



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E
AMBIENTAL

QUELLE REBOUÇAS DOS SANTOS

AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA PRECIPITAÇÃO NA REDE DE ESGOTAMENTO
SANITÁRIO DO TIPO SEPARADOR ABSOLUTO - FEIRA DE
SANTANA - BA

FEIRA DE SANTANA-BA
OUTUBRO DE 2013

QUELLE REBOUÇAS DOS SANTOS

AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA PRECIPITAÇÃO NA REDE DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO DO
TIPO SEPARADOR ABSOLUTO - FEIRA DE
SANTANA - BA

Projeto apresentado ao programa de Pós Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre em Engenharia Civil e Ambiental com área de concentração em Saneamento.

**Orientador: Profº Dr. Sílvio Roberto Magalhães Orrico Co-Orientador:
Profº Dr. Eduardo Henrique Borges Cohim Silva**

FEIRA DE SANTANA-BA
OUTUBRO DE 2013

Ficha Catalográfica - Biblioteca Central Julieta Carteado

Santos, Quelle Rebouças dos

S235a Avaliação da influência da precipitação na rede de esgotamento sanitário do tipo separador absoluto - Feira de Santana / Quelle Rebouças dos Santos. - Feira de Santana, 2013.

76 f.: il.

Orientador: Sílvio Roberto Magalhães Orrico.

Co-orientador: Eduardo Henrique Borges Cohim Silva.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Feira de Santana, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, 2013.

Esgotamento sanitário - Feira de Santana, BA. 2. Energia - Consumo.

3. Precipitação (Meteorologia). I. Orrico, Sílvio Roberto Magalhães, orient.

II. Silva, Eduardo Henrique Borges Cohim, co-orient. III. Universidade Estadual de Feira de Santana. IV. Título.

CDU: 628 (814.22)

AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA PRECIPITAÇÃO NA REDE DE
ESGOTAMENTO SANITÁRIO DO TIPO SEPARADOR ABSOLUTO - FEIRA DE
SANTANA – BA

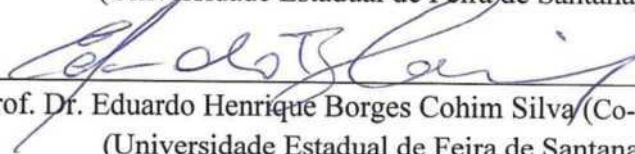
Quelle Rebouças dos Santos

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL.

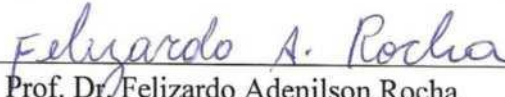
Aprovada por:



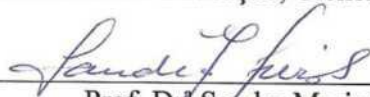
Prof. Dr. Sílvio Roberto Magalhães Orrico (Orientador)
(Universidade Estadual de Feira de Santana)



Prof. Dr. Eduardo Henrique Borges Cohim Silva (Co-Orientador)
(Universidade Estadual de Feira de Santana)



Prof. Dr. Felizardo Adenilson Rocha
(Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnológica da Bahia)



Prof. Dr. Sandra Maria Furiam Dias
(Universidade Estadual de Feira de Santana)

FEIRA DE SANTANA, BA – BRASIL

OUTUBRO/2013

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho só foi possível porque contei com a ajuda, amizade e apoio de muitas pessoas fundamentais para sua concretização, portanto quero expressar aqui o meu muito obrigado a todos que participaram de mais essa conquista.

Agradeço aos meus pais José (*in memoriam*) e Sivanilda, por tudo.

Minha filha Júlia e ao meu irmão e amigo Bruno que sempre me ajudou.

Ao professor Silvio Orrico, orientador deste trabalho pela atenção e apoio dedicado. E que através do seu conhecimento e disponibilidade, tornou possível a realização dessa pesquisa.

Ao professor Eduardo Cohim como professor e co-orientador, pela confiança e contribuições fundamentais para a conclusão deste trabalho.

Aos professores que compuseram a banca de defesa Felizardo Rocha e Sandra Furiam pela disponibilidade e relevantes contribuições.

Aos meus amigos e companheiros de mestrado pela motivação e por fazerem desse tempo muito mais agradável, principalmente Nara, Eliz, Rafaela e Mariana.

À Universidade Estadual de Feira de Santana, através do Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil e Engenharia Ambiental, pela oportunidade de realizar este curso. A dois grandes amigos, Sérgio e Alexsandro, que não mediram esforços para me apoiar. Aos professores do curso de Mestrado, pelos ensinamentos que tanto contribuíram para minha formação.

A EMBASA, nas pessoas de Roque Angélico, Márcio e Antônio Fábio.

À FAPESB pelo apoio financeiro ao qual esta pesquisa não poderia ser concluída.

Deixo aqui o reconhecimento a todos que de alguma forma colaboraram para a realização desse trabalho.

Resumo da Dissertação apresentada ao PPGECEA/UEFS como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil e Engenharia Ambiental (M.Sc.)

AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA PRECIPITAÇÃO NA REDE DE ESGOTAMENTO
SANITÁRIO DO TIPO SEPARADOR ABSOLUTO - FEIRA DE
SANTANA - BA

Quelle Rebouças dos Santos Outubro/2013

Orientador: Prof^o Dr. Silvio Roberto Magalhães Orrico Co-

Orientador: Prof^o Dr. Eduardo Henrique Borges Cohim Silva

Programa: Engenharia Civil e Ambiental

Esta pesquisa teve com objetivo avaliar a influência da precipitação no consumo de energia das estações elevatórias do sistema de esgoto da cidade de Feira de Santana. Foram coletados dados de consumo de energia nas estações elevatórias, consumo de água e precipitação, durante período de 2008-2011. Os testes estatísticos coeficiente de correlação de postos de Spearman, teste de qualidade de ajuste de Anderson-Darling, o teste estatístico t de Student, e a estatística de Ljung-Box foram aplicados na análise. Os resultados mostram que, em relação a uma potencial influência da precipitação efetiva no consumo de energia das estações elevatórias, a correlação não é significativamente diferente de zero com um nível de confiança de 95% para todas as 15 estações elevatórias analisadas. Resultados semelhantes foram obtidos em relação à influência potencial do consumo público de água no consumo de energia das estações elevatórias. Contudo, considerando o consumo total de energia nas estações elevatórias, foi possível observar uma correlação significativa, embora fraca, entre a precipitação efetiva e esse consumo de energia ($R=0.30$). Assim, calculou-se que 9% deste consumo energético se deve à precipitação efetiva. Além de estes pontos, a análise da correlação entre o consumo de energia de todas as estações revela que todas as correlações possíveis são fracas, e que apenas em 12% dos casos a correlação é significativamente diferente de zero com um nível de confiança de 95%, sendo que esta correlação não se verificou em estações elevatórias que se encontram em série no sistema. Adicionalmente, testes de sazonalidade foram aplicados às séries temporais de precipitação e consumo de água, revelando sazonalidade com um ano de atraso, sugerindo boa qualidade de dados relativamente a estes parâmetros. Estes resultados apontam para a hipótese de inconsistência dos dados disponibilizados de consumo de energia nas estações em relação ao nosso estudo. Uma explicação possível foi o fato de que os dados de medição

de energia encontraram-se agregados em médias mensais, assim podendo potencialmente não refletir picos de precipitação medidos em uma base diária. Contudo, os resultados deste estudo, como conclusão preliminar, apontam que o impacto da precipitação no consumo total de energia no sistema de tratamento de águas residuais de Feira de Santana deverá ser pouco significativo.

Palavras chave: estação elevatória de esgoto, precipitação, sistema de esgotamento sanitário.

Summary of dissertation submitted to PPGECEA / UEFS as part of the requirements for obtaining the degree of Master of Science (M.Sc.)

ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF PRECIPITATION ON THE URBAN SEPARATE
SEWAGE SYSTEM OF FEIRA DE SANTANA - BA

Quelle Rebouças dos Santos October/2013

Aadvisor: Prof^o Dr Silvio Roberto Magalhães Orrico Co-Advisor:

Prof^o Dr Eduardo Henrique Borges Cohim Silva Department:

Civil and Environmental Engineering

The objective of this study was to evaluate the influence of stormwater on the energy consumption in the pump stations of the urban sewage system of Feira de Santana city. Data concerning the energy consumption in the pump stations, the water consumption in the area, and the precipitation rate were collected for the time period of 2008-2011. Statistical tests were performed by applying the Spearman's rank correlation, the Anderson-Darling goodness-of-fit test, the Student's test t, and the Ljung-Box test. The results showed that, regarding a potential influence of the effective precipitation rate on the energy consumption in the pumps, the correlation not significantly different from zero with a 95% confidence level for all the 19 pump stations. Similar results were obtained for the case of the potential influence of the public water consumption on the energy consumption in the pump stations. However, considering the total energy consumption in the pump stations, the correlation with the effective precipitation is significant, although weak ($R=0.30$). Thus, it was estimated that 9% of the total energy consumption in the pump stations is explained by the precipitation. By analyzing the correlation between the energy consumption of all the pump stations, it was found that the all possible correlations are weak, and only in 12% of the cases the correlation is significantly different from zero with a 95% confidence level. Moreover, such correlation was not observed in pumping stations installed in series. In addition, seasonality tests applied to the time series precipitation and water consumption revealed seasonality with a one year lag, suggesting good quality of data concerning these parameters. These results point to the hypothesis of potential errors or inconsistency with our study in the data collecting process regarding the energy consumption in the pump stations. A possible explanation lies in the fact that the energy consumption times series was made available in a monthly basis, thus potentially not reflecting precipitation peaks measured in a daily basis. The results of this study, as a preliminary

conclusion, point that the impact of precipitation on the overall energy consumption in the wastewater treatment system of Feira de Santana is not significant.

Keys words: sewage pumping station, precipitation, sewage system.

Lista de Figuras

Figura 1. População sem acesso à rede coletora de esgoto, segundo as grandes Regiões.	21
Figura 2. Sistema unitário de esgotamento	22
Figura 3. Comparação de intensidade de chuva em cidades europeias e brasileiras	23
Figura 4. Sistema separador absoluto	24
Figura 5. (a) Ligação direta de esgoto em rede pluvial; (b) “Língua Negra” em praia de Maceió - AL a partir da rede de drenagem local	26
Figura 6. Perfil de Vazão Afluente da ETE Ligeiro e Índice de Precipitação, para o período entre os dias 13 de fev. de 2011 e 27 de ago de 2011	33
Figura 7. Influência de águas pluviais no SES de Santo André - Bacia do córrego Araçatuba ..	36
Figura 8. Hidrograma comparativo entre precipitação e vazão no mês de agosto 2009.	38
Figura 9. Mapa de localização das sub-bacias da cidade de Feira de Santana	39
Figura 10. Mapa de localização de Feira de Santana	40
Figura 11. Uso e ocupação do solo no município de Feira de Santana	42
Figura 12. Classificação do solo para o município de Feira de Santana	43
Figura 13. Gráfico de sazonalidade da Precipitação-P, de Feira de Santana para o período de 2008-2011	57
Figura 14. Gráfico de Sazonalidade do consumo total de água de Feira de Santana para o	
..... per	
íodo de 2008-2011	58
Figura 15. Hidrograma comparativo entre os dados de precipitação e o consumo de água para o período de 2008-2011	58
Figura 16. Gráfico de Sazonalidade da EEE Feira VI-batalhão em Feira de Santana para o	
..... per	
íodo de 2008-2011	59
Figura 17. Influência da variação de CN no coeficiente de correlação entre a precipitação efetiva e os consumos de energia das elevatórias	61
Figura 18. Influência da variação de CN para o t calculado entre a precipitação efetiva e as estações elevatórias de esgoto - EEE	62

Lista de Tabelas

Tabela 1. CME para as duas regiões avaliadas na Bacia do Cabuçu de Baixo/SP em comparação com dados internacionais como referência.....	30
Tabela 2. Contribuições de águas pluviais em sistemas de esgoto sanitário	36
Tabela 3. Estações elevatórias de esgoto avaliadas na pesquisa.....	41
Tabela 4. Parâmetros e frequência utilizados nesta pesquisa	45
Tabela 5. Valores para precipitação efetiva, obtidos através dos dados de pluviosidade pelo método da CN, para a cidade de Feira de Santana no período de 2008-2011	48
Tabela 6. Matriz dos coeficientes de correlação entre todas as séries de dados em análise (precipitação - consumo de energia das EEE, precipitação efetiva - consumo de energia das EEE, consumo de água-consumo de energia das EEE, e entre o consumo de energia das EEE)	51
<u>Tabela 7. Matriz dos valores de t calculado para avaliação do teste de significância das séries de dados</u>	<u>55</u>

Lista de Equações

Equação 1	44
Equação 2	49
Equação 3	53

Lista de abreviaturas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CN	Curva Número
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EEE	Estação Elevatória de Esgoto
EMBASA	Empresa Baiana de Saneamento
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
PNSB	Plano Nacional de Saneamento Básico
PVC	Policloreto de Vinila
SCS	Soil Conservation Service
SST	Sólidos Suspensos Totais
UEFS	Universidade Estadual de Feira de Santana

Sumário

Lista de Figuras	viii
Lista de Tabelas	ix
Lista de Equações	x
Lista de abreviaturas	xi
1	IN
TRODUÇÃO	14
2.OBJETIVO	17
2.1 OBJETIVO GERAL	17
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
3.1 CICLO HIDROLÓGICO	18
3.2 SISTEMAS DE DRENAGEM URBANA	18
3.3 SISTEMAS DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO	20
3.3.1 Sistema de esgotamento tipo unitário	22
3.3.2 Sistema de esgotamento do tipo separador absoluto	24
3.3.3 Sistema de esgotamento do tipo misto ou parcial	25
3.4 AS ÁGUAS PLUVIAIS E O SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO	26
3.4.1 Considerações Gerais	26
3.4.2 Influência das Águas Pluviais na Qualidade do Esgoto	28
3.4.2.1 Variação na qualidade dos esgotos	29
3.4.2.2 Presença de Material Sólido	31
3.4.3 Sobrecarga Hidráulica	32
3.4.4 Estado da Arte	34
4 METODOLOGIA	39
4.1 TIPO DE ESTUDO	39
4.2 CAMPO DE ESTUDO	39
4.3 COLETA DE DADOS	41
4.4 TRANSFORMAÇÃO DOS DADOS DE PRECIPITAÇÃO EM ESCOAMENTO SUPERFICIAL DIRETO	42
4.5 ANÁLISE DE DADOS	45
4.6 MÉTODOS ESTATÍSTICOS PARA ANÁLISE DE DADOS	45
5.	RE
SULTADOS E DISCUSSÃO	47
5.1 SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO DE FEIRA DE SANTANA	47
5.2 QUANTIFICAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO EFETIVA	48
5.3 COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO	49

5.5.1. Análise de sensibilidade a CN	60
5.6	D
DISCUSSÕES ADICIONAIS	63
6.	C
CONCLUSÕES	65
REFERÊNCIAS	66
ANEXOS	71

1 INTRODUÇÃO

Na Europa e nos Estados Unidos os primeiros sistemas de esgotos construídos para coletar e transportar águas pluviais tinham a conexão direta das residências aos canais subterrâneos ou conduto. A partir de 1815, a cidade de Londres, na Inglaterra, autorizou o lançamento de águas residuárias na rede pluvial, surgindo o sistema combinado ou unitário de esgotamento sanitário.

Em países situados em regiões subtropicais, onde as chuvas tem distribuição mais regular ao longo do ano e com alto poder econômico, o sistema de esgotamento unitário teve melhor desempenho, já em áreas tropicais, onde os índices pluviométricos são elevados - como no Brasil - há limitações de recursos financeiros, uma vez que esse tipo de sistema demanda um alto investimento, inviabilizando o uso deste tipo de sistema (MELLO e REDA 2003).

Por esse motivo, foi planejada e aplicada uma solução mediadora, o sistema separador parcial ou misto que foi inicialmente implantado no Rio de Janeiro, o qual recebia os esgotos domésticos mais a parcela de águas pluviais proveniente dos telhados e pátios das residências atendidas, constituindo um sistema misto.

Há ainda um terceiro tipo, o separador absoluto, o qual os Estados Unidos foram os primeiros a implantar em 1879 na cidade de Memphis (Tennessee, EUA), neste sistema a rede de esgotos recebe exclusivamente águas residuárias, de modo que, as águas pluviais são coletadas por outra rede independente, o que reduz o custo do afastamento das águas pluviais, permitindo seu lançamento no curso de águas mais próximos, sem necessidade de tratamento.

O sistema separador absoluto para as redes de esgoto e drenagem pluvial passou a ser adotado em todo o mundo - incluindo o Brasil - onde devido a incidência de chuvas intensas com grandes vazões de águas pluviais a serem conduzidas que, caso fossem encaminhadas para uma estação de tratamento de esgoto - ETE, esta deveria ter grandes dimensões (com aumento do custo do investimento) e ficaria ociosa na maior parte do tempo. Situação oposta ocorre na Europa onde a chuva tem geralmente pequena intensidade, e o acréscimo de vazão de água de chuva nas galerias e nas estações de tratamento é pequeno, o que justifica economicamente a adoção do sistema misto.

No Brasil, a obrigatoriedade do uso desse sistema se deu a partir de 1912 para todas as áreas edificadas, porém em cidades como o Rio de Janeiro, ainda existia o sistema misto, favorecendo a interconexão entre os dois sistemas, uma vez que apenas 35% da área física do município possuía, de fato, sistema separador absoluto, e que ainda pode ser observado (ROSSO et al. 2011). Contudo, apenas a utilização desse tipo de sistema, não consegue garantir a função de coletar, transportar, tratar e dar uma destinação final adequada para esse efluente, considerando o tempo de vida útil da rede.

Somada a esta questão, existem ainda ligações pluviais que prejudicam o bom funcionamento das redes de esgotamento sanitário do tipo separador absoluto, essas ligações ocasionam a não segregação dessas duas correntes. Fato que acontece principalmente devido falta de planejamento urbano e fiscalização, desconhecimento por parte da população e à insuficiência da extensão da rede de águas residuárias que não alcançam toda a população.

Outro fator refere-se a ocorrência de chuvas torrenciais que não só interfere no aumento da vazão do esgoto, como também altera a sua qualidade, fazendo com que o sistema de tratamento de esgoto passe a receber a vazão das águas residuárias e uma parcela das águas pluviais, diminuindo assim a sua eficiência. Outro fator importante acontece de forma inversa, a utilização das galerias de águas pluviais para lançamento dos efluentes, também por meio de ligações irregulares, o que provoca impactos ambientais negativos, como a destinação direta de efluentes, em corpos de água sem o devido tratamento.

Para o correto funcionamento do sistema separador absoluto, as vazões coletadas e transportadas pela rede devem ser as de origem dos esgotos domésticos, somados aos de líquidos industriais e águas de infiltração. Principalmente nos grandes centros urbanos onde é necessário desenvolver um planejamento integrado da água na cidade onde os componentes de manancial, esgotamento sanitário, drenagem urbana, resíduo sólido, deslizamento de encostas, inundação ribeirinha sejam avaliados de forma integrada e relacionados com a causa principal que são o uso e a ocupação do solo urbano.

Os serviços prestados pela rede de esgoto são considerados essenciais, devido a sua importância para a [saúde pública](#) e para o [meio ambiente](#), pois a sua falta ou as condições precárias, aliadas a fatores sócio-econômico-cultural, podem trazer problemas de saúde coletiva à população além da degradação dos ecossistemas.

Embora no Brasil, adote-se o sistema separador absoluto, pesquisas sobre este assunto demonstram que o sistema de grande parte das cidades brasileiras, é de fato o sistema separador parcial.

O problema supracitado sobre o funcionamento desse sistema perpassa por alguns fatores tais como atendimento deficitário de coleta e tratamento de esgoto sanitário, a existência de ligações irregulares de esgoto pluvial à rede de esgoto e vice-versa, falta de fiscalização e de pessoal qualificado, e necessidade de investimentos altos para ampliação da rede.

Alguns destes fatores ocorrem no sistema de esgotamento sanitário de Feira de Santana, Bahia, assim como o lançamento de águas pluviais na rede de esgoto que é do tipo separador absoluto. Esta situação interfere no sistema de tratamento e ocasiona problemas operacionais prejudicando sua eficiência. Alguns dos problemas gerados são desgastes do equipamento, reduzindo sua vida útil, extravasamento, entupimento, devido aos sólidos presentes nessas águas e refluxo (para as casas).

Ocorre também, com esta interferência, o aumento da vazão que pode sobrecarregar as estações elevatórias de esgotos - EEE, ocasionando sobrecarga hidráulica à rede, levando a alteração dos condicionantes utilizados para os dimensionamentos de projetos, determinando uma elevação nos custos energéticos para o bombeamento destes efluentes.

Diante disto é necessário identificar quais as características quantitativas das águas das sub-bacias da rede de esgoto doméstico do tipo separador absoluto que chegam a estação de tratamento de esgoto. Tal avaliação poderá gerar informações importantes sobre a condição atual do sistema de esgotamento sanitário, auxiliando nas tomadas de decisões referente ao sistema atualmente adotado.

2.OBJETIVO

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a influência das precipitações pluviais em um sistema de esgotamento sanitário projetado como separador absoluto.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

S Quantificar a precipitação efetiva na cidade de Feira de Santana;

S Correlacionar a precipitação efetiva com o consumo de energia de estações elevatórias de esgoto na cidade de Feira de Santana;

S Verificar possíveis correlações do consumo de energia das estações elevatória com variações sazonais de consumo de água.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 CICLO HIDROLÓGICO

O ciclo hidrológico consiste no fenômeno de circulação global da água, ou seja, a quantidade de água existente no planeta se conserva, mantendo-se constante ao longo do tempo, como um ciclo fechado. Entretanto, segundo Silveira (2009), quando se considera áreas menores de drenagem, o ciclo hidrológico é caracterizado como aberto em nível local, visto que os movimentos contínuos tanto da atmosfera quanto da superfície terrestre fazem com que os volumes evaporados em um determinado local sejam precipitados em outro. Os principais componentes do ciclo hidrológico são a precipitação, a interceptação, a infiltração, a transpiração, o escoamento superficial e a evaporação, visto que estes interagem diretamente com a atmosfera.

O aumento ou diminuição de áreas impermeabilizadas pode afetar negativa ou positivamente o ciclo hidrológico em nível local, onde é possível verificar que o aumento na quantidade de superfícies impermeáveis gera um aumento na parcela de precipitação que escoam superficialmente.

Pois, a chuva que atinge a superfície do solo e não se infiltra, desencadeia o processo do escoamento superficial direto e parte desta água pode atingir as redes coletoras de esgoto, através dos poços de visita e das ligações diretas das redes das águas pluviais dos telhados e dos quintais dos lotes. Este tipo de evento pode acarretar em sérios problemas nos sistemas de esgotamento sanitário, conforme será descrito posteriormente.

3.2 SISTEMAS DE DRENAGEM URBANA

Os sistemas de águas pluviais podem ser classificados de acordo com a magnitude do escoamento, como: drenagem na fonte, microdrenagem e macrodrenagem. Nesse sentido, as obras de drenagem urbana em qualquer nível do sistema, dependem do risco ao qual se expõe a população e os bens materiais públicos e particulares existentes, além do custo da obra.

Os sistemas de drenagem urbana utilizam tanto medidas estruturais para o escoamento das águas em áreas rurais e urbanas, quanto medidas não estruturais que visam amortizar os riscos e prejuízos que podem ser causados pelo gerenciamento inadequado das águas pluviais.

Para Tucci (2003) as medidas estruturais são aquelas que modificam o sistema fluvial (ou o meio ambiente) através de obras na bacia (medidas extensivas) ou no rio (medidas intensivas) para evitar o extravasamento do escoamento para o leito maior decorrente das enchentes.

As medidas intensivas modificam a condição dos sistemas naturais de drenagem, notadamente rios e riachos. A depender da problemática, o projeto define a obra a ser executada mediante efeitos desejáveis como aceleração, retardamento ou desvio do escoamento. Já as medidas extensivas atuam sobre a superfície da bacia em parte da mesma ou na sua totalidade, tendo como finalidade a combinação de efeitos de proteção ambiental, melhoria do plantio e conservação do solo com redução da vazão, sendo mais eficazes para aplicação em pequenas bacias (TUCCI, 2003). As principais medidas extensivas são reflorestamento e preservação da cobertura vegetal e controle da erosão do solo.

Vários problemas são gerados diante de um sistema de drenagem ineficiente e/ou da má gestão do mesmo. Nesse sentido pode-se citar o aumento da poluição em lagos, córregos e rios próximos às concentrações urbanas, e associadas à sua rápida expansão, evidencia a utilização inadequada das redes pluviais para lançamento de efluentes domésticos pela população.

Alguns autores relatam que a falta de planejamento da drenagem urbana, modifica a carga hidráulica da rede, podendo esta operar como conduto forçado. Esse tipo de situação ocorre principalmente em redes coletoras de esgoto mais antigas, ocasionado pela diferença de cota entre o lote que possui cota inferior ao do meio fio da rua (FESTI, 2005; NASCIMENTO e HELLER, 2005; DIAS, KLIGERMAN e COHEN, 2007).

Outro ponto relevante é o período inicial de escoamento de águas pluviais durante o qual a concentração de poluentes é substancialmente maior que em períodos posteriores é conhecido como *first flush* ou primeira descarga. Nesse período, uma enorme quantidade de poluentes é lançada nos corpos de água receptores ou quando está ligado à rede de esgoto chega até as estações de tratamento. De acordo com Tucci

(2005), a carga poluidora depende de uma série de fatores, como a limpeza urbana e sua frequência, a intensidade da precipitação e sua distribuição temporal e espacial, assim como da época do ano e o tipo de uso da área urbana.

O escoamento de águas pluviais refere-se à precipitação efetiva, que é a parcela da precipitação que irá gerar este escoamento superficial. Um dos métodos para que possa ser quantificado este escoamento superficial, foi desenvolvido pelo *Soil Conservation Service* (SCS) o método da curva número (CN), que transforma precipitação em precipitação efetiva. A metodologia da curva número do SCS se baseia na classificação hidrológica do solo, de acordo com grupo hidrológico, sua utilização (uso do solo) e a condição de sua superfície, no que se refere à potencialidade de gerar escoamento superficial.

3.3 SISTEMAS DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO

As cidades brasileiras apresentaram nas últimas décadas uma expansão significativa e com conseqüente crescimento populacional, porém esta expansão ocorreu sem o devido planejamento, impactando de forma negativa o ambiente. Dentro deste contexto, a oferta de saneamento básico, serviços fundamentais para qualidade de vida, é prejudicada tanto em sua abrangência quanto eficiência. O déficit no setor de saneamento básico no Brasil é elevado, sobretudo no que se refere à coleta e tratamento dos efluentes. Segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento - PNSB (BRASIL, 2010), apenas 55,2% dos municípios brasileiros possuem o serviço de esgotamento sanitário por rede coletora, sistema este considerado o adequado. Em comparação com a pesquisa anterior, registrou um modesto aumento de 3%. Dentre as grandes regiões, o Nordeste apresentou o maior índice de população sem cobertura para a rede coletora de esgotamento sanitário, Figura 1, o Piauí, Maranhão e Bahia, foram os Estados que apresentaram maior carência.

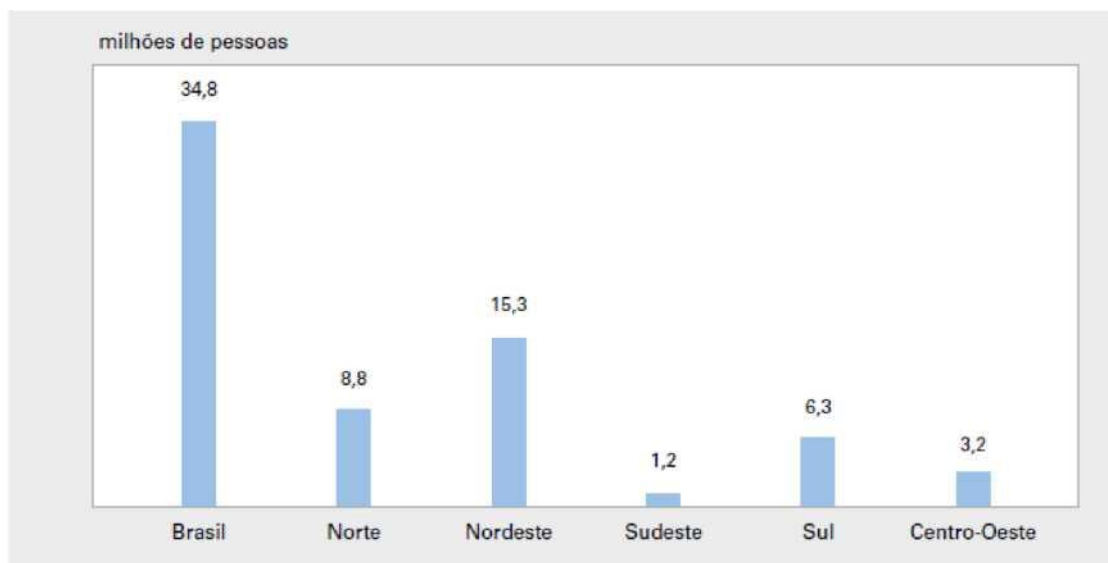


Figura 1. População sem acesso à rede coletora de esgoto, segundo as grandes Regiões.
Fonte: BRASIL - 2010.

Os demais serviços de saneamento apresentaram as seguintes estatísticas: manejo de águas pluviais (94,5%), rede geral de distribuição de água (99,4%) e manejo de resíduos sólidos (100,0%). Ressalta-se que, para o esgotamento sanitário o valor apresentado responde somente se existe rede coletora do serviço no município, outros fatores como o número de domicílios atendidos, a extensão da rede, a qualidade do atendimento e se há tratamento depois de captado o efluente, não é considerado. Assim como os resíduos sólidos, onde a porcentagem apresentada é referente apenas a sua coleta (BRASIL, 2010).

Um dos maiores problemas encontrados pelas empresas concessionárias que operam o sistema de esgoto na maioria dos municípios é garantir a eficiência deste sistema uma vez que há a inserção de águas pluviais na rede de esgoto, que chegam nas estação elevatória de esgoto - EEE e nas estações de tratamento de esgoto - ETE, causando sobrecarga da vazão promovendo o excesso de efluentes conduzidos para estas unidades que ocasiona baixa eficiência no tratamento do esgoto sanitário. Acarretando também poluição dos recursos hídricos e prejuízo ao meio ambiente e à saúde da população.

Dentre os sistemas utilizados para a captação, condução, tratamento e disposição final dos esgotos produzidos em uma cidade (esgotamento sanitário) podem ser de três tipos: unitário, separador parcial e separador absoluto.

3.3.1 Sistema de esgotamento tipo unitário

O sistema de esgotamento unitário ou sistema combinado é aquele em que as águas residuárias (domésticas e industriais), águas de infiltração (água de subsolo que penetra no sistema através de tubulações e órgãos acessórios) e águas pluviais veiculam por um único sistema, conforme apresentado na Figura 2.

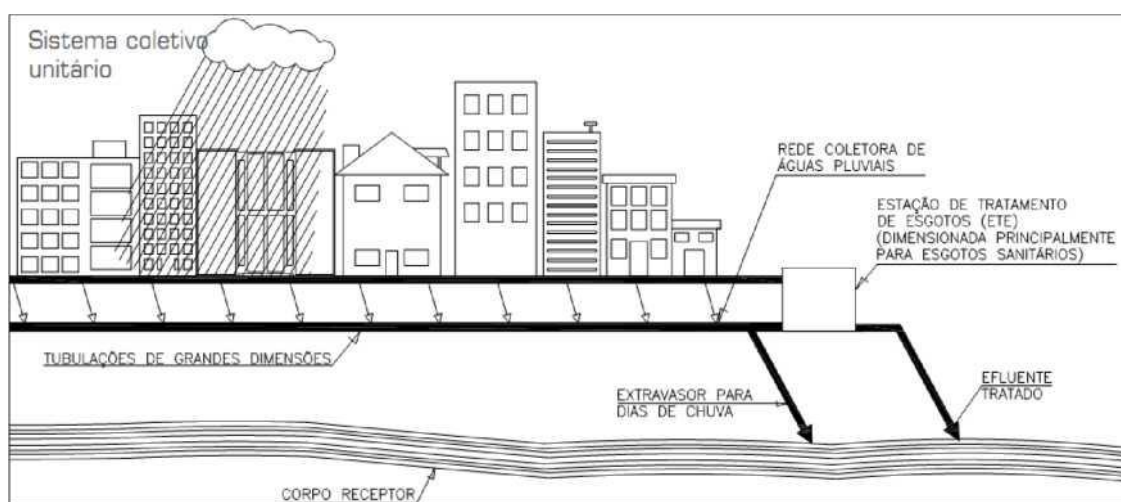


Figura 2. Sistema unitário de esgotamento.

Fonte: Barros et al. (1995).

Muito usado em países europeus, as redes deste tipo de sistema de esgotamento foram construídas em épocas anteriores à utilização do sistema separador. Este sistema foi desenvolvido para as condições destes países, uma vez que nestas regiões as precipitações atmosféricas são bem inferiores aos países de clima tropical como o Brasil. Conforme pode ser observado na Figura 3, a intensidade da chuva em cidades europeias é aproximadamente três vezes inferior que a intensidade de chuva observada em cidades brasileiras, dessa forma, a vazão de águas pluviais é consideravelmente menor na Europa do que no Brasil (TSUTIYA e BUENO, 2005).

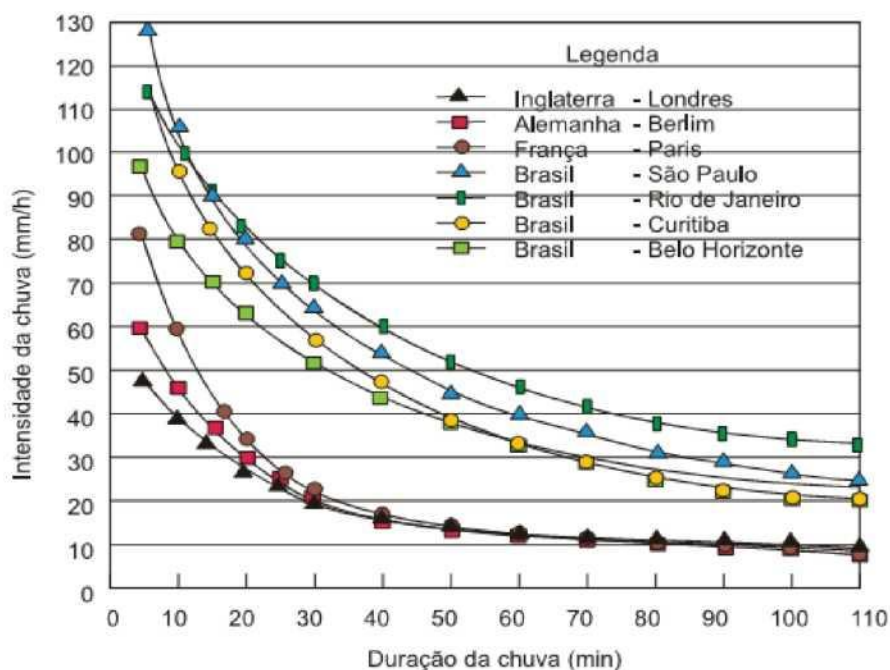


Figura 3. Comparação de intensidade de chuva em cidades europeias e brasileiras.

Fonte: Tsutiya e Bueno (2005).

Para Tsutiya e Alem Sobrinho (1999) no sistema unitário há alguns fatores importantes que devem ser considerados:

- S O sistema exige desde o início investimentos elevado, devido às grandes dimensões dos condutos e das obras complementares;
- S A aplicação dos recursos precisa ser feita de maneira mais concentrada, reduzindo a flexibilidade de execução programada por sistema;
- S As galerias de águas pluviais, que em cidades brasileiras são executadas em 50% ou menos das vias públicas, terão de ser construídas em todos os logradouros;
- S O sistema não funciona bem em vias públicas não pavimentadas, que se apresentam com elevada frequência em cidades brasileiras;
- S As obras são de difícil e demorada execução;
- S Em municípios operados pelas companhias estaduais de saneamento no Brasil, a responsabilidade da drenagem urbana é da prefeitura municipal e o sistema de esgoto da companhia estadual.

No sistema unitário, mesmo se tratando de países europeus, onde a vazão de águas pluviais é bem menor que o Brasil, o pico de vazão durante a chuva intensa pode alcançar valores centenas de vezes maiores do que a vazão de esgoto durante o período seco, sobrecarregando o sistema de tratamento de esgotos (TSUTIYA e BUENO, 2005).

3.3.2 Sistema de esgotamento do tipo separador absoluto

Neste tipo de sistema as águas residuárias (industriais e domésticas) e as águas pluviais são transportadas em um sistema de drenagem pluvial independente, ou seja, no sistema separador absoluto, exemplificado na Figura 4, a contribuição de águas pluviais por meio de ligações indevidas na rede de esgoto não é considerada no dimensionamento do sistema de esgotamento sanitário em todas suas etapas. Dessa forma, no Brasil a NBR 9649 da ABNT (1986) recomenda que o sistema de esgotamento sanitário adotado no Brasil seja o separador absoluto.

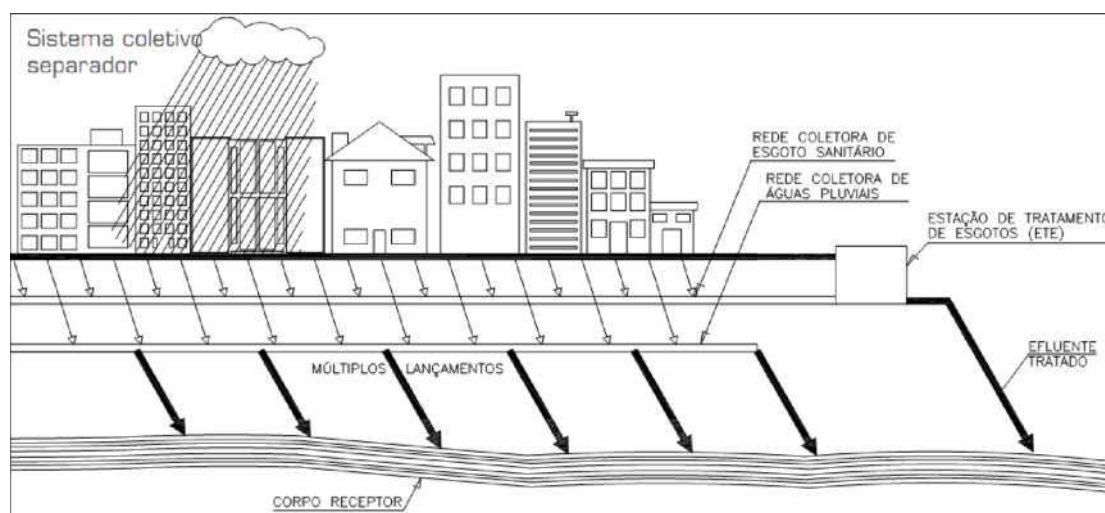


Figura 4. Sistema separador absoluto. Fonte: Barros et al. (1995).

Para Tsutiya e Alem Sobrinho (1999) no sistema separador absoluto tem como principais vantagens:

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

O sistema separador absoluto possui duas modalidades principais: o convencional e condominial.

Os sistemas convencionais são os frequentemente mais utilizados, sendo suas partes integrantes: a rede coletora, interceptadores, emissário, sifão invertido e passagem forçada, estação elevatória de esgotos e estação de tratamento de esgotos, já no caso dos sistemas condominiais geralmente são adotados visando à diminuição dos custos das redes coletoras, como um sistema alternativo para coleta e transporte dos esgotos (BRASIL, 2013).

3.3.3 Sistema de esgotamento do tipo misto ou parcial

Este tipo sistema é concebido para receber uma parcela das águas pluviais que são encaminhadas juntamente com os efluentes e águas de infiltração do subsolo para um único sistema de coleta e transporte de esgotos. No entanto, no sistema separador parcial ou misto o sistema de esgotos urbanos é, também, constituído de redes de esgoto e de galerias de águas pluviais.

Este tipo de rede apresenta vários inconvenientes como a ocorrência de mau cheiro nas tubulações advindo do material sólido orgânico em decomposição, depositado ao longo da rede no período seco. No período chuvoso com altos índices pluviométricos a rede de drenagem extravasa, fazendo com que essas águas corram pelas ruas podendo causar danos à saúde da população além de inundações.

3.4 AS ÁGUAS PLUVIAIS E O SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO

3.4.1 Considerações Gerais

Diante do que foi mencionado anteriormente é oportuno citar que cada sistema de esgotamento sanitário possui particularidades. Como vimos, o sistema do tipo unitário é mais recomendável para países com precipitação melhor distribuída ao longo do ano do que em países tropicais, onde é recomendado o sistema separador absoluto.

No Brasil, as redes de esgotamento foram construídas para funcionar como separadoras absolutas, entre esgotos e escoamentos de águas pluviais. No entanto, o que se observa em alguns casos é que embora este tipo de sistema tenha sido projetado para conduzir os efluentes separados das águas pluviais, a partir da dinâmica urbana desordenada e sem fiscalização adequada, torna-se uma rede pseudo-separadora onde, na prática, existe a interferência mútua dos escoamentos, conseqüentemente, alterando os parâmetros de quantidade e qualidade de ambas as redes. Na Figura 5, estão apresentadas situações típicas de lançamentos diretos de esgoto em redes de drenagem urbana, interferindo de forma negativa em inúmeros aspectos como inclusive em atividades que exigem alto grau de salubridade como o turismo.



(a)

(b)

Figura 5. (a) Ligação direta de esgoto em rede pluvial; (b) “Língua Negra” em praia de Maceió - AL a partir da rede de drenagem local.

Fonte: Peplau (2006) e Pimentel et al. (2005).

Em trabalho realizado por Tsutiya e Bueno (2004), os autores concluíram que a contribuição de águas pluviais em sistemas de esgoto sanitário é muito variável,

atingindo valores que vão de 26 a 283%, sobre a vazão máxima de período seco e taxa de infiltração de 0,15 a 12 L/s.km. Essa parcela extra de águas pluviais causa um sério problema para as estações de tratamento de esgotos visto que, a norma brasileira 12207 da ABNT (1989), que trata dos projetos de interceptores de esgoto sanitário, recomenda quando não houver medições locais, que pode ser utilizada uma taxa pela qual o valor deve ser justificado e que não ultrapasse valor máximo de 6 l/s.km para a contribuição de águas pluviais.

Embora a prática de ligação das águas pluviais na rede coletora de esgoto, seja proibida por lei de âmbito municipal, ocorre com muita frequência, principalmente em regiões mais antigas das cidades e nas regiões onde os quintais ou as construções têm sua cota inferior à cota do meio fio da rua.

Em pesquisa realizada no município de Rio Verde-GO, por Pereira e Pasqualetto (2003) através de convênio entre a empresa de saneamento de Goiás e a prefeitura, buscou-se identificar os domicílios com lançamento de esgotos e ligações irregulares através de visitas e, a partir daí, promover ações de educação ambiental e fiscalização para acompanhar as irregularidades em processo de correção. Foram realizadas três visitas a cada domicílio, a quantidade de irregularidades da primeira para a terceira caiu de 69% para 26% do total de domicílios vistoriados, assim como o número de domicílios que não foram visitados devido a ausência dos moradores, que caiu de 26% para apenas 9%. Dentre as irregularidades encontradas, o lançamento de água pluvial em rede de esgoto sanitário, correspondeu a cerca de 10%. Os autores relatam que devido ao alto custo dos serviços de reparo desta irregularidade, houve resistência por parte de alguns proprietários.

Em trabalho semelhante realizado por Boell et al. (2007) objetivou-se identificar e eliminar as irregularidades de lançamentos de esgoto em rede pluvial e águas de chuva à de esgoto, no município de Joinville - SC, utilizou-se para isso um programa para reabilitação e correção do sistema através de convênio firmado entre algumas empresas e os órgãos de fiscalização competentes. Durante a pesquisa foram vistoriados 1674 imóveis entre 2006 e 2007, aproximadamente 58% destes, foram detectadas irregularidades. Após a constatação foi emitido comunicado de irregularidade, o qual foi enviado ao órgão competente. Também foram emitidos comunicados para os imóveis fechados ou abandonados. Segundo os autores, com a fiscalização das ligações de esgoto, espera-se melhorar o funcionamento do sistema de esgotamento sanitário do

município e reduzir os custos de manutenção de redes, permitindo que a ETE tenha um bom funcionamento.

A ocorrência das ligações indevidas das águas pluviais nas redes de esgoto sanitário tem sua origem dentro do lote, seja por falta de orientação por parte do poder público aos proprietários dos lotes, que de um modo geral não sabem diferenciar águas pluviais de águas servidas, ou por negligência destes proprietários, que conhecem a legislação que proíbe a ligação das águas de chuvas na rede de esgoto, no entanto, fazem a interligação das águas de chuvas captadas nos telhados e dos quintais na rede interna de esgoto sanitário que posteriormente será lançada na rede pública coletora de esgoto sanitário. Porém, para Festi (2005) sua eliminação total é onerosa ou até mesmo impossível de ser executada, dependendo da situação de caso a caso.

3.4.2 Influência das Águas Pluviais na Qualidade do Esgoto

Independentemente de qual seja o sistema de esgotamento, sempre ocorre mistura de águas residuárias e águas pluviais, gerando problemas operacionais e falhas nos processos de tratamento de esgoto, o que torna de fundamental importância avaliar o impacto gerado pelos mesmos no tratamento do efluente. Esta mistura gera um distanciamento entre o dimensionamento e a operação da ETE, devido à ampla variação de carga orgânica de vazão afluente.

Durante muito tempo acreditou-se que, a poluição dos corpos de água estava associada aos esgotos domésticos não tratados e aos despejos industriais. Porém, percebeu-se que grande parte da poluição gerada em áreas urbanas tem origem no escoamento superficial das águas pluviais, que carrega a poluição atmosférica e o material depositado nas áreas impermeáveis e nas redes de esgoto durante os períodos de seca (PORTO, 1995).

As redes de esgotamento sanitário do tipo separador absoluto são projetadas para receber uma pequena parcela de águas pluviais provenientes do uso da água nas áreas edificadas, acrescidas de águas de infiltração e eventualmente, de efluentes líquidos industriais. Porém, somadas a estas existem as contribuições advindas do encaminhamento acidental ou irregular de águas pluviais, sendo este fato o mais preocupante, uma vez que é uma das principais causas que influencia no tratamento de

esgoto, alterando as características das águas residuárias, seja do ponto de vista qualitativo ou quantitativo. Este item será discutido adiante.

3.4.2.1 Variação na qualidade dos esgotos

Um dos principais problemas enfrentados pelas operadoras dos sistemas de esgotamento sanitário do Brasil é o aumento da vazão afluente nas elevatórias e estações de tratamento de esgotos em períodos chuvosos. Este fato é resultado principalmente pelos defeitos em instalações, ligações clandestinas, falta de rigidez nas fiscalizações e manutenção preventiva no sistema. Esse excesso de vazão nos períodos chuvosos ocasiona frequentemente os extravasamentos, também denominado de *by-pass* nas ETEs, onde o excedente de vazão é direcionado aos corpos receptores sem nenhum tratamento, causando uma série de impactos negativos ao meio ambiente.

Para avaliação da carga de poluentes contida nas águas residuárias, em geral utiliza-se como indicador a quantidade de matéria orgânica, medida em termos de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), e da Demanda Química de Oxigênio (DQO), além do nitrogênio e fósforo. Todavia Bernardes e Soares (2004) citam que as concentrações da DQO/DBO e do nitrogênio são alteradas pela precipitação, devido aos distúrbios e transporte de sedimentos do fundo. Assim, os constituintes são altamente transientes e específicos de cada evento, dificultando a operação das unidades de tratamento.

A pesquisa realizada por Rosa et al. (2011), também utilizou parâmetros de qualidade para avaliar a influência dos períodos seco e chuvoso em três ETEs da região metropolitana de Belo Horizonte. Cada uma opera com um tratamento distinto, sendo que a ETE 1 opera por lodos ativados convencional (2.250 L/s), ETE por lagoa facultativa (2 6,6 L/s) e a ETE 3 por lodos ativados aeração prolongada (23,5 L/s). Foram avaliadas as concentrações de DBO, DQO e SST além da vazão afluente às ETEs. Os resultados mostraram que para a vazão afluente no período de chuvas houve um acréscimo, para as ETEs 1, 2 e 3 de 19%, 2% e 7%, respectivamente. Na ETE 1, os valores das contrações de BDO e DQO mostraram uma forte variação entre os períodos estudados afluente à ETE, porém não houve diferença significativa na saída do sistema para estes mesmo parâmetros, os autores ressaltam que isto deve-se ao fato do tipo de

tratamento amortecer as variações afluente, porém para a remoção de DBO e DQO, apenas a DQO mostrou-se significativamente diferente para os dois períodos. Já para a ETE 2 apesar de não sofrer diferenças significativas de vazão, apresentou alta variação na concentrações de DBO efluente à ETE, os autores sugerem que seja devido ao tipo de tratamento realizado na referida ETE. Na ETE 3 apesar da variação de vazão, os parâmetros avaliados não apresentaram variação expressiva nas suas concentrações. Diante dos resultados os autores concluem que as ETE 1 e 3 operam como separador parcial em períodos chuvosos.

Outro estudo realizado por Porto e Haupt (2004) na bacia do Cabuçu de Baixo, cidade de São Paulo, avaliou a carga difusa gerada em eventos de precipitação e calculou-se a Concentração Média do Evento (CME) para diversos poluentes em duas regiões da bacia, uma com urbanização já consolidada (Campos Lemos - 6 amostras) e outra em processo de urbanização (Vista Alegre - 8 amostras). Os resultados estão apresentados na Tabela 1. O estudo evidencia a influência da urbanização da qualidade dos esgotos. Ademais, os valores mensurados das cargas poluentes (parâmetros), são superiores a dados internacionais utilizados como valores de referência para comparação, e que são citados no mesmo trabalho.

Tabela 1. CME para as duas regiões avaliadas na Bacia do Cabuçu de Baixo/SP em comparação com dados internacionais como referência.

Parâmetro (mg/l)	Vista Alegre		Campos Lemos		Dados internacionais	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
DBO	112,75	426,86	114,32	295,54	0,5	36
DQO	281,34	874,18	231,12	644,72	29,4	223
N. Amoniacal	2,33	15,69	2,36	14,07	0,7	1,1
Fósforo Total	4,15	14,22	2,32	5,65	<0,01	1,71

Fonte: Adaptado de Porto e Haupt (2004).

No âmbito da discussão, diante dos dados anteriores é necessário efetuar um planejamento com visão de futuro que tenha como objetivo evitar o descarte de águas poluídas em corpos receptores, projetando os sistemas de tratamento com possibilidade

de aumento da capacidade e/ou de construção de reservatórios de detenção para o armazenamento das vazões excedentes para posterior tratamento, para que seja possível também o tratamento da carga poluidora das águas pluviais (CAMPOS, 2009).

3.4.2.2 Presença de Material Sólido

De modo geral, a fração sólida inorgânica dos esgotos (a areia) que chega à estação de tratamento de esgoto é proveniente de águas de lavagem das ruas e de águas de subsolo, que afluem para as galerias de modo indevido ou que se infiltram, por exemplo, através das juntas das canalizações.

A etapa preliminar do tratamento das estações de tratamento de esgotos é de suma importância para remoção da areia presente no esgoto. Caso os sólidos inorgânicos não sejam removidos nesta etapa de tratamento, irão influenciar na produção do lodo biológico e na operação da ETE. O excesso de areia nos tanques de aeração e digestores, estações elevatórias podem ocasionar graves problemas operacionais, tais como obstrução das tubulações, abrasão e desgastes das bombas e depósitos nos tanques de aeração, nesse último caso quando se tratando de sistemas de lodos ativados. Ademais, a fração sólida orgânica presente no esgoto também pode acarretar sérios danos ao meio ambiente, uma vez que serve de abrigo para inúmeros micro-organismos patogênicos, que causam sérios danos a saúde quando não removidos durante as etapas de tratamento do esgoto.

Considerando esta questão, Mannina e Viviani (2010) desenvolveram um modelo matemático para a previsão da qualidade e quantidade de águas pluviais em sistemas de drenagem urbana. Relativamente aos modelos convencionais, este modelo inclui os efeitos da presença de sedimentos em sistemas de drenagem na formação da carga poluente. Uma análise de sensibilidade aos resultados do modelo aplicado a dois sistemas de drenagem revelou que a presença de sedimentos provocados pela erosão desempenha um papel relevante na modelagem da qualidade de águas pluviais urbanas, concluindo que a modelagem de sedimentos na drenagem não deve ser negligenciada em aplicações futuras, e que as características dos sedimentos merecem atenção especial ao nível da recolha de dados. Os autores incluíram também no modelo uma abordagem simplificada de análise de incertezas, reduzindo a carga computacional relativa às

abordagens tradicionais que aplicam várias simulações utilizando a análise de Monte Carlo.

3.4.3 Sobrecarga Hidráulica

A sobrecarga hidráulica na rede de esgoto sanitário é toda aquela parcela de contribuição indevida de água que não foi prevista no dimensionamento do sistema de esgotamento sanitário. Esta contribuição indevida pode ocorrer pela ligação clandestina das águas de chuva e pelos excessos das águas de infiltração na rede de esgoto sanitário. Geralmente o pico da sobrecarga ocorre na eventualidade de uma chuva significativa.

Alguns autores (BERNARDES e SOARES, 2004) relatam que a vazão afluyente a uma ETE, atinge a capacidade hidráulica máxima em períodos de tempo relativamente curtos, quando os eventos de chuva são significativos. Mesmo eventos de chuva de baixa intensidade, com duração superior ao tempo de concentração da bacia de contribuição, superam a capacidade hidráulica máxima da maioria das ETEs.

Adicionalmente, as falhas nos processos de tratamento de esgotos são geradas devido a variações de vazão, decorrentes da entrada de águas de chuva na rede. Como consequência, a sobrecarga hidráulica nas unidades de tratamento preliminar, onde são utilizadas grades e caixa de areia, e primário como reatores UASB, que são unidade de fluxo ascendente, transferem os problemas para as unidades subsequentes de tratamento, mais sensíveis à variação de vazões.

Em estudo realizado por Karpf e [Krebs](#) (2011), no que tange a quantificação de infiltração de águas subterrâneas e os fluxos de água de superfície em redes de esgoto, demonstra que a gestão desse sistema requer informações sobre a alta variabilidade das fontes de águas residuais nas áreas urbanas. Especialmente a infiltração das águas subterrâneas e do fluxo de água de superfície, pois são instrumentos importantes para a tomada de decisões sobre a reabilitação e utilização de redes de esgoto. A infiltração de água subterrânea e fluxo de drenagem das águas de superfície, também conhecido como infiltração/entrada, influenciam significativamente os custos e o funcionamento tanto da rede de esgoto quanto as ETEs, resultando em custos adicionais e uma deterioração da qualidade das águas dos corpos receptores.

Diante do exposto em linhas anteriores, Karpf e Krebs (2011), com o objetivo de desenvolver um método para estimar a infiltração/entrada, desenvolveram um modelo

utilizando os mínimos quadrados, que pode ser usado para gerar informação sobre tais fontes e sua localização com entrada de trabalho moderado. Para os autores o modelo é bem aceito no caso de teste, permitindo estimar a dinâmica de fluxo de tempo seco, incluindo condições extremas e seus componentes.

Um dos problemas que podem surgir é a utilização de valores diferente do real para a taxa de infiltração e o coeficiente de retorno, pois estes parâmetros são fundamentais na determinação das vazões de projeto dos sistemas de esgotamento sanitários. Erro no cálculo destes parâmetros poderá provocar o subdimensionamento ou superdimensionamento das estações de tratamento de esgoto. Para tanto, são necessárias pesquisas que evidenciem valores mais próximos da realidade da área de estudo.

Este fato pode ser observado na pesquisa de Gasparini (2013), onde foi avaliada a vazão de infiltração e o coeficiente de retorno nas redes coletoras de esgoto - RCE do município de Pato Branco - PR. Em uma das análises, ao comparar a vazão afluyente à ETE Ligeiro e a precipitação para o período de estudo, Figura 6, foi observado que houve um aumento de vazão afluyente próximo a cada evento de chuva e logo em seguida um decaimento gradual após as chuvas.

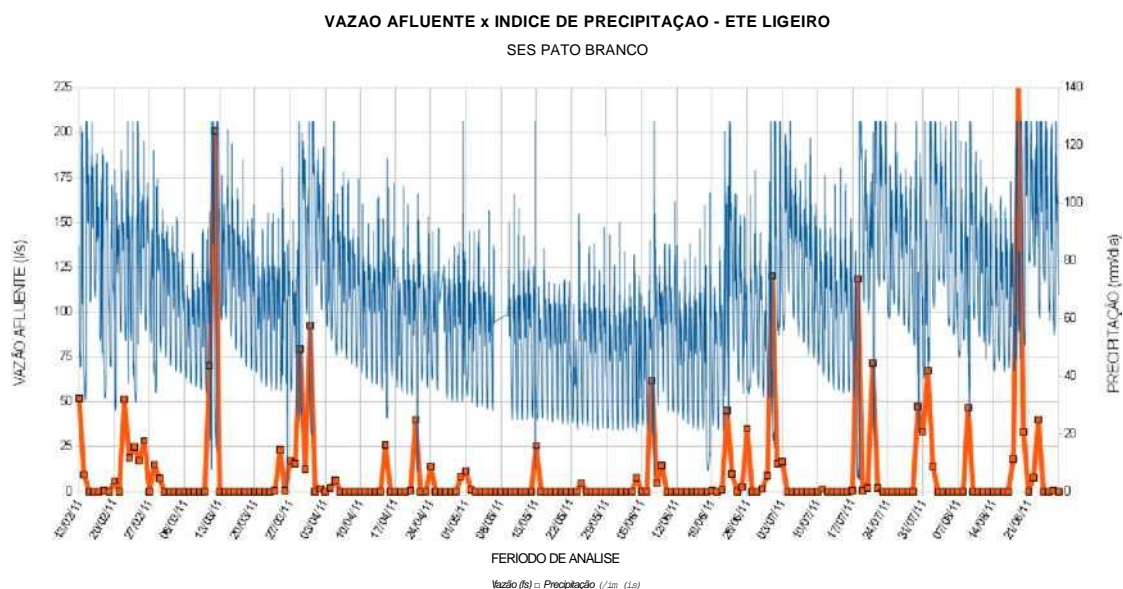


Figura 6. Perfil de Vazão Afluyente da ETE Ligeiro e Índice de Precipitação, para o período entre os dias os dias 13 de fev. de 2011 e 27 de ago de 2011.

Fonte: Gasparini (2013).

Após a análise dos demais dados foi observado que a taxa de infiltração das redes coletoras de esgotamento do município está entre 0,108 L/s.km e 0,209 L/s.km, valor abaixo do encontrado em literatura. De posse destes valores foi obtido para a vazão de infiltração da RCE 34,60 L/s e 66,90 L/s. A taxa de infiltração apresentou valores próximos ao valor mínimo observado, quando em períodos sem precipitações, que interfere no nível do lençol. O coeficiente de retorno para a rede de esgotamento do sistema cidade apresentou valores entre 0,74 e 1,26, esta variação pode estar relacionada à alteração do nível de água do lençol em relação às redes coletoras. A água de origem de solo não contribui para o coeficiente de retorno, uma vez que esta água já contribui para a vazão de infiltração. Para contornar este problema, foi realizada análise em tempo seco, os resultados apresentaram valores de coeficiente de retorno entre 0,78 e 0,92, mostrando-se próximos aos indicados pela literatura.

3.4.4 Estado da Arte

Conforme visto anteriormente, as águas pluviais causam uma série de impactos em redes coletoras de esgotos sanitários. No entanto, o lançamento dessas águas nas redes coletoras é um fato muitas vezes inevitável, ocasionando aumentos consideráveis nas vazões globais nesses sistemas. Embora existam relativamente poucos estudos, no âmbito nacional, alguns autores realizaram pesquisas referentes à problemática da contribuição das águas pluviais no sistema de esgotamento sanitário.

Um destes estudos foi realizado por Almeida Neto (1990), onde foram coletados dados referente a vazão de água distribuída em localidades no estado de São Paulo e vazão de esgoto. No estudo foi identificado que nos períodos de chuva o volume de escoamento aumentava em até quatorze vezes o volume escoado, quando comparado ao respectivo volume nos períodos não chuvosos, sendo 11,8 L/s e 170,4 L/s para períodos secos e chuvosos, respectivamente. O autor destaca que a vazão máxima de esgoto, ou vazão de pico verificada nos dias de ocorrência de chuvas, não são computadas para efeito de projetos. Desse modo, as redes coletoras não têm capacidade para suportá-las, gerando muitas vezes ocorrências de extravasamento e retorno de esgotos para as moradias.

Já em trabalho experimental desenvolvido por Hanai e Campos (1997), foi determinada a vazão de infiltração na rede coletora de esgoto sanitário da bacia do

Ribeirão do Ouro, na cidade de Araraquara. Aproximadamente 30% da rede desta bacia estão abaixo do nível do lençol freático. Os experimentos realizados foram obtidos em medições noturnas e em tempo seco, evidenciaram que cerca de 90% do total das vazões mínimas no período noturno podem ser devido às águas de infiltração. Foi encontrada uma taxa de infiltração média de 0,17 L/s.km, valores inferiores ao recomendado pela norma técnica 12207 da ABNT (1989). A taxa de infiltração também foi calculada para a parcela da rede que fica a baixo do lençol freático, 0,42 L/s.Km. Para os autores, de acordo com os resultados obtidos, as taxas de infiltração recomendada por normas e literaturas são adotadas considerando toda a rede acima do nível de lençol freático, com isso encontrando valores conservadores. Diante disto, os autores sugere que os cálculos de dimensionamento do sistema de esgotamento sanitário sejam realizados considerando a taxa de infiltração diferenciada em função da altura da rede coletora em relação ao nível do lençol freático, adotando-se para a rede submersa taxas maiores que a rede acima do nível do lençol.

Em outra pesquisa, Tsutiya e Bueno (2003) efetuaram monitoramento da contribuição dos efluentes de esgotos que chegam à ETE da cidade de Franca, estado de São Paulo. Os resultados da pesquisa constataram que o acréscimo da vazão no período úmido em relação ao tempo seco foi de aproximadamente 27%, o que demonstra a existência de variações na vazão e por sua vez no volume tratado na ETE, fazendo com que o sistema em estudo também opere como separador parcial, pois quantidades significativas de água são indevidamente introduzidas nas redes coletoras e nas ETEs. Os resultados desta pesquisa contribuem para evidenciar que os sistemas de esgotos sanitários não funcionam em sua totalidade como separador absoluto.

Para estes mesmo autores, em trabalho realizado em 2004, na cidade de Santo André, na região metropolitana de São Paulo, referente à influência das águas pluviais na vazão do esgoto, foi constatado que em períodos de tempo de 24 horas nos momentos de chuvas, a vazão de esgoto aumentou consideravelmente, conforme pode ser visualizada na Figura 7.

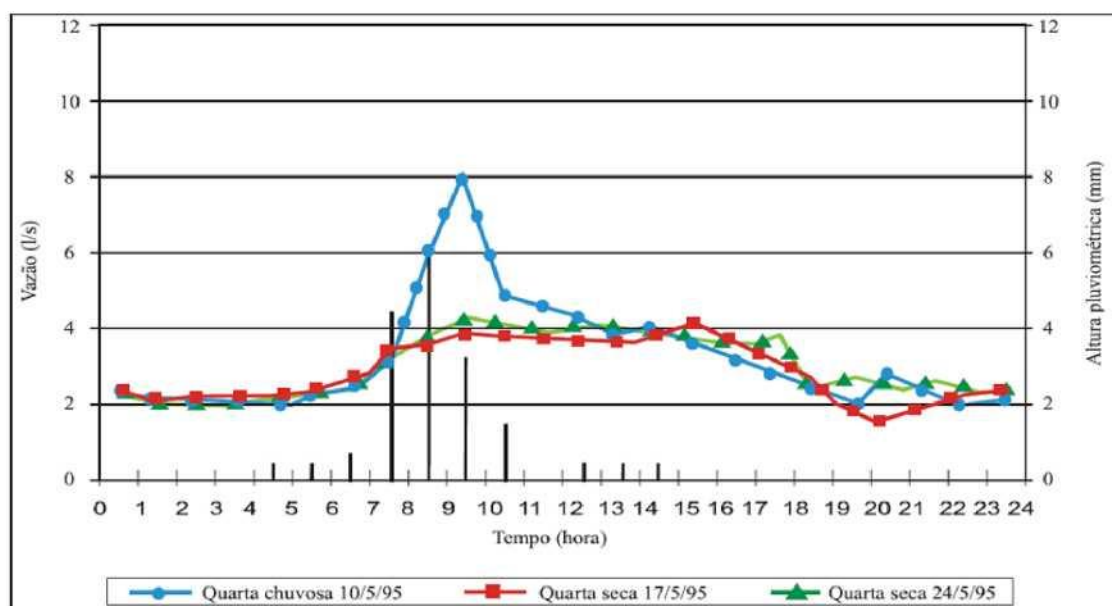


Figura 7 . Influência de águas pluviais no SES de Santo André - Bacia do córrego Araçatuba.

Fonte: Tsutiya e Bueno (2004).

A Tabela 2 apresenta um resumo dos principais dados levantados em pesquisa realizada por Tsutiya e Bueno (2005) sobre contribuições de águas pluviais em sistemas de esgoto sanitário no Brasil.

Tabela 2. Contribuições de águas pluviais em sistemas de esgoto sanitário.

Autor	Local	Ano	Dados originais
Greeley & Hansen	São Paulo	1952	32% sobre QMPS*
Hazen & Sawyer	São Paulo	1965	35% sobre QMPS
Pauli	São Paulo	1998	242% sobre QMPS
Mello	Sandro André	2002	100 a 283% QMPS
AMPI	Tatuí	1992	31% sobre QMPS
Tsutiya e Bueno Franca		2003	26,76% sobre QMPS

*

Colombo (2004) apontou que a interferência e interconexão das águas pluviais na rede de esgoto sanitário na cidade de Buenos Aires, segundo dados da pesquisa a EEE Wilde, alcança em períodos seco uma vazão de 22 m³/s enquanto que em épocas de chuva bombeia 26 m³/s. Evidenciando um aumento significativo de vazão bombeada devido ao aporte de chuvas.

Segundo Gehling e Benetti (2005) e Portz (2009), por motivos econômicos e onde já existe a instalação da rede de águas pluviais nas ruas, os efluentes de esgotos devem ser transportados na mesma rede das águas pluviais. Conforme relatam, em alguns lugares do sul do Brasil, existem muitas comunidades onde as redes de águas pluviais foram implantadas antes das redes coletoras de esgotos. Nestes casos é prática comum exigir-se a instalação de fossa séptica individual nos prédios, com subsequente encaminhamento dos efluentes para a rede pluvial. Em contrapartida, é usual que não haja manutenção e operação adequada das fossas sépticas, conseqüentemente, elas se tornam inoperantes ao longo do tempo.

Para Festi (2006) devido à falta de controle pelas operadoras de saneamento nos municípios, é cada vez mais frequente o encaminhamento das águas pluviais à rede de esgoto sanitário, que não foi dimensionada para tal acréscimo de vazão nas ocorrências de pico das tormentas de chuvas.

No geral, como as estações não foram dimensionadas para receber esse excedente de vazão a ser tratada, parte desta é direcionada sem tratamento ao corpo hídrico (*by-pass*), ocasionando sérios impactos ao meio ambiente.

Em outro estudo, que foi realizado por Freire (2010), na ETE Orlando Dantas, na cidade de Aracajú - SE, pode-se observar na Figura 8, a comparação entre as vazões média ocorrida nos dias 12/08/2009, com uma vazão de 18,3 L/s e no dia 19/08/2009 com um valor de 46,6 L/s, sendo que no primeiro dia não houve precipitação, e para o segundo dia teve início o período das chuvas. Esses valores evidenciam a influência da contribuição de águas pluviais no sistema da rede de esgoto.

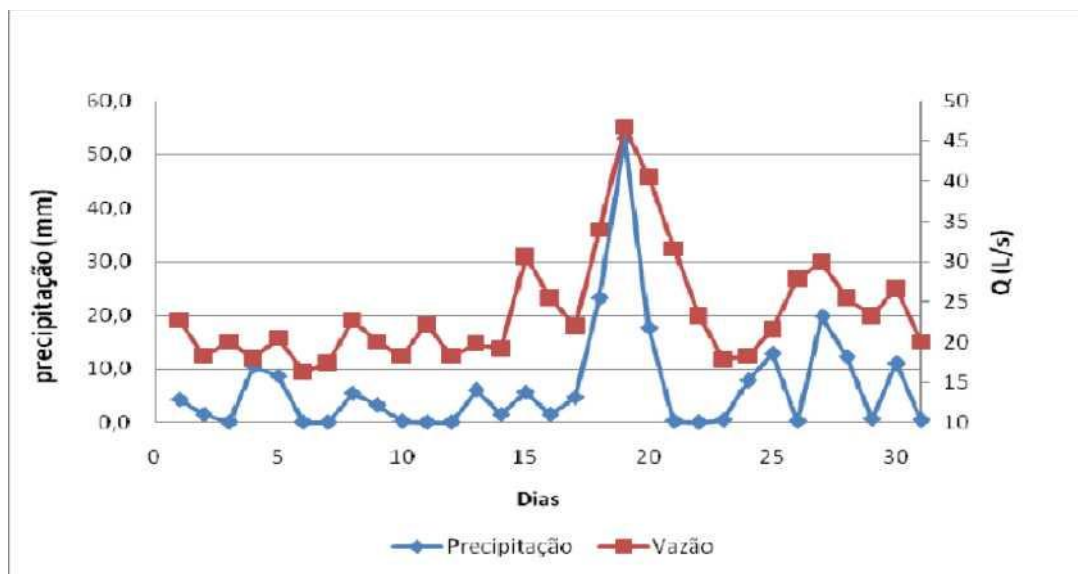


Figura 8. Hidrograma comparativo entre precipitação e vazão no mês de agosto 2009. Fonte: FREIRE, 2010.

Ao avaliar o impacto da contribuição de águas pluviais no SES de Vitória - ES através do aumento da vazão que chega à ETE e da incidência de obstrução das redes coletoras, Rodrigues (2011) constatou que a vazão máxima afluente à ETE Mulembá no período seco, foi de 155,5 L/s e a vazão máxima afluente atingiu 338,10 L/s no período de chuvas, ou seja, um valor de 117% sobre a vazão máxima em período seco - QMPS. Este valor é superior à vazão nominal projetada para a ETE, que é de 204,0 L/s, funcionando como separador parcial, reduzindo a eficiência do projeto. Para as obstruções de redes e ligações, foi observado que após um período de chuvas, ocorre um aumento significativo do número de reclamações. O autor sugere uma análise do sistema operacional das unidades para adaptação à situação atual.

Silva et al. (2013) realizaram um levantamento em um bairro urbano da cidade de Feira de Santana para identificar as principais causas relacionadas ao lançamento de águas pluviais no sistema de esgotamento. Segundo os resultados a maioria dos moradores, 56% dos entrevistados, lançam as águas pluviais na rede de esgoto por desconhecer sobre o uso adequado da rede de esgoto. Isso demonstrou a importância de que sejam realizados programas de conscientização e/ou educação ambiental objetivando minimizar impactos negativos social, econômico e ambiental referentes à este tipo lançamento.

4 METODOLOGIA

4.1 TIPO DE ESTUDO

O referido trabalho trata-se de uma pesquisa quantitativa, que tem como foco central a influência das precipitações pluviais no sistema de esgotamento sanitário nas sub-bacias da cidade de Feira de Santana, Figura 9 que possui uma rede de esgotamento do tipo separador absoluto.

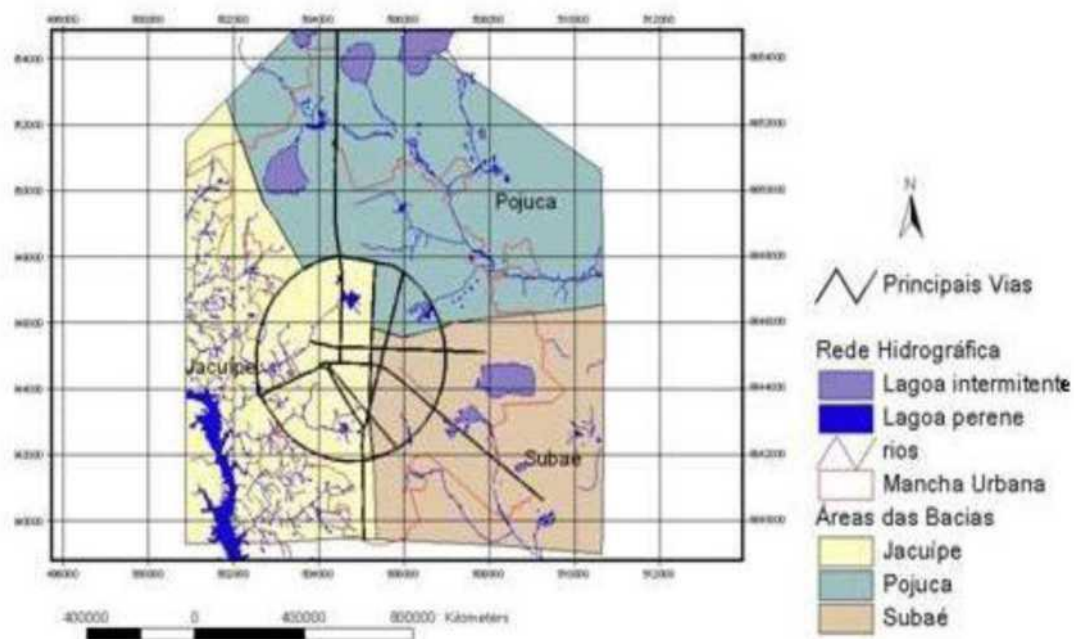


Figura 9. Mapa de localização das sub-bacias da cidade de Feira de Santana. Fonte: Santo (2003).

4.2 CAMPO DE ESTUDO

O objeto de trabalho foi o esgotamento sanitário das três sub-bacias que compõem a área urbana da cidade de Feira de Santana.

O município de Feira de Santana, Figura 10, segunda cidade do estado da Bahia em importância sócio-econômica e política, possui 556.642 habitantes com uma

densidade de 416,03 hab./km² (IBGE, 2010). A cidade apresenta posição de destaque devido suas características geográficas, pois se localiza próximo a capital do Estado e possui uma extensa malha rodoviária que interliga Salvador com o interior do Estado, assim como a região centro-sul e norte e nordeste do Brasil. Apresenta clima semiárido quente, está inserida na zona intermediária entre o agreste e o semiárido a aproximadamente 105 Km de Salvador, e possui uma área com cerca de 1.350 Km deste total aproximadamente 90 Km² corresponde à área urbana, com 234m de altitude. Possui temperatura média anual de 24°C, sendo que no verão pode apresentar temperaturas médias mensais de 27°C e no inverno 21°C. Devido ao seu posicionamento intermediário entre o litoral úmido e o interior semiárido, as precipitações ocorrem entre os meses de abril e junho e de setembro a dezembro, com precipitação média anual em torno de 848 mm, o que a diferencia do litoral que recebe suas precipitações principalmente no primeiro período, enquanto o interior recebe principalmente no segundo período (UEFS, 2012).

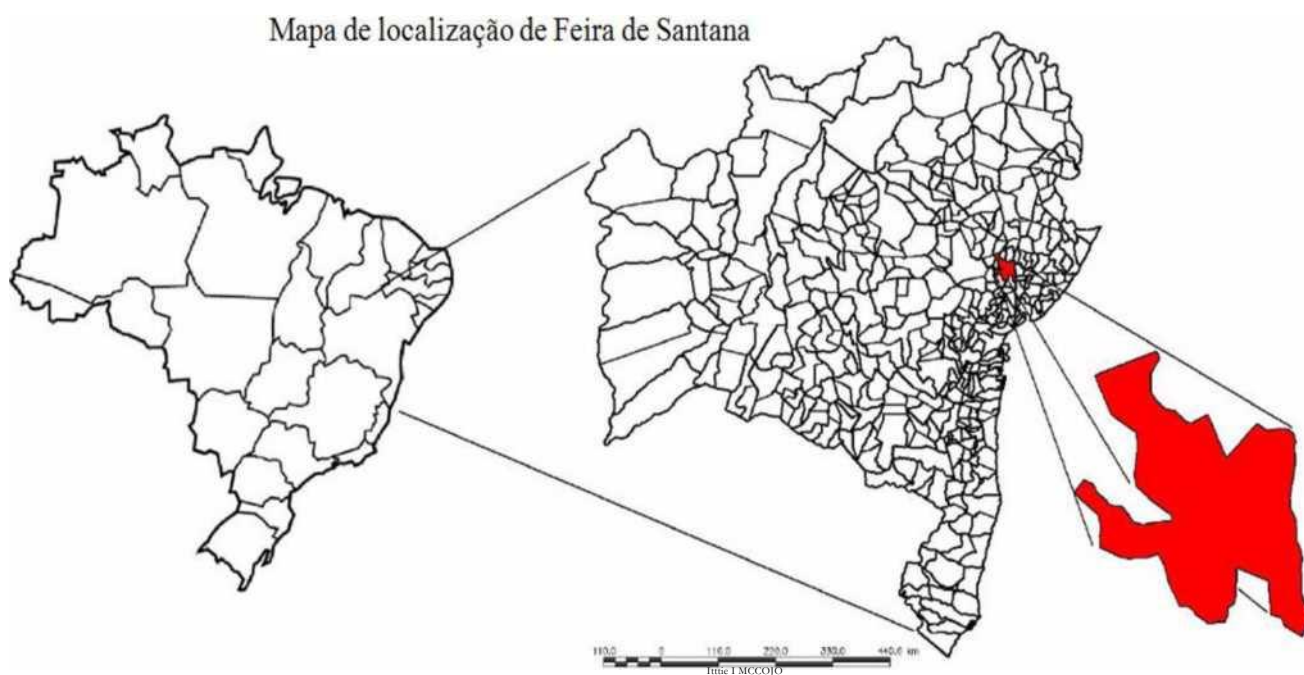


Figura 10. Mapa de localização de Feira de Santana.
Fonte: DINIZ et al., 2008.

4.3 COLETA DE DADOS

A obtenção dos dados para o período entre 2008-2011, de consumo de energia das bombas das estações elevatórias de esgoto, e o valor total consumido de água do mesmo período, foram fornecidos pela Empresa Baiana de Saneamento, EMBASA - S.A., assim como as informações apresentadas acerca do sistema de esgotamento da cidade. Dentre as EEE avaliadas, uma encontra-se dentro da área da ETE Subaé, portanto para as análises e os resultados dos dados desta EEE foi mencionado o nome da referida ETE. Ainda referente as estações elevatórias, uma apresentou dados em apenas três anos, a do Residencial Magnólia.

Os nomes das estações elevatórias de esgoto utilizadas nesta pesquisa encontra-se a seguir na Tabela 3.

Tabela 3. Estações elevatórias de esgoto avaliadas na pesquisa.

Estações elevatórias de Esgoto	
Capuchinhos	Jussara
Capuchinhos II	ETE Subaé
Capuchinhos III	Elza Azevedo
Capuchinhos IV	Feira VI 1
Feira X F	Feira VI 2
Feira X F1	Feira VI. Batalhão
José Falcão	Aviário
Bom Viver	ETE Subaé
George Américo	Residencial Magnólia
Santo Expedito	

Foram coletados também, dados de precipitação da série histórica de 2008 a 2011, obtida por meio do site do Instituto Nacional de Meteorologia- INMET (INMET, 2012) . Esses dados de precipitação são fornecidos pela estação climatológica instalada na Universidade Estadual de Feira de Santana - UEFS, a qual se encontra dentro de uma das bacias em estudo, a do Pojuca, aumentando a representatividade dos dados pluviométricos. Os dados de todas as séries para o referido período estão dispostos no Apêndice I.

4.4 TRANSFORMAÇÃO DOS DADOS DE PRECIPITAÇÃO EM ESCOAMENTO SUPERFICIAL DIRETO

Dentre os métodos disponíveis para estimar a chuva excedente, para este trabalho foi utilizado o método da Curva Número - CN desenvolvido pelo *Soil Conservation Service* - SCS (SCS, 1972). Este método consiste na classificação hidrológica do solo através do grupo hidrológico, uso do solo e sua capacidade de gerar escoamento direto. É um método mundialmente utilizado, porém as maiores dificuldades de sua aplicação estão relacionadas com a definição dos grupos hidrológicos de solo e a falta de valores locais de referência para o parâmetro CN, pois as características dos grupos hidrológicos de solos foram inicialmente propostas para os EUA, sendo baseadas principalmente na textura dos solos e não fornecem critérios objetivos para sua aplicação, pois a textura não é suficiente para classificar um solo hidrológicamente. No entanto este método ainda é utilizado em alguns países como o Brasil. A classificação hidrológica de solos revisada (NRCS, 2009), possui critérios claros e objetivos, mas para serem aplicados necessitam de medições de condutividade hidráulica saturada ao longo do perfil de solo, sendo estes dados escassos no Brasil.

Para a análise dos parâmetros, primeiramente o solo foi classificado de acordo com suas propriedades hidrológicas e considerando o seu uso e ocupação, Figura 11.

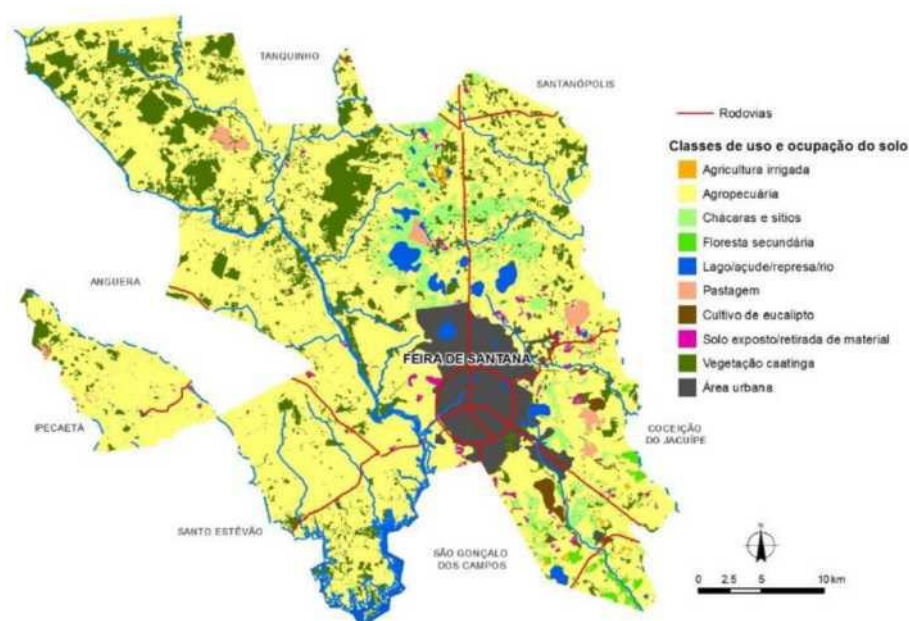


Figura 11. Uso e ocupação do solo no município de Feira de Santana. Fonte: DIAS, LOBÃO e MACHADO, 2013.

Para a área de estudo que é a região urbana da cidade, o solo classificado como Podzólico Vermelho Amarelo, Figura 12, foi posteriormente caracterizado como Argissolo pela nova classificação brasileira de solos (EMBRAPA, 2006). Este tipo de solo possui horizonte B textural, não hidromórficos, geralmente com argila de atividade baixa. São normalmente profundos, e possuem sequencia de horizontes A, B_t e C com nítida diferença entre os horizontes. Para a área de estudo, estes solos apresentam horizonte A moderado, fraco e raramente acentuado, com textura arenosa, média e argilosa, em poucos perfis (SILVA et al., 2013).

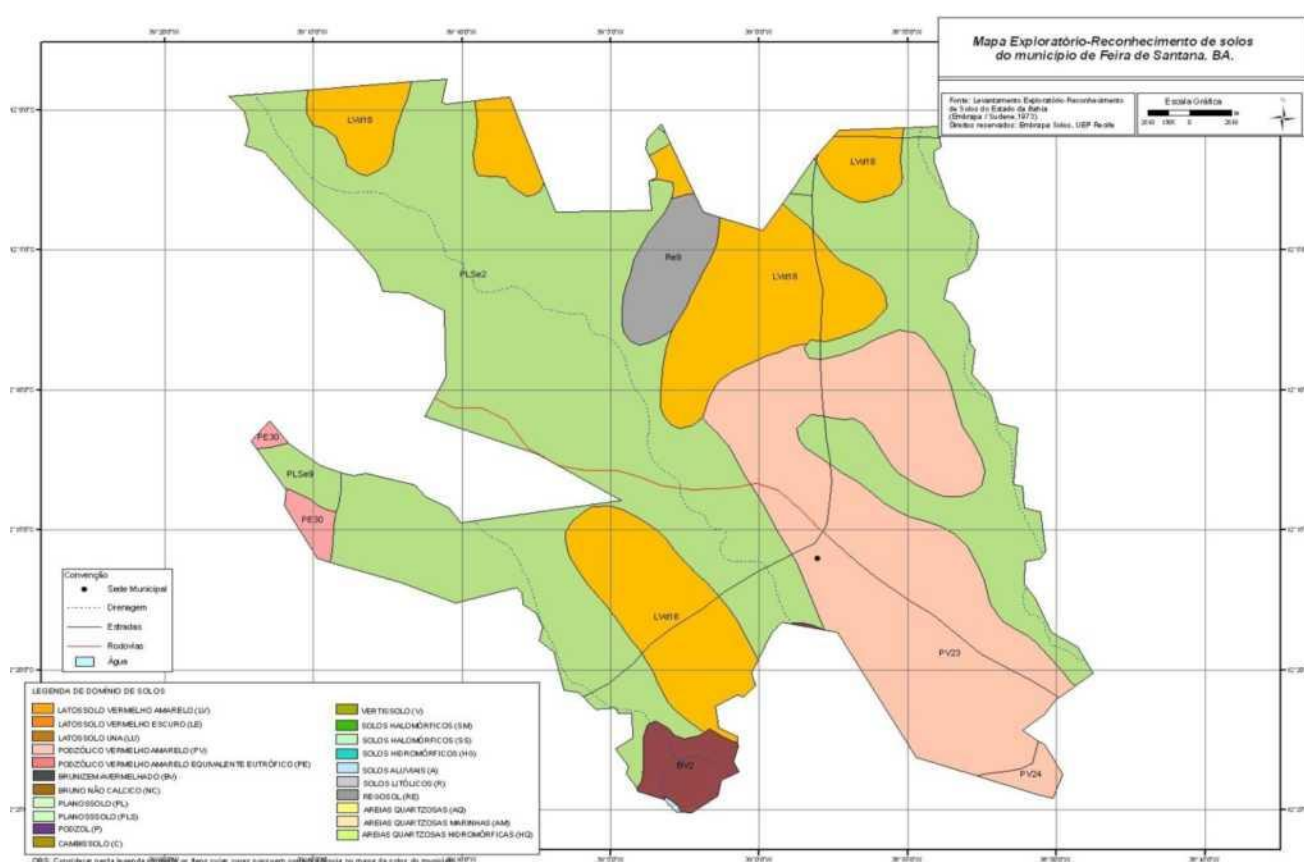


Figura 12. Classificação do solo para o município de Feira de Santana. Fonte: EMBRAPA, 2013.

Para a aplicação desse método primeiramente foi feita a classificação de acordo com o Grupo Hidrológico do Solo - GHS (Anexo I), baseada nas características dos solos brasileiros (LOMBARDI NETO et al., 1991 apud FEITOSA et al., 2010). Os solos são classificados de A - D em ordem decrescente de capacidade de infiltração. De acordo com o tipo de solo da área urbana de Feira de Santana o GHS foi definido como grupo A, que está associado as suas características e capacidade de infiltração alta.

As características do tipo de solo, através do GHS e condições de uso e cobertura da terra foram combinadas para determinar a CN da área de estudo de acordo com a sua tabela de valores, com o objetivo de calcular a precipitação efetiva, que representa o escoamento superficial, após as chuvas. Esta tabela foi desenvolvida pelo SCS a partir de diferentes estudos realizados em bacias urbanas e rurais, para diversos tipos de solo, segundo a sua capacidade de infiltração e interação com as tipologias de cobertura do solo (Anexo II). Foi realizada uma análise de sensibilidade aos resultados finais relativamente à estimativa de CN.

Os valores para a CN estão compreendidos entre 0 a 100 e dependem do tipo de solo e do teor de umidade. Os solos que apresentam valores de CN tendendo a 100 são considerados impermeáveis, e CN tendendo a zero são completamente permeáveis, consideradas condições extremas teóricas.

Depois de estimado o valor para a CN, os dados de precipitação foram transformados em precipitação efetiva pelo método da curva número (CN), que possui uma forte correlação entre o uso do solo e a resposta hidrológica. Na Equação 1 é apresentada a proposta para o cálculo da precipitação efetiva, que produz escoamento direto, pelo método da CN (LANÇA; RODRIGUES, 2000 *apud* JABUR e RIZZI, 2011).

$$P_e = \begin{cases} P_p - 0,8 & \text{para } P_p > 0,8 \\ 0 & \text{para } P_p \leq 0,8 \end{cases} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

P_e = precipitação efetiva (mm), que produz escoamento direto (Qd); P_p = precipitação total (mm);

CN = valor da curva número.

4.5 ANÁLISE DE DADOS

A potencial correlação entre a precipitação efetiva, obtida através da precipitação pelo método da CN, e o consumo de energia das bombas elevatórias foi avaliada. Adicionalmente, foi também avaliada a potencial correlação entre o valor total consumido de água pela população e os valores do consumo de energia para melhor apresentar os parâmetros utilizados nesta pesquisa, e suas respectivas frequências de medição, são elencados na Tabela 4.

Tabela 4. Parâmetros e frequência utilizados nesta pesquisa.

PARÂMETRO	FREQUÊNCIA
Consumo de energia (elevatória)	Mensal
Precipitação (P)	Diário
Consumo público total de água	Mensal

4.6 MÉTODOS ESTATÍSTICOS PARA ANÁLISE DE DADOS

A determinação da função de densidade de distribuição dos dados experimentais (precipitação, precipitação efetiva, consumo de água, consumos de energia nas EEE) foi obtida pelo Teste de Qualidade de Ajuste de Anderson-Darling, este método testa diferentes ajustes à distribuição e após, escolhe o melhor ajuste para cada tipo de função de densidade de distribuição (normal, log-normal, exponencial, etc.) para cada série de dados. As séries de dados com as distribuições encontram-se no Apêndice II.

A força de correlação da dependência entre as variáveis em análise foi calculada segundo o coeficiente de correlação de postos de Spearman. Para avaliar a significância das correlações foi aplicado o teste estatístico t do coeficiente de correlação de postos de Spearman.

A sazonalidade das séries temporais em análise foi determinada segundo a estatística de Ljung-Box. Esta estatística mede se uma série de autocorrelações é

significativamente diferente de uma série de autocorrelações iguais a zero, isto é, se os dados de uma série são independentemente/aleatoriamente distribuídos.

Para determinar o ajuste para cada tipo de função de densidade de distribuição de dados, a qualidade do ajuste, os coeficientes de correlação de Spearman, tal como para aplicar a estatística de Ljung-Box, foi utilizado o programa XLSim (2013).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO DE FEIRA DE SANTANA

O perímetro urbano da cidade de Feira de Santana é composto por três sub-bacias hidrográficas, Jacuípe, Subaé e Pojuca. O sistema de esgotamento sanitário da cidade possui sistemas públicos e condominiais. Os sistemas das três sub-bacias são do tipo separador absoluto e público, porém na sub-bacia do Pojuca existem áreas com sistema público e outras para atender condomínios residenciais, também do tipo separador absoluto. O efluente captado pelo sistema público de coleta de esgotamento sanitário da cidade de Feira de Santana possui 76.761 ligações distribuídas nas sub-bacias referidas e atende a uma população de aproximadamente 263.400 habitantes.

Dentre as bacias que abrangem Feira de Santana, a do Jacuípe possui uma rede com 358.635m com dois interceptores e, emissários por recalque, com extensão total de 23.542 m, sendo que o primeiro interceptor lança seu efluente na ETE Jacuípe I e o segundo lança na ETE Jacuípe II. Esta bacia possui 5 EEE, das quais 03 estão localizadas no Conj. Feira X, 01 no bairro Jussara e outra no bairro Caraíbas. A ETE Jacuípe I possui lançamento de efluente no riacho Principal, afluente do rio Jacuípe. A ETE Jacuípe II lança seu efluente no riacho das Painelas, afluente do rio Jacuípe, em trecho da bacia de inundação da barragem Pedra do Cavalo. Atende uma população de 189.976 hab. com 56.570 ligações, considerando a população atendida pela rede de esgoto da bacia do Pojuca a qual recalca seu efluente para as ETEs da sub-bacia do Jacuípe.

Já a sub-bacia do rio Pojuca possui 52.414 m de rede coletora e 10.695 ligações de esgoto. A sub-bacia do rio Pojuca possui 06 EEE com reversão do esgoto sanitário para a bacia do Jacuípe, das quais 03 encontram-se no Conj. Feira VI, 01 no Conj. Vivendas dos Campos, 01 Conj. Bom Viver e 01 no Conj. George Américo.

Com uma população de 214.503 habitantes a sub-bacia do Pojuca atende aproximadamente 20% deste total. Isso ocorre devido à bacia possuir condomínios com estações isoladas. Já o sistema público de esgotamento implantado em algumas áreas como os conjuntos habitacionais George Américo, Feira VI e José Ronaldo de Carvalho

e parte do bairro Campo Limpo, como já mencionado, possui reversão do esgoto coletado para a sub-bacia do rio Jacuípe, onde é tratado na ETE Jacuípe II.

O SES da sub-bacia do Subaé, na área urbana de Feira de Santana é composto por 258.635 m de rede coletora, e atualmente atende a uma população de aproximadamente 60 mil habitantes, com um total de 17.801 ligações de esgoto. Possui 08 EEE, sendo 03 Santa Mônica, 01 Brasília, 01 Santa Mônica II, 01 Lagoa salgada, 01 Aviário e 01 Cond. Parque da Cidade. A ETE Subaé faz seu lançamento em um afluente do rio Subaé a sua rede já foi duplicada e está em processo de triplicação.

A rede de esgotamento com as EEE que estão em funcionamento atualmente e o direcionamento dos efluentes até as ETE encontram-se no Apêndice III com um desenho esquemático no qual a distribuição das EEE é feito por sub-bacia.

5.2 QUANTIFICAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO EFETIVA

Como mencionado, a precipitação efetiva é a parcela da chuva que se transforma em escoamento superficial devida ao excesso de chuva sobre a capacidade de infiltração do solo. Após a utilização do método da CN, foram obtidos os valores da precipitação efetiva para todo o período de análise, Tabela 5.

Tabela 5. Valores para precipitação efetiva, obtidos através dos dados de pluviosidade pelo método da CN, para a cidade de Feira de Santana no período de 2008-2011.

Meses	Precipitação efetiva (mm)			
	Ano			
	2008	2009	2010	2011
Jan	0,0	0,0	0,0	0,1
Fev	34,5	1,6	0,0	0,0
Mar	0,1	0,0	0,0	22,5
Abr	26,9	0,0	9,2	1,1
Mai	0,0	36,6	0,0	0,0
Jun	0,0	7,7	0,0	0,0
Jul	0,0	0,0	40,4	0,0
Ago	0,0	0,0	0,0	0,0
Set	0,0	0,0	0,0	0,0
Out	0,0	0,0	0,0	16,2
Nov	23,9	0,0	0,0	5,0
Dez	9,9	0,0	9,2	0,1

5.3 COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO

Como medida de grau de correlação da dependência entre duas variáveis (x e y), p_{xy} , assim como a direção dessa correlação - se positiva ou negativa - o coeficiente de correlação de Pearson é o mais utilizado (McDONALD, 2009). Esta correlação mede a variância compartilhada entre duas variáveis, embora ao apresentar uma linearidade não se pode afirmar que um aumento ou decaimento de uma unidade na variável x gere o mesmo efeito em y . No entanto, este método é inadequado às séries de dados em análise no presente estudo. Pois, estas séries não seguem a uma distribuição normal, nem à linearidade da sua relação, que são as condições de aplicabilidade do coeficiente de correlação de Pearson (RODGERS e NICEWANDER, 1988). Para as condições apresentadas pelos dados, o coeficiente de correlação de postos de Spearman é o mais adequado (McDONALD, 2009), uma vez que este é um método não-paramétrico que usa somente os postos, e não faz quaisquer suposições, ou seja, em vez de trabalhar com os valores obtidos, trabalha com seus postos, substituindo cada valor em ambas as variáveis por sua colocação no grupo todo, Equação 2. Isto é, calcula o coeficiente de correlação de Pearson nos postos.

$$p = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n(n^2 - 1)} \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

p : é o Coeficiente de Correlação de Spearman; d_i :
diferença entre as ordenações; n : número de pares
de ordenações;

Portanto, o coeficiente de correlação de postos de Spearman foi utilizado como medida de força de correlação aplicada no presente estudo. Foram realizados duas análises para determinar o coeficiente de correlação entre a precipitação efetiva e os consumos de energia. Os consumos de todas as EEE foram somados por mês de consumo em totais mensais e individualmente. Os valores individuais não apresentam correlação significativa com a precipitação efetiva, contudo o consumo total apresenta uma correlação significativa, embora fraca.

O resultado da análise com a soma dos totais mensais dos dados das EEE em correlação à precipitação efetiva apresentou correlação, ainda que fraca, e está

apresentada em negrito, na Tabela 6. Deve ser observado que, ainda que haja correlação não implica que haja causalidade, ou seja, mesmo que as variáveis apresentem uma correlação, não significa que uma seja a causa da outra.

Neste estudo não foi considerado a eficiência do sistema de drenagem pluvial da cidade, portanto, não podemos desconsiderar que este sistema possa interferir na vazão que chega até a rede diminuindo a contribuição das águas de chuva que provoca o aumento do consumo de energia das EEE. Outro ponto importante é a agregação dos dados de medição do consumo de energia das elevatórias analisados, estes dados foram agregados mensalmente, reduzindo, quando houver, os pontos de picos de vazão devido à precipitação que possa ocorrer na rede.

As correlações apresentadas pelos resultados se mostraram fracas para todas as EEE cuja força de correlação foi testada com a P_{ef} (precipitação efetiva) que é uma parcela da precipitação e representa o volume que efetivamente gera a vazão de escoamento.

Ao observar os valores para o coeficiente de correlação, as estações que apresentaram um maior valor, ainda que fracas, podem estar no fato de que ambas recebem efluente de outras EEE, que se soma ao efluente seguindo direto para estas estações. As estações menores possuem um número menor de ligações e conseqüentemente captam um volume menor de efluente, o valor coletado do consumo de energia das bombas não consegue evidenciar se há ligações irregulares de águas pluviais na rede coletora de esgoto através de um aumento no volume. Fato que se pode observar quando se trata de uma vazão maior chegando às estações maiores, principalmente em épocas de chuva.

A dependência entre o consumo de energia nas EEE e o volume total de água consumida apresentou correlações fracas também. Isto pode acontecer devido à parcela que gera um aumento no consumo da água utilizada não ser lançada na rede coletora, como lavagem de pátios, ruas e veículos, irrigação de jardins, processos industriais etc. Outros fatores podem estar relacionados à existência de sistemas isolados de tratamento em alguns condomínios, dos quais não seguem para a rede geral, e a existência de residências com poços de água dos quais não são somados aos valores de consumo de água da cidade. Devem ser consideradas ainda, as perdas no processo de distribuição de água devido a fatores como as más condições das tubulações e juntas de vedação.

O número de medições em cada série de dados experimentais, precipitação, consumo total de água e de energia nas EEE, é elevado ($n > 30$), assim, as correlações não ficam por provar por escassez de medições destas séries. No entanto, poder-se-á averiguar da existência de possíveis erros de medição nos dados experimentais (Precipitação, consumo público total de água, consumo de energia nas EEE). É interessante analisar os coeficientes de correlação entre os consumos de energia das várias EEE. Embora não haja uma relação causa-efeito entre os consumos de energia de duas estações hipotéticas, é provável que, dependendo de questões topográficas ou outras, respondam de igual modo às mesmas variáveis que afetem o consumo de energia num dado momento. Assim, é esperado uma correlação significativa entre os consumos de energia de duas EEE que se encontrem na mesma linha de esgoto. Contudo, segundo

os dados da Tabela 6, todos as EEE apresentam uma correlação estatística fraca entre elas. Nesta fase pode-se avançar com a hipótese de existência de erros ou inconsistências no processo de medição do consumo de energia nas EEE. Voltaremos a este ponto mais à frente com a análise de teste de sazonalidade às séries de dados experimentais.

5.4 TESTE DE SIGNIFICÂNCIA DOS COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS

Existem dois fatores que determinam a relação entre duas variáveis: a força e a significância da sua relação. A significância de uma relação é expressa por um nível de probabilidade p (ou significância), (por exemplo, $p = 0.05$ indica um nível de confiança de 95%). Este nível de probabilidade indica a não probabilidade de um dado coeficiente de correlação, p , ocorrer se não existe a relação. Um teste de significância pode ser conduzido através de um teste de hipóteses, isto é, um método com o objetivo de verificar se os dados são compatíveis com alguma hipótese, podendo muitas vezes sugerir a não validade de uma hipótese. Aqui iremos testar a hipótese nula.

A hipótese nula (H_0) é a hipótese que traduz a ausência do efeito que se quer verificar. Para este trabalho a hipótese nula (H_0) será: determinar o nível de probabilidade para o qual os coeficientes de correlação entre precipitação-EEE, precipitação efetiva-EEE e consumo total de água- EEE, ou mesmo entre as EEE, são iguais a zero. A significância das relações foi avaliada segundo o teste estatístico t do coeficiente de correlação de postos de Spearman. Este teste emprega a distribuição t de student, Equação 3.

$$t_{\text{calculado}} = \rho * \sqrt{\frac{n-2}{1-\rho^2}} \approx t_{n-2}$$

Equação 3

Onde:

t : t calculado n : número de medições p : coeficiente de correlação

Em que $n-2$ são graus de liberdade para n medições.

Para n grande ($n > 10$), a expressão anterior tem distribuição t de Student com $n-2$ graus de liberdade, na condição de hipótese nula (SIEGEL, 1975).

Segundo o teste estatístico, se os valores de t calculados obedecerem à seguinte condição: $-t_{\text{crítico}} < t_{\text{calculado}} < +t_{\text{crítico}}$, a hipótese nula não pode ser rejeitada com 95% de nível de confiança se $p = 0.05$. Isto é, temos 5% de probabilidade de cometer um erro ao não rejeitar a hipótese nula.

Utilizando uma tabela t de student e considerando $p = 0.05$ para teste estatístico bilateral (os nossos valores de p são positivos e negativos), e para 46 graus de liberdade ($n = 48$ para todas as relações, exceto para com os consumos de energia de José Falcão-JF e Residencial Magnólia-RM), obtemos $t_{\text{crítico}} = 2.019$ (STATSTODO, 2013). Para as relações com os consumos de energia de JF e RM, 34 e 27 graus de liberdade respectivamente, temos t críticos de 2.0322 e 2.4727.

A Tabela 7 apresenta a matriz dos t calculados para as séries de dados em análise. Em negrito apresentam-se as correlações significativas, i.e., as correlações para as quais a hipótese nula não pode ser rejeitada. Observa-se que apenas as correlações entre a precipitação e o consumo de energia na EEE de Capuchinhos, e entre o consumo público de água e o consumo de energia na EEE de Bom Viver são significativamente diferentes de zero com um nível de confiança de 95%, contudo estas correlações são fracas.

Tabela 7. Matriz dos valores de t calculado para avaliação do teste de significância das séries de dados.

	Variáveis				Estação Elevatória de Esgoto																	
	• ^{cc} i n o "5" Eg	S ^{"2} ts Bk Q	O δ = jg jq = 1 (T	n a "3 O &	ps ^{cc} ■o = ' o	o u ■3 r; &	CS s 5]o	N E > M 2	T" £ <	n _m £ < tJ	(0 < DO	ō o-- E; O	£ i*	■"i a X	O < 3' n	George Américo	3 o "D 2	> ō"	o g £ jq p	£ ES	K 5" £	í to o" 1
-																						
>	Precipitação	7,32	0.143	2,511	0.571	0.65	- 22	1.150	0.190	-0,416	0.871	1.124	1.608	0,234	-1.018	-	-0.141	-0.424	-	0.765	0,720	1.463
Z	P. efetiva		0.902	0.782	1,603	0,90	1 23	0,039	0,666	0,208	1,427	0,199	0,918	1,380	-1,025	-	0,618	0,141	-	1,530	0,740	2,137
>	C. de água			-1.575	-1.382	0.72	1 70	1.091	-0.794	-0.920	1,267	-	-2.169	0,022	2,348	0.652	1.587	1.058	-	1.675	-0,378	0,273
	Capuchinhos				1,237	2,97	2,214	-0,204	0,388	-0,316	-0,770	4,932	1,193	-2,952	-0,235	-	-0,794	-1,894	0,554	2,375	3,422	1,461
	Capuchinhos II					1,40	-	-2,829	-0,566	0,344	-0,097	1,396	0,229	2,520	-0,530	-	-1,168	-1,420	2,035	0,324	1,303	3,474
	Capuchinhos III						0,173	0,007	2,072	0,950	0,818	1,514	1,340	-0,361	0,538	0,702	0,758	-1,871	1,397	1,267	2,639	3,188
	Capuchinhos IV							3,023	2,366	0,549	-1,057	1,353	0,599	-4,033	-0,152	-	-0,015	-0,166	0,047	1,116	1,166	-2,034
	Elza Azevedo								1,422	-0,062	0,391	-	0,743	-2,3	-0,207	0,661	1,818	1,247	-	-2,245	-0,798	-2,679
O	Feira VI 1									1,829	0,886	-	0,522	-0,644	-0,999	-	-0,122	-1,314	0,834	-1,444	0,496	-0,310
fS	Feira VI 2										-1,339	0,581	0,980	0,405	-0,336	1,032	-1,949	-1,897	2,169	-0,058	0,827	0,867
	Feira VI E											-	-0,126	1,092	0,084	0,241	3,000	-1,100	-	1,397	-0,487	0,792
h	José Falcão												2,294	-0,653	0,676	-	0,171	-2,713	-	2,961	3,439	2,578
-o	Feira X F													0,263	0,579	0,938	1,793	-0,581	-	0,850	2,325	2,531
e	Feira X F1													-1,839	-	-	-0,578	-0,722	1,237	1,106	-2,45	2,656
o	Bom Viver														2,550	2,095	0,113	-	2,608	2,631	1,455	
■	G-eorge Américo																-0,046	1,500	-	0,110	0,854	1,682
	Santo Expedito																	0,210	-	1,5 24	1,027	0,315
	Aviário																		0,720	-1,666	-2,65	-1,983
	Res. Magnólia																			-2,011	-1,334	1,549
	Jussara																				4,001	3,744
	EIE Subaé																					5,130
	Energia Total																					
	N	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	36	48	48	48	48	48	48	29	48	48	48
	t crítico	2.019	2.01	2.019	2.019	2.019	2.01	2.019	2.019	2.019	2.019	2.032	2.019	2.019	2.019	2.019	2.019	2.019	2.473	2.019	2.019	2.019

Deve ser salientado, no entanto, que não rejeitar a hipótese nula significa apenas que não se conseguiu, através dos dados disponíveis, demonstrar sua falsidade, o que difere completamente de provar sua veracidade. Por outras palavras, não podemos afirmar que não existam relações de causa-efeito entre as restantes relações, apenas podemos afirmar que, através dos dados disponíveis, a hipótese de que não existam essas relações de causa-efeito não pode ser rejeitada com um nível de confiança de 95%.

Aplicando o teste de significância à relação entre o consumo de energia nas EEE, e ainda utilizando a Tabela 7, observamos nos valores em negrito que apenas em 19 relações entre 153 relações possíveis $((18*18-18)/2)$ se verifica uma correlação significativamente diferente de zero com 95% de nível de confiança, isto é, em aproximadamente 12% das relações possíveis. Este fato pode ficar mais relevante ao observarmos as estações que estão na mesma rede e que foram avaliadas, Apêndice III. Estas EEE deveriam apresentar correlações por estarem na mesma linha de rede, uma vez que, uma estação a montante lança efluente na estação à jusante, no entanto apenas existe uma correlação significativa entre as que estão na mesma linha de rede, referente à EEE Bom Viver e EEE George Américo. A falta de correlação significativa entre estas estações evidenciam possíveis erros na medição do consumo de energia.

5.5 TESTE DE SAZONALIDADE DAS SÉRIES TEMPORAIS

Como lidamos com séries temporais de precipitação, consumo de água e consumo de energia nas estações elevatórias, é útil testar a sazonalidade no comportamento dessas séries temporais a fim de verificar a qualidade dos dados experimentais. A variação na sazonalidade corresponde a movimentos similares que uma dada série temporal obedece durante os mesmos meses de anos consecutivos. Dentre as análises, apenas três séries apresentaram sazonalidade: a precipitação, o consumo total de água e a EEE do Feira VI-Batalhão.

Apesar de a precipitação ser um processo aleatório, que não permite uma previsão determinística com uma maior antecedência, possui uma relativa periodicidade. Como pode ser observado na Figura 13, o estudo da distribuição sazonal da precipitação pluvial apresentou uma sazonalidade de 11 meses para o período dos

quatro anos contínuos avaliados. Nota-se também que a maior incidência de chuva ocorre no início do ano, no verão. Estas observações levam a ressaltar que a obtenção destes dados ocorreu de forma correta.

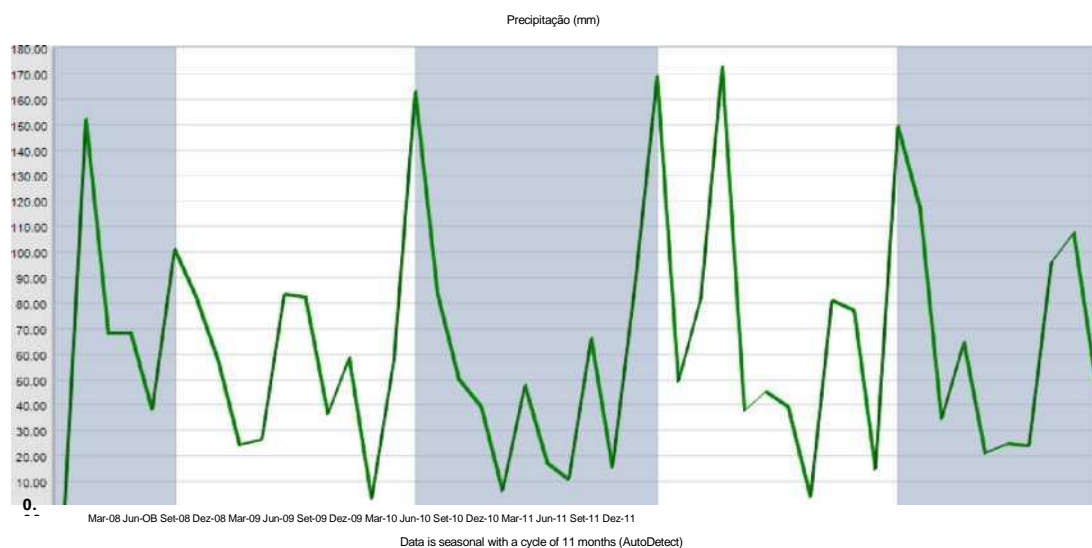


Figura 13. Gráfico de sazonalidade da Precipitação-P, de Feira de Santana para o período de 2008-2011.

Assim como a precipitação apresentou seus picos no verão, o mesmo acontece com o consumo de água da cidade, como pode ser observado no gráfico da Figura 14.

Geralmente, os dias com incidências de chuvas reduzem o consumo de água, isto pode acontecer devido a uma boa distribuição espacial de chuvas, temperaturas mais baixas sem a necessidade da rega de pátios e jardins, que tendem a ser mais bem correlacionadas com redução do consumo de água. No entanto, o uso da água depende de muitos fatores relacionados ao tempo e também um componente sazonal, como o aumento de consumo no verão. O consumo total de água apresentou um ciclo de 12 meses para a sazonalidade.

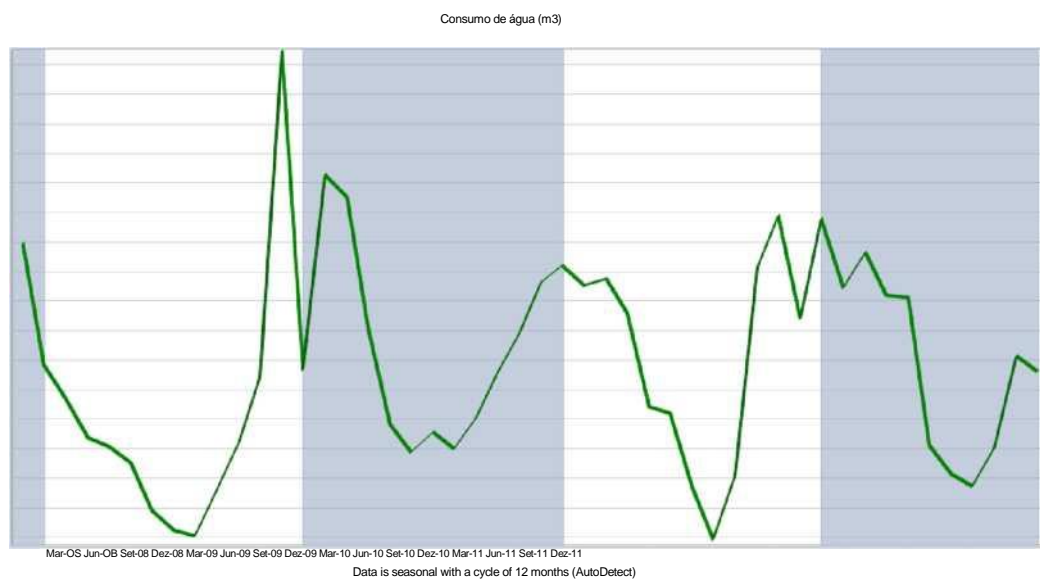


Figura 14. Gráfico de Sazonalidade do consumo total de água de Feira de Santana para o período de 2008-2011.

A sazonalidade apresentada para a precipitação e consumo de água era esperada, portanto, podem-se excluir erros de mediação para estes parâmetros. Assim, as correlações não ficam por provar por erros nestes dados.

Ao fazer outra análise através da comparação entre os dados mensais para cada série, Figura 15, pode-se observar que apresentam variação semelhante para os meses do período avaliado.

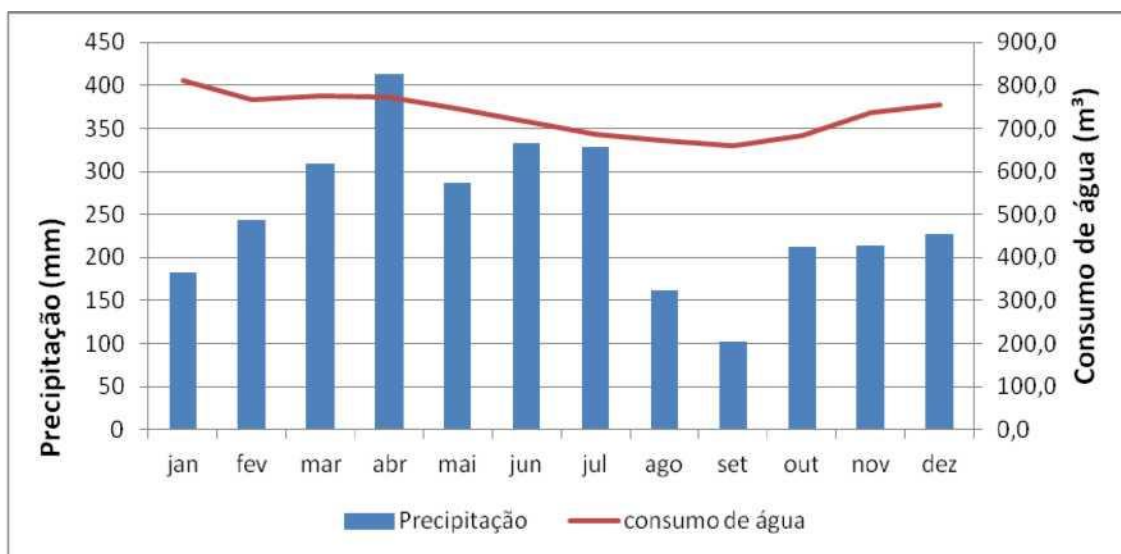


Figura 15. Hidrograma comparativo entre os dados de precipitação e o consumo de água para o período de 2008-2011.

A figura do gráfico da EEE Feira VI Batalhão, Figura 16, apesar de apresentar sazonalidade, obteve uma amplitude maior que de um ano, com um período de 17 meses. O consumo de energia nas restantes EEE não apresenta sazonalidade. Devido às demais estações não apresentarem sazonalidade podemos inferir que a sazonalidade apresentada pela EEE VI batalhão possa ser uma eventualidade. Seria necessário obter dados temporais de geração de esgoto, e da sua sazonalidade, para concluir se é provável a sazonalidade destes consumos de energia.

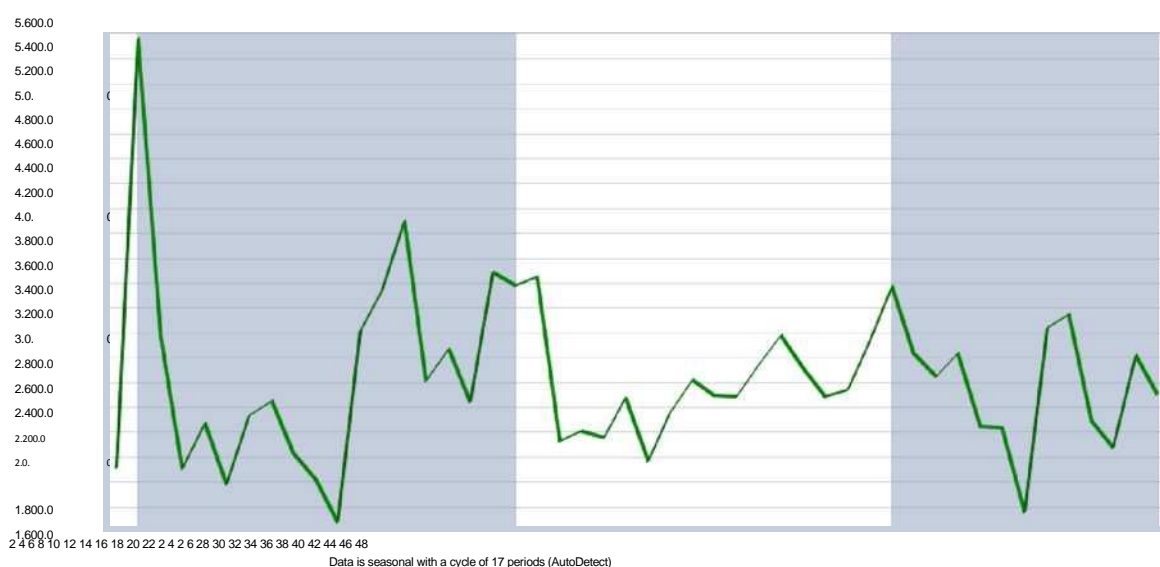


Figura 16. Gráfico de Sazonalidade da EEE Feira VI-batalhão em Feira de Santana para o período de 2008-2011.

Considerando que:

- a) Os consumos de energia nas EEE apresentam correlações significativas, no entanto fracas, entre eles apenas em 12% das relações possíveis.
- b) As séries temporais precipitação e consumo de água apresentam sazonalidade, como é esperado, logo podemos excluir erros na obtenção de dados destas séries temporais.

Logo, pode-se apontar como hipótese a existência de erros ou inconsistências no processo de medição do consumo de energia nas EEE. Assim, as séries de dados de precipitação e de consumo de água não apresentam, em geral, uma correlação significativa com o consumo de energia nas EEE possivelmente devido a estes erros, contudo, seria necessário um estudo mais detalhado para extrair uma conclusão definitiva.

5.5.1. Análise de sensibilidade a CN

Foi realizada também uma análise de sensibilidade para a CN, com uma faixa de valor de 30 a 100, em comparação com os coeficientes de correlação entre a precipitação efetiva e os consumos de energia das estações elevatórias, Figura 17. A análise evidenciou que os valores de CN em toda a faixa avaliada não apresentaram influencia significativa para os coeficientes de correlação entre a precipitação efetiva e os consumos de energia das estações.

Analisando-se ainda a faixa de valores para a CN em comparação com os valores de t calculado para a precipitação efetiva e as EEE, em todos os valores de CN as correlações são baixas. Ao calcular o $t_{\text{crítico}}$ podemos observar na Figura 18, que o $t_{\text{calculado}}$ é sempre inferior. Portanto, as relações não possuem correlações significativas mesmo para todos os valores da faixa de CN. Avaliando as elevatórias individualmente, apenas a EEE Jussara apresentou uma correlação significativa, com valores de CN menor que 40, para o consumo total de energia das EEE para a maior parte da faixa de CN foi significativamente diferente de zero com 95% de confiança.

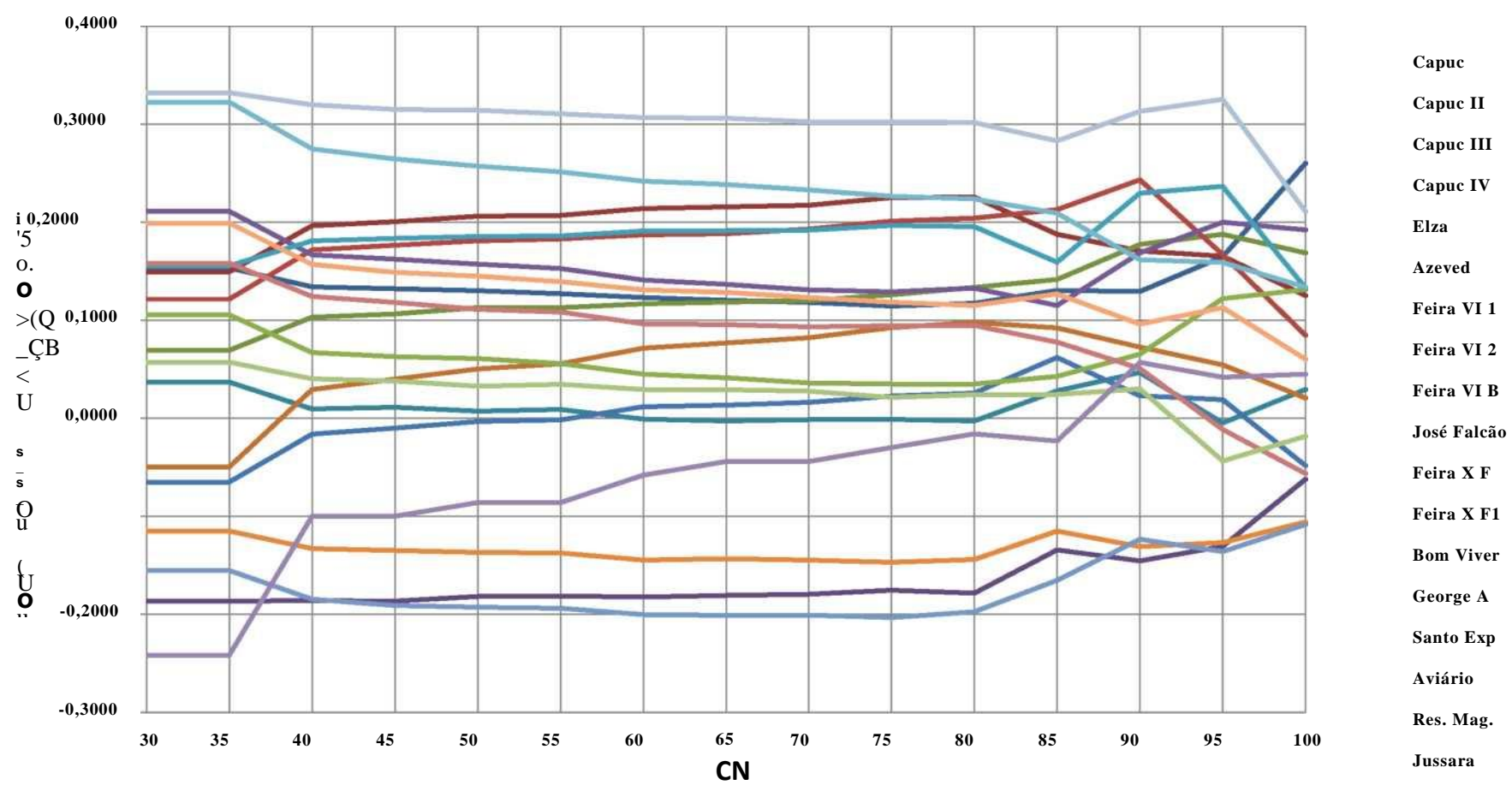


Figura 17. Influência da variação de CN no coeficiente de correlação entre a precipitação efetiva e os consumos de energia das elevatórias.

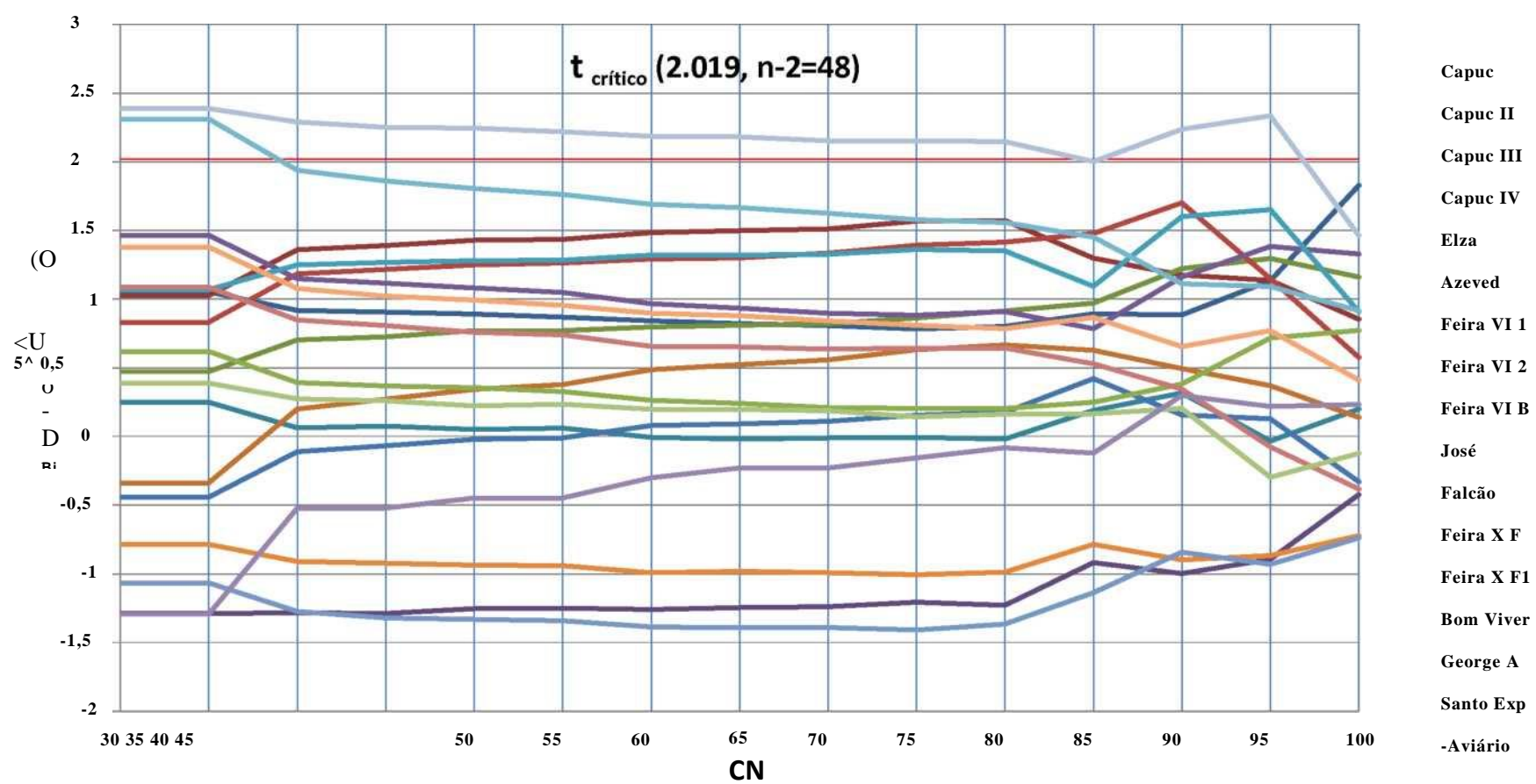


Figura 18. Influência da variação de CN para o t calculado entre a precipitação efetiva e as estações elevatórias de esgoto - EEE.

5.6 DISCUSSÕES ADICIONAIS

Atendendo ao objetivo principal deste estudo, foi possível observar uma correlação significativa, embora fraca, entre a precipitação efetiva e o consumo total nas estações elevatórias. Assim, calculou-se que 9% deste consumo energético se devem à precipitação efetiva ($R^2=0.09$). Em média foi estimado que um aumento de 1 mm de precipitação efetiva leva a um aumento de cerca de 1300 kW de consumo total de energia nas estações elevatórias. Contudo, observou-se que esta correlação não é significativamente diferente de zero, com um nível de confiança de 95%, quando se considerou apenas os consumos individuais de cada estação elevatória. Adicionalmente, verificou-se que a correlações entre a precipitação e os consumos de energia nas estações elevatórias, tanto a nível individual como ao nível do consumo total, não são significativamente diferentes de zero, exceto no caso da elevatória Capuchinhos. A resposta à principal questão que este estudo levanta, isto é, se a incorporação de águas pluviais no sistema de esgoto em análise leva a um aumento significativo do consumo de energia nas estações elevatórias, permanece assim ambígua e inconclusiva. No entanto estes resultados levantam outras questões para as quais este trabalho carece nesta fase de dados experimentais para o seu estudo:

1) Seria importante analisar a correlação entre a precipitação efetiva e a vazão de esgoto. Nesta fase do estudo é impossível determinar, por falta de dados experimentais, se um aumento de precipitação efetiva origina um aumento significativo de vazão de esgoto devido a infiltrações ou devido às ligações do sistema de coleta de águas pluviais com o sistema de coleta de esgotos, embora na sua maior parte estes sistemas estejam separados. Em sistemas combinados, como nos estudos de Olsen et al. (2012) e Ronczyk et al. (2012), esta correlação é observada. No entanto, no sistema separador esta correlação dependerá de questões locais específicas, tal como o nível de precipitação efetiva ou a condição das tubulações dos sistemas de coleta de esgoto.

2) Este estudo carece também de uma análise de correlação entre a vazão de esgoto e o consumo de energia nas estações elevatórias. Seria necessário determinar se um aumento da vazão de esgoto devido à precipitação efetiva, caso esta correlação seja significativa, produz um aumento do consumo de energia nas estações elevatórias. Esta relação pode não ser significativa já que a diluição da vazão de esgoto com águas pluviais pode dar origem a uma menor necessidade energética de bombeamento de esgoto por unidade de vazão.

3) A análise da correlação entre a vazão de esgoto e o consumo energético total no sistema de tratamento de águas residuais seria também importante para a obtenção de resultados mais conclusivos. Caso seja determinada uma correlação significativa entre o aumento de vazão de esgoto devida à precipitação e um aumento de consumo de energia nas estações elevatórias, seria essencial analisar a correlação entre a vazão de esgoto e o consumo energético total em todo sistema de tratamento de águas residuais. Este estudo carece de dados para avaliar, à partida, a contribuição do consumo energético nas estações elevatórias para o consumo total em todo sistema de tratamento de águas residuais. Nesta fase do estudo não sabemos se, por exemplo, 9% de energia total consumida nas estações elevatórias representam um valor significativo em relação ao consumo energético total no sistema de tratamento de águas residuais por falta de

dados. Caso não o seja, outros aspectos como o consumo energético poderá merecer maior atenção ao nível do esforço de redução das necessidades energéticas do sistema de tratamento.

Considerando estas questões, e analisando estudos anteriores, Olsen et al. (2012) observaram uma forte correlação ($R= 0.70$) entre a precipitação e a vazão de esgoto em um sistema combinado de tratamento de águas residuais em uma região de clima moderado, sudoeste de São Francisco, EUA. Em média, 1 mm de precipitação aumentou o efluente da estação de tratamento em aproximadamente 21.000m^3 . Adicionalmente, os autores observaram uma correlação moderada entre a vazão de esgoto e a energia total consumida nas estações elevatórias ($R=0.55$). Os autores apontam precisamente o fato de o esgoto diluído requerer menor processamento por unidade de efluente para satisfazer as necessidades de descarga. É de notar que nos meses de maior precipitação (Outubro-Março) a estação de tratamento recebeu 40% mais esgoto, contudo a energia total consumida em todo o sistema de tratamento apenas aumentou em 4%, sendo que a energia consumida nas estações elevatórias representou, em média, 6% da energia total em todo o sistema de tratamento. Assim, os autores determinaram uma correlação fraca ($R= 0.22$) entre a vazão de esgoto e o consumo energético total no sistema de tratamento. Em regiões de menor precipitação e com sistema separador, como no caso de Feira de Santana, esta correlação poderá ser ainda menos óbvia.

Não é de excluir que as correlações fiquem por provar por uma inconsistência ou erro no processo de coleta dos dados de consumo de energia nas estações elevatórias. Como referido anteriormente, dois pontos apontam para esta hipótese, a medição da precipitação foi feita diariamente e a sua série temporal apresenta sazonalidade, como seria esperado, logo podemos excluir erros no processo de medição desta variável, e apenas 12% das correlações possíveis entre o consumo de energia nas estações elevatórias são significativas, embora fracas, além do mais, principalmente no que caso de estações elevatórias em série não se verificou uma correlação significativa, contudo algumas destas estações podem funcionar a velocidade constante, não respondendo a variações de vazão, logo não se correlacionando com outras estações. Uma inconsistência possível deve-se ao fato de que os dados de medição dos consumos de energia nas estações se encontrar demasiado agregados temporalmente, já que os dados foram disponibilizados em médias mensais, assim estes valores poderão não refletir, caso a correlação exista, picos de precipitação de um ou mais dias, já que um possível pico de consumo de energia nas estações se encontraria "diluído" em uma média mensal.

6. CONCLUSÕES

Considerando que o objetivo principal deste estudo é a verificação de uma possível correlação entre precipitação efetiva e o consumo individual de energia nas EEE, concluímos que não foram determinadas correlações estatísticas significativas, com 95% de nível de confiança, entre estas relações. Contudo, foi possível observar uma correlação significativa ($p = 0.30$), embora fraca, entre a precipitação efetiva e o consumo total nas estações elevatórias. Assim, calculou-se que 9% deste consumo energético se deve à precipitação efetiva. Atendendo a outros estudos, que reportam uma contribuição fraca do consumo energético de energia em estações elevatórias em relação ao consumo total de sistemas de tratamento de águas residuais em sistemas combinados, podemos concluir que o impacto da precipitação no consumo total do sistema separador de tratamento de águas residuais de Feira de Santana, deverá ser pouco significativo. No entanto, este estudo carece de dados experimentais, tanto ao nível do consumo total de energia em todo o sistema de tratamento, como de vazão de esgoto para se extrair conclusões definitivas.

Apenas foram determinadas correlações estatísticas significativas com 95% de nível de confiança, embora fracas, em 12% das correlações possíveis entre os consumos de energia nas EEE, sendo que esta correlação não foi verificada em estações elevatórias que encontram-se em série no sistema. Estes resultados apontam para a hipótese de inconsistência dos dados disponibilizados de consumo de energia nas estações, possivelmente afetando a nossa análise. Os dados de medição de energia encontram-se agregados em médias mensais, assim podendo potencialmente não refletir picos de precipitação medidos em uma base diária.

REFERENCIAS

ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS). NBR-9649, Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário, 1986, 7p.

ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS). NBR-12207. Projeto de interceptores de esgotos sanitários, 1989, 3p.

ALMEIDA NETO, L. P. - Avaliação dos Componentes da Vazão de Águas Residuárias em Pequenas Comunidades - In: XXII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária Ambiental. 1990. Santurce, Puerto Rico.

BARROS, R. T. V. et al. - Manual de Saneamento e Proteção Ambiental para Municípios, Saneamento. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, 1995. 221p.

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. Caixa Econômica Federal, UNB; Brasília. 2004, 160 p.

BOELL, H. R. W.; RAVADELLI, M.; ALACON, P. T. Programa de identificação e eliminação de ligações irregulares de esgoto no município de Joinville. 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Belo Horizonte, Minas Gerais. Setembro, 2007.

BRASIL, Pesquisa Nacional de Saneamento Básico-2008, IBGE, Rio de Janeiro, 2010. 219 p. ISBN 978-85-240-4136-5.

_____, Ministério das Cidades, 2013. Disponível em www.cidades.gov.br > Acessado em 15/jan/2013.

CAMPOS, A. B. Interferência Das Águas Pluviais Na Estação De Tratamento De Esgotos Melchior. In: 25º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Recife, Pernambuco. Setembro, 2009.

COLOMBO, A. Problemas Derivados de lãs Interferências e Interconexiones de Águas de Alcantarillado Cloacal em los Sistemas de Drenaje Pluvial Urbano, In: Seminário Redes de Esgoto Sanitário e Galeria de Águas Pluviais: Interferências e Interconexões. São Paulo. 2004.

DIAS, A.P.; KLIGERMAN, D.C.; COHEN, S. C. Análise da Interconexão Entre os Sistemas de Esgotos Sanitário e Pluvial da Cidade do Rio De Janeiro. 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Belo Horizonte, Minas Gerais. Setembro, 2007.

DIAS, L. M.; LOBÃO, J. S. B.; MACHADO, A. S. Mapeamento do uso e ocupação do solo do município de Feira de Santana-Bahia. Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 2013, INPE.

DINIZ, A. F.; SANTOS, R. L.; SANTO, S. M. Avaliação dos riscos de seca para o município de Feira de Santana-BA associado à influência do *el niño* no semi-árido do nordeste brasileiro. +Geografias, Feira de Santana, n. 1, p. 18 - 24, Maio / nov. 2008.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.

EMBRAPA- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.

Disponível em <<http://www.uep.cnps.embrapa.br/solos/index.php?link=ba>> Acessado em 20 de junho de 2013.

FEITOSA, A.; FECHINE, J. A. L.; FERREIRA, C. W. S.; ARAÚJO, M. S. B. Modelagem dinâmica de escoamento superficial influenciando a susceptibilidade à erosão dos solos num município do semiárido de Pernambuco. VI Seminário Latino Americano de Geografia Física. II Seminário Ibero Americano de Geografia Física Universidade de Coimbra, Maio de 2010.

FESTI, A. V. Águas de chuva na rede de esgoto sanitário - suas origens, interferências e consequências. IN: 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Campo Grande, set 2005. Anais. Campo Grande: ABES 2005.

_____, A. V. Estimativa da Infiltração e do Afluxo Devidos à Precipitação na Rede de Esgoto Sanitário em Município de Pequeno Porte. 2006 Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de São Carlos. 113 p. 2006.

FREIRE, C. M. S. Influência de águas pluviais em redes de esgotos sanitários na cidade de Aracaju - São Cristóvão, 2010. Monografia (Engenharia Civil) Departamento de Engenharia Civil. Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão.

GASPARINI, R. R. Avaliação da taxa de infiltração e do coeficiente de retorno nas redes coletoras do sistema de esgotamento sanitário de Pato Branco - PR. In: 24º Encontro Técnico AESabesp. 2013.

GEHLING, G. R.; BENETTI, A. D. Aceitabilidade de Sistema Combinado de Esgotos em Planos Diretores de Esgotamento Sanitário. - In: XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. ABRH. João Pessoa/PB. 2005.

HANAI, F. Y. CAMPOS, J. R. Avaliação da Infiltração na Rede de Coletora de Esgotos na Bacia do Ribeirão do Ouro da Cidade de Araraquara-SP. - In: XIX Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. ABES. 1997. Anais. Curitiba/PR.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Censo demográfico brasileiro, 2010. Disponível em <[WWW.inec.gov.br](http://www.inec.gov.br)> Acessado em 08/01/2012.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. Disponível em <<http://www.inmet.gov.br>> Acessado em 10/01/2012.

JABUR, A. S.; RIZZI, N. E. Estimativas da vazão máxima e capacidade de saturação hídrica da bacia hidrográfica do Alto do rio Ligeiro em Pato Branco, PR, FLORESTA, Curitiba, PR, v. 41, n. 4, p. 833. 2011.

KARPF, C.; KREBS, P. Quantification of groundwater infiltration and surface water inflows in urban sewer networks based on a multiple model approach. *Water Research* 45, 2011 p 3129-3136.

MANNINA, G.; VIVIANI, G. An Urban Drainage Stormwater Quality Model: Model Development and Uncertainty Quantification. *Journal of Hydrology* 381. 2010.

McDonald, J.H. *Handbook of Biological Statistics*, 2nd ed. Sparky House Publishing, Baltimore, Maryland, 2009.

MELLO, G. S. L.; REDA, A. L. L. Impacto de tormentas urbanas sobre a variação na qualidade do esgoto sujeito a inclusões de drenagem. 2003. Disponível em <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes22/cclxxv.pdf> Acessado em 08 de Nov. de 2012.

NASCIMENTO, N. O.; HELLER, L. Ciência, tecnologia e inovação na interface entre as áreas de recursos hídricos e Saneamento. 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Campo Grande, set 2005. Anais. Campo Grande, ABES, 2005.

NRCS - Natural Resources Conservation Service. "Chapter 7: Hydrologic Soil Groups". In: *National Engineering Handbook: Part 630, Hydrology*. 2009. Disponível em: <http://directives.sc.egov.usda.gov/>. Acessado em: 25 de Maio de 2012.

OLSEN, D.; GOLI, S.; FAULKNER, D.; McKANE, A. Opportunities for Automated Demand Response in Wastewater Treatment Facilities in California - Southeast Water Pollution Control Plant Case Study. Disponível em <http://drrc.lbl.gov/sites/drrc.lbl.gov/files/LBNL-6056E.pdf> Acessado em 10/07/2013.

PEPLAU, G. R.; et al. Caracterização de Bacias Urbanas para Implantação de Estrutura de Monitoramento. Estudo de Caso: Riacho Reginaldo - Maceió/AL. In: VIII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Gravatá-PE; Out.2006, CD-ROM, ABRH, 2006.

PEREIRA, A. R.; LEAL, C. P.; PASQUALETTO, A. Levantamento das ligações irregulares de esgoto e Verde-GO. Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI), 2003.

PIMENTEL, I. M. C.; CALLADO, N. H.; PEDROSA, V. A. Drenagem Urbana e a Balneabilidade das Praias de Maceió/AL. In XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, João Pessoa; Nov. 2005, CD-ROM, ABRH, 2005.

PORTO, M.F.A. Aspectos Qualitativos do Escoamento Superficial em Áreas Urbanas. In: TUCCI, C.E.M.; PORTO, R.L.L.; BARROS, M.T.B (org). *Drenagem Urbana*. Porto Alegre: ABRH/ Editora da UFRGS, 1995, p 387-428.

____ M. F. A.; HAUPT, J. P. O. Carga Difusa de Poluição Gerada em Áreas Urbanas. In: Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, São Luís-MA; Out.2004, CD-ROM, ABRH, 2004.

PORTZ, C. S. Sistema de esgotamento combinado: Adoção como fase inicial para viabilizar obras de saneamento integrando questões sanitárias e ambientais. 2009. Monografia (Engenharia Civil) Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2009.

RODGERS, J. L.; NICEWANDER, W. A. Thirteen ways to look at the correlation coefficient. *The American Statistician*, 42(1):59-66, February 1988.

RODRIGUES, L. C. V. Sistema de esgotamento sanitário separador absoluto - Uma análise do impacto das contribuições das águas pluviais. In: 26º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental-ABES, Porto Alegre, Setembro, 2011.

RONCZYK, L. SZ.; CZIGÁNY.; BALATONYI. L.; KRISTON. A. 2012. Effects of excess urban runoff on waste water flow in Pécs, Hungary. *RISCURI SI CATASTROFE*, NR. XI, VOL. 11, NR. 2/2012. Disponível em http://riscuriscatastrofe.reviste.ubbcluj.ro/Volume/XI_Nr_11_2_2012/PDF/Ronczyk.pdf Acessado em 10/07/2013

ROSA, A. P.; BOECHAT, M.; OLIVEIRA, S. M. A. C. Águas pluviais na rede de esgoto sanitário - Influência na vazão tratada e no desempenho de estações de tratamento de esgoto na região metropolitana de Belo Horizonte. In: 26º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental - ABES, Porto Alegre, Setembro, 2011.

ROSSO, T. C. A.; DIAS, A. P.; GIORDANO, GANDHI. Vulnerabilidade dos sistemas de esgotamento sanitário da cidade do Rio de Janeiro, RJ, Brasil - Relato de um estudo de caso. *Revista Recursos Hídricos*, Vol. 32, N° 2, 45-52, Novembro de 2011.

SCS - Soil Conservation Service. *National Engineering Handbook: Section 4, Hydrology*. 1972.

SIEGEL, Sidney. *Estatística não-paramétrica: para as ciências do comportamento*. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 350 p.

SILVA, E. V.; SANTOS, Q. R.; COHIM, E. H. B. S. Lançamento de Águas Pluviais na Rede de Esgoto e a percepção do usuário: Um estudo de caso. In: 27º Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental - ABES. Goiânia - GO. Setembro, 2013.

SILVA, N. M. B.; ARAÚJO, O.; SANTOS, R. L. Cartografia digital dos solos de Feira de Santana (BA) e elaboração de um SIG agro-pedológico. Disponível em http://www.cartografia.org.br/xxi_cbc/092-SG28.pdf Acessado em 17/02/2013.

SILVEIRA, A. L. L. Ciclo Hidrológico e Bacia Hidrográfica. In: TUCCI, C. E. M. (Org.) *Hidrologia: Ciência e Aplicação*. 4ª ed. Porto Alegre, RS: Editora da UFRGS/ABRH, 2009. Cap. 2, p. 35-51.

STATSTODO- Disponível em <http://www.statstodo.com/TTest_Tab.php> Acessado em 01 de Julho de 2013.

TSUTIYA, M. T.; ALEM SOBRINHO, P. Coleta e Transporte de Esgoto Sanitário. Esgoto Sanitário. Escola Politécnica da USP. São Paulo, 1999.

_____. BUENO, R. C. R. Contribuição de Águas Pluviais em Sistemas de Esgotos Sanitários. Estudo de Caso da Cidade de Franca, Estado de São Paulo. 22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Joinville, Santa Catarina. Setembro, 2003.

_____. _____. Contribuição de Águas Pluviais em Sistema de Esgoto Sanitário no Brasil. In: Seminários Redes de Esgoto Sanitários e Galerias de Águas Pluviais: Interferências e Interconexões. São Paulo. 2004.

_____. _____. Contribuição de Águas Pluviais em Sistemas de Esgoto Sanitário no Estado de São Paulo. In: 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. ABES, anais, Campo Grande, 2005.

TUCCI, C. E. M. Inundações e Drenagem Urbana. In TUCCI, C. E. M.; BERTONI, J. C. (org.) Inundações Urbanas na América do Sul, ABRH, Porto Alegre, cap.3, 2003. pp.45-129.

_____. Hidrologia: Ciência e Aplicação, 3ª Ed. Porto Alegre, UFRGS, ABRH, 2004.

_____. Apostila Gestão das Inundações Urbanas; Global Water Partnership South América, Associação Mundial da Água, UNESCO; 2005.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA - UEFS. Estação Climatológica 83221. Disponível em <<http://www.uefs.br/estacaoclimatologica/>> Acesso em 24 de Maio de 2012.

XLSim

Disponível em: <<http://xlsim.com/xlsim/index.html>> acessado em 25/05/2013.

ANEXOS

Anexo I. Classificação dos Grupos Hidrológicos dos Solos - GHS, características e capacidade de infiltração correspondente.

GHS	Características	Capacidade de infiltração
A	Solos arenosos e argilosos, profundos e bem drenados.	> 3,4 mm h-1
B	Solos arenosos, com pouca argila e orgânico.	2,5 e 3,4 mm h-1
C	Solos mais argilosos que o GHS B, com baixa permeabilidade.	1,4 e 2,5 mm h-1
D	Solos com pouca argila, rasos, pouco desenvolvidos e muito impermeáveis.	< 1,4 mm h-1

Fonte: FEITOSA et al. (2010).

Anexo II. Valores de CN para diferentes recobrimentos em áreas urbanas e suburbanas.

T U I J C I U I I U U ^ U I U	Classes hidrológicas dos solos			
	A	B	C	D
<i>Áreas de agricultura</i>				
Sem medidas de conservação do solo	72	31	38	91
Com medidas de conservação do solo	62	71	78	El
<i>Pastagem ou terrenos baldios</i>				
Em más condições	68	79	36	89
Em boas condições	39	61	74	80
Prados em boas condições	30	58	71	78
<i>Bosques ou áreas florestais</i>				
Cobertura sem matéria orgânica ("Mulch")	45	66	77	83
Boa cobertura do solo	25	55	70	77
<i>Espaços abertos, relvados, parques, campo de golfe, cemitério etc</i>				
Boas condições, com relva cobrindo mais de 75% da área	39	61	74	80
Condições razoáveis, com relva cobrindo de 50 a 75% da área	49	69	79	84
<i>Áreas comerciais e industriais</i>				
Áreas comerciais e de escritórios (85% da área impermeável)	89	92	94	95
Áreas industriais (72% de área impermeável)	81	38	91	93
<i>Áreas residenciais</i>				
Áreas médias dos lotes <500 m ² com média de 65% impermeável	77	35	90	92
Áreas médias dos lotes até 1000 m ² com média de 38% impermeável	61	75	83	87
Áreas médias dos lotes até 1300 m ² com média de 30% impermeável	57	72	31	86
Áreas médias dos lotes até 2000 m ² com média de 25% impermeável	54	70	30	85
Áreas médias dos lotes até 4000 m ² com média de 20% impermeável	51	68	79	84
<i>Superfícies variadas</i>				
Parques de estacionamento, telhados, viadutos etc.	98	98	98	98
<i>Arruamentos e estradas</i>				
Asfaltadas e com drenagem de águas pluviais	98	98	98	98
Gravilha ou macadamizadas	76	35	39	91
Terra	72	82	37	89

Fonte: Baungarten et al. (2003) *apud* Jabur e Rizzi, (2011).

APÊNDICES

Apêndice II- Determinação da função de densidade de distribuição dos dados experimentais (Precipitação, Precipitação efetiva, consumos de água e de energia nas EEE). Teste de Qualidade de Ajuste de Anderson-Darling (A-D).

Séries	Distribuição	Parâmetros
Precipitação	Lognormal	Mean=63.35119, Std. Dev.=48.92847, Location= -27.90893
Precipitação efetiva	Lognormal	Mean=56.39459. Std. Dev.=75625.56691, Location=-0.003
Consumo de água	Beta	Mmimum=1 53.35268, Maximum=261.29902, Alpha=2.77145, Beta=7.24127
Capuchinhos	Min Extreme	Likeliest=3132.69644, Scale= 1270.13326
F eira VI 1	Poisson	Rate= 1.04.8125
Feira VI 2	Neg Binomial	Probability^).00361. Shap s=3
F eira X F	Neg Binomial	Probability^).01227, Shape=10
FeiraXFl	Beta	Minimum—373.98373, Maximum=28915.02279. Alpha=0.56918. Beta=l.16642
J osé F alcão	Neg Binomial	ProbabilityH).05736, Shape=8
Bom Viver	Neg Binomial	Probability^).01191. Shape=5
George Américo	Logistic	Mean=8554.83391. Scale=1611.88646
Santo Expedito	Neg Binomial	ProbabilityH).00335, Shaps=2
Residencial	Binomial	Trials=807, Probability-0.12 819
Moonélia	Lognormal	Mean=2636.66668. Std. Dev.=6599.458. Location=78.77983
Jussara	Lognormal	Mean=2636.66668. Std. Dev.=6599.458. Location=78.77983
ETE Subaé	Max Extreme	Likeliest=46828.63334. Scale=9119.51344
Capuchinhos II	Discrete Uniform	Minimum=525, Maximum=7007
Capuchinhos III	Discrete Uniform	Minimum=628, Maximum=2725
Capuchinhos IV	Discrete Uniform	Minimum=201. Maximum=3402
Elza Azevedo	Discrete Uniform	Minimum=51. Maximum=2561
Feira VI. Batalhão	Discrete Uniform	Minimum= 1613. Maximum=5 656
Aviário	Discrete Uniform	Minimum=8. Maximum=4683

Apêndice III - Desenho esquemático da distribuição por sub-bacia das EEE atualmente em funcionamento em Feira de Santana.

