandChannel=11563>>. Acesso em: 14 nov. 2011.

ANEXO A – Projeto do sistema de esgotos de Sapiranga

LEGENDA

- (T) FINAL DE REDE
- (C) CAIXA DE PASSEIO
- (S) SELIM
- (P) POSTO DE VISITA
- REDE CONCLUIDA
- PAD DN400 EE-EET



Rio dos Sinos