

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**EFEITOS DA EQUALIZAÇÃO DE FLUXOS SOBRE O
DESEMPENHO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE
ESGOTOS DE BRASÍLIA NORTE – ETEB NORTE**

CARLOS DAIDI NAKAZATO

ORIENTADOR: MARCO ANTONIO ALMEIDA DE SOUZA

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM TECNOLOGIA AMBIENTAL
E RECURSOS HÍDRICOS**

**PUBLICAÇÃO: MTARH.DM - 90/05
BRASÍLIA/DF: OUTUBRO – 2005**

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

**EFEITOS DA EQUALIZAÇÃO DE FLUXOS SOBRE O
DESEMPENHO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS
DE BRASÍLIA NORTE – ETEB NORTE**

CARLOS DAIDI NAKAZATO

**DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA FACULDADE DE
TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE
DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU
DE MESTRE EM TECNOLOGIA AMBIENTAL E RECURSOS
HÍDRICOS.**

APROVADA POR:

**Prof. Marco Antonio Almeida de Souza, PhD (ENC-UnB)
(Orientador)**

**Prof. Ricardo Silveira Bernardes, PhD (ENC-UnB)
(Examinador Interno)**

**Prof. Carlos Augusto de Lemos Chernicharo, PhD (UFMG)
(Examinador Externo)**

BRASÍLIA/DF, 17 DE OUTUBRO DE 2005

FICHA CATALOGRÁFICA

NAKAZATO, CARLOS DAIDI

Efeitos da Equalização de Fluxos sobre o Desempenho da Estação de Tratamento de Esgotos Brasília Norte – ETEB Norte [Distrito Federal] 2005.

xix, 151p., 210 x 297 mm (ENC/FT/UnB, Mestre, Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, 2005).Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1.Equalização de fluxos

2.Regularização de vazões

3.Operação de fluxos regularizados

4.Tratamento de águas residuárias

I. ENC/FT/UnB

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

NAKAZATO, C. D. (2005). Efeitos da Equalização de Fluxos sobre o Desempenho da Estação de Tratamento de Esgotos Brasília Norte – ETEB Norte. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação MTARH.DM - 90/05, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 151 p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Carlos Daidi Nakazato.

TÍTULO: Efeitos da Equalização de Fluxos sobre o Desempenho da Estação de Tratamento de Esgotos Brasília Norte – ETEB Norte.

GRAU: Mestre

ANO: 2005

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Carlos Daidi Nakazato
AOS 6 Bl. C aptº 112, Octogonal.
70.660-063 Brasília – DF – Brasil.

“Quando o homem explorar intensamente o pequeno átomo e o imenso espaço e disser que domina o mundo, quando conquistar as mais complexas tecnologias e disser que sabe tudo, então ele terá tempo para se voltar para dentro de si mesmo. Quando isso ocorrer, algo novo acontecerá. Ele encontrará pela segunda vez a sua maior invenção: a roda. A roda? Sim, só que dessa vez será a roda da emoção. Encontrando-a, ele percorrerá territórios poucos explorados e, por fim, encontrará o que sempre procurou: o amor, o amor pela vida e pelo **Autor da Vida**, JESUS”

(Augusto Cury)

Ao **Autor da Vida**, por morrer para que eu possa ter vida;
Aos meus pais Toshio e Kikuyo Nakazato (*in memoriam*), por me ensinar a ser gente;
A minha amada esposa Fátima, o meu “*broto*”, pelo amor, carinho e pela cumplicidade em todos os momentos deste caminho, sendo sempre a força nas minhas fraquezas;
As minhas filhas Carolina e Nathália, minhas “*pequenas*”, pelo amor, compreensão e incentivo no cumprimento desta etapa da vida; e
Aos meus familiares e amigos, sempre carinhosos, participantes e preocupados com mais este passo da nossa história.

AGRADECIMENTOS

Quando pensamos em realizar um trabalho experimental, em escala real, em uma unidade de tratamento de águas residuárias do porte e eficiência da ETEB Norte, sabíamos que não seria uma tarefa simples nem mesmo fácil. Também tínhamos a certeza que para o desenvolvimento e sucesso do trabalho, seria imprescindível o apoio e participação de muitos técnicos, uma equipe, portanto.

Ao prof. Marco Antonio Almeida de Souza, a quem eu considero mais que um mestre, um amigo, pelos ensinamentos acadêmicos e pela sabedoria de vida, sempre presentes nos momentos de alegria e de preocupação.

Aos amigos do mestrado com quem compartilhei nos últimos três anos, momentos ricos de carinho e de espírito de cooperação, pessoas que eu não conhecia e hoje já sinto saudades.

A equipe da ETEB Norte, participante ativa em todo desenvolvimento do trabalho, a começar pela amiga Adalete Machado, a quem devo uma parte do meu espírito de luta e o gosto por esta arte chamada “tratamento de águas residuárias”.

As técnicas e supervisoras Ana Maria Machado e Alzileide dos Santos, pela seriedade no desempenho de suas atividades, sempre me apoiando e ajudando nas decisões a serem tomadas na unidade.

Ao pessoal da manutenção eletro-mecânica, sob o comando dos técnicos Ronaldo Azevedo e Edilson Brito, pela sua presteza nas soluções dos problemas e a criatividade na adequação dos equipamentos às necessidades do sistema.

As equipes dos laboratórios de micro biologia e físico-química conduzidos pelas técnicas Ercília Ribeiro, Odailma Tavares e pela química Marília Dornas, sempre dispostas no apoio do desvendar dos problemas no processo.

A todos os outros cooperadores, que de uma forma direta ou indireta compartilharam comigo este tempo.

A esta equipe o meu muito obrigado e que Deus os abençoe.

RESUMO

EFEITOS DA EQUALIZAÇÃO DE FLUXOS SOBRE O DESEMPENHO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS DE BRASÍLIA NORTE

A concentração de um número cada vez maior de pessoas nos centros urbanos e a escassez de recursos financeiros e de espaço físico para expansão de estações de tratamento de águas residuárias tem levado à busca de uma maior eficiência dos sistemas existentes, sem, contudo, produzir sobrecarga orçamentária equivalente. Como estratégia operacional, a equalização dos fluxos afluentes tem-se mostrado uma ferramenta efetiva que permite a ampliação da capacidade das unidades de tratamento e que minimiza o impacto ambiental. O presente trabalho procura demonstrar os efeitos decorrentes da implantação de um sistema de regularização de fluxos. Para tal, utiliza-se de um caso de estudo, em escala real (a Estação de Tratamento de Esgotos Brasília Norte – ETEB Norte), visando a geração e análise de dados determinantes da consistência, da aplicabilidade, dos riscos e da flexibilidade de um sistema de tratamento submetido à equalização de fluxos. A metodologia do trabalho incluiu a implantação de condições para o sistema de equalização na unidade, tendo sido necessário fazerem-se algumas adequações do sistema existente, tais como: (1) alterações das estruturas físicas, (2) mudanças na rotina de coleta e análises físico-químicas, e (3) implementação de um novo esquema de atividades operacionais. Isso possibilitou o conhecimento dos detalhes das características do processo de tratamento, em suas diversas etapas, sob ações das variações das cargas hidráulicas. Como resultado do trabalho, foi possível observar o comportamento do sistema de tratamento das águas residuárias, funcionando sob um regime de fluxo regularizado, mantendo a mesma eficiência, gerando uma melhor condição de operação e um aumento na capacidade da estação com redução de custos.

PALAVRAS-CHAVE: equalização, regularização de vazão, Estação de Tratamento, Esgotos Sanitários, Águas Residuárias.

ABSTRACT

EFFECTS OF FLOW EQUALIZATION IN THE NORTH BRAZILIA SEWAGE TREATMENT PLANT PERFORMANCE

Search for more efficient sewage treatment plants, without relatively costs augmentation, has been provoked by the constant increasing of the urban population associated to financial resources and to land space scarcity for the expansion of the wastewater treatment plants. As an operational strategy, flow equalization has been showed to be an effective tool for the capacity enlargement of the wastewater treatment units and for environmental impact reduction. This work tries to demonstrate the effects from the implantation of a flow equalization system in a wastewater treatment plant. Using as a study case, in real scale (sewage treatment plant of North Brasilia, Federal District, Brazil), its objective is the data generation and analysis of the consistency, applicability, risk and flexibility of a treatment system submitted to flow equalization. The work methodology has included the implantation of the flow equalization process in that plant, including the necessary changes in the existing system, such as: (1) changes in the physical structures; (2) changes in the sampling, physical-chemical examination, flow measuring, and control routines; and (3) implementation of a new operational practice. This set of actions has made possible the knowledge of details of the wastewater treatment characteristics, in several stages, under variable hydraulic loads. As results, it was possible to observe the inferences about the wastewater treatment system behavior, working under a regularized flow system, maintaining the same treatment efficiency, generating a better operational condition and an increase of treatment capacity with cost reduction.

KEY WORDS: flow equalization, flow regularization, treatment plant, sewage, wastewater

SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO	1
2 - OBJETIVOS	3
2.1 - OBJETIVO GERAL	3
2.2 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
3.1 - CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	4
3.2 - PARÂMETROS DE PROJETO DE SISTEMAS DE ESGOTOS SANITÁRIOS	4
3.3 - CARACTERÍSTICAS DOS AFLUENTES A UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS - ETAR.....	7
3.4 - ESTRUTURA DE GESTÃO E CONTROLE DOS AFLUENTES	8
3.4.1 - Sistemas de equalização de fluxos	10
3.4.1.1 - Divisão Alternada do Fluxo (Figura 3.5):	13
3.4.1.2 - Divisão Intermitente do Fluxo (Figura 3.6):.....	13
3.4.1.3 - Fluxo Combinado Completamente Misturado (Figura 3.7).	14
3.4.1.4 - Fluxo Fixo Completamente Misturado (Figura 3.8).....	14
3.4.2 - Reflexos da equalização de vazões no processo de tratamento de águas residuárias	16
3.5 - AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE TRATAMENTO COM A INCORPORAÇÃO DO SISTEMA DE EQUALIZAÇÃO DE FLUXOS	19
3.6 - EXPERIÊNCIA CANADENSE	21
3.6.1 - Efeitos da equalização de fluxos no desempenho de uma planta de controle de poluição de águas de Stouffville – York/CA.....	21
3.6.1.1 – Unidade de tratamento	22
3.6.1.2 - Adequações da unidade tratamento	23
3.6.1.3 - Monitoramento dos sistemas, outono de 1976	23
3.6.1.4 - Monitoramento dos sistemas primavera de 1977 (período de sete semanas, entre março e maio).....	25
3.6.1.5 - Conclusões dos Estudos.....	27
3.6.2 - Sistema de tratamento de águas residuárias da cidade de Kelowna, BC- CA.....	29
3.6.2.1 – Introdução	29
3.6.2.2 – Processo de tratamento	31
4 – METODOLOGIA	35
4.1 - INTRODUÇÃO	35
4.2 - CARGAS HIDRÁULICAS NO SISTEMA.....	36

4.2.1 - Referência de dados de vazões.....	36
4.2.2 - Levantamento dos períodos de vazões características	36
4.3 - ESTRUTURAS DE SUPORTE.....	37
4.3.1 - Tanques de armazenamento	37
4.3.2 – Sistema de bombeamento de retorno	38
4.4 – OPERAÇÃO DO SISTEMA DE EQUALIZAÇÃO.....	39
4.4.1 – Sistema operacional	39
4.4.2 – Sistema de análises laboratoriais.....	40
4.5 – CARACTERIZAÇÃO DAS FASES DO DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA	41
4.5.1 – Formulação das bases do estudo dos efeitos da equalização de fluxos ..	41
4.5.2 – Fases de estudo	41
4.5.2.1 - 1ª fase - Fluxo de processo sem equalização	42
4.5.2.2 – 2ª fase – Fluxo de processo regularizado, mantendo o tratamento biológico operando com três unidades de reatores.	42
4.5.2.3 - 3ª fase - Fluxo de processo melhor regularizado, passando a operar com dois reatores.	43
4.6 – ANÁLISE DE RESULTADOS	44
5 - CASO DE ESTUDO: ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS BRASÍLIA NORTE – ETEB NORTE.....	45
5.1 - INTRODUÇÃO	45
5.2 - CORPO RECEPTOR DOS EFLUENTES DA ETEB NORTE.....	45
5.3 - CENÁRIO DE PROJETO.....	46
5.3.1 - Introdução	46
5.3.2 - ETEB Norte antiga	47
5.3.3 – Ampliação da ETEB Norte	49
5.4 - CENÁRIO ATUAL	52
5.4.1 – Introdução	52
5.4.2 - Características da área de influência da ETEB Norte.....	52
5.4.3 – Experimento piloto	57
5.4.4 - Características operacionais de processo	60
5.4.5 - Sistema de coleta de amostras	64
5.4.6 - Análises físico-químicas	65
5.4.7 - Produtos químicos de processo	66
5.4.8 - Energia elétrica para operação	66
6 - RESULTADOS E DISCUSSÕES	68

6.1 – ESTUDOS PRELIMINARES.....	68
6.1.1 – Fluxo de processo	68
6.1.1.1 - Levantamento inicial das vazões	68
6.1.1.2 – Determinação das vazões características	68
6.1.2 – Sistema de equalização	70
6.1.2.1 – Fluxograma do sistema	70
6.1.2.2 – Volume de armazenamento para regularização	71
6.1.2.3 – Vazões de regularização dos fluxos de processo	74
6.1.2.4 - Cargas hidráulicas de recirculação	76
6.1.2.5 – Sistema de bombeamento de retorno	77
6.1.3 – Adequações das análises físico-químicas dos parâmetros de controle de processo.....	80
6.1.4 – Estimativa do consumo de energia	82
6.1.4.1 - Tratamento preliminar	82
6.1.4.2 - Tratamento biológico.....	84
6.2 – ANÁLISE DOS RESULTADOS DOS EFEITOS DO PROCESSO DE EQUALIZAÇÃO DE FLUXOS	85
6.2.1 – 1ª fase da pesquisa – fase controle, sem equalização	85
6.2.2 – 2ª fase da pesquisa – fase inicial da equalização	86
6.2.3 – 3ª fase da pesquisa – fase com equalização e dois conjuntos de tratamento biológico	86
6.2.4 – Vazões do processo.....	87
6.2.5 – Configurações do sistema de tratamento.....	89
6.2.6 – Consumo de energia elétrica no processo	91
6.2.7 – Consumo de produtos químicos de processo.....	94
6.2.8 – Eficiência do processo.....	96
6.2.9 – Confiabilidade de processo	107
6.2.9.1 - Estatística descritiva das concentrações	107
6.2.9.2 - Atendimento aos padrões.....	116
6.2.9.3 - Análise da confiabilidade	117
6.2.10 – Confiabilidade mecânica	121
6.2.11 – Custo operacional	121
7 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	123
7.1 - CONCLUSÕES.....	123
7.2 - RECOMENDAÇÕES.....	125
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	127
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS CITADAS EM APUD.....	131
APÊNDICES	132

APÊNDICE A – FLUXOS DE PROCESSO	133
APÊNDICE B – CARGAS HIDRÁULICAS	136
B.1 – ESTIMATIVA DAS VAZÕES REGULARIZADAS	136
B.2 – CÁLCULO DOS VOLUMES DE RECIRCULAÇÃO NO PROCESSO	137
B.3 – LEVANTAMENTO DAS VAZÕES MÉDIAS PARA O PERÍODO EFETIVO DA PESQUISA.....	138
APÊNDICE C – ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DOS CONSTITUINTES DAS ÁGUAS RESIDUÁRIAS.....	139
APÊNDICE D - TEMPO DE DETENÇÃO HIDRÁULICA - θ_H	142
APÊNDICE E – DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA.....	145
APÊNDICE F – CONSUMO DE PRODUTO QUÍMICO DE PROCESSO, SULFATO DE ALUMÍNIO	146
APÊNDICE G -CONCENTRAÇÕES DOS CONSTITUINTES NAS ETAPAS DO TRATAMENTO, COM FLUXO REGULARIZADO ...	148

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Tipos de Sistemas de Coletas de Águas Residuárias (Costa e Silva, 2002 - modificada)	5
Tabela 3.2 – Vantagens e Desvantagens dos Tipos de Sistemas de Equalização de Fluxos ..	15
Tabela 3.3 - Fluxo de Esgoto Bruto do Sistema Equalizado e Não-equalizado da SWPCP. (Amostragem Outono/76)	24
Tabela 3.4 - Carga no Decantador Secundário da SWPCP, outono 1976	24
Tabela 3.5 - Características do Esgoto Bruto da SWPCP.....	24
Tabela 3.6 - Fluxo de Esgoto Bruto do Sistema Equalizado e Não-equalizado da SWPCP. (Amostragem da Primavera).....	25
Tabela 3.7 - Carga no Decantador Secundário da SWPCP, Primavera 1977	27
Tabela 3.8 – Características da WWTF, ano 2003	32
Tabela 3.9 - Análise para Controle Operacional da WWTF (Carey, 2004 – modificado)	33
Tabela 3.10 - Análises Físico-química Mensal (Carey, 2004 – modificado)	34
Tabela 4.1 – Faixas de Vazões Características ao longo do dia	36
Tabela 4.2 – Sistema de Recalque para Retorno de Fluxo	38
Tabela 5.1 – Dados de Projeto ETEB Norte	47
Tabela 5.2 – Esgoto Bruto ETEB Norte (dados de projeto)	47
Tabela 5.3 – Características da ETEB Norte antiga	48
Tabela 5.4 – Características do Projeto da Ampliação da ETEB Norte	51
Tabela 5.5 – Parâmetros Característicos do Atual Sistema ETEB Norte	53
Tabela 5.6 – Extensão do Sistema Coletor ETEB Norte	53
Tabela 5.7 – Volume Medido da Área da ETEB Norte.....	54
Tabela 5.8 – Análises das Amostras do Tanque Piloto.....	59
Tabela 5.9 – Composição das Características do Fluxo Principal após o Ponto do Retorno .	60
Tabela 5.10 – Fases do Tratamento de Águas Residuárias – ETEB Norte.....	62
Tabela 5.11 – Concentração dos Constituintes das Águas Residuárias em cada etapa do Processo de Tratamento da ETEB Norte	65
Tabela 5.12 – Padrões do Efluente da ETEB Norte (valores de projeto)	65
Tabela 5.13 – Consumo de Produtos Químicos de Processo.....	66
Tabela 5.14 – Consumo de Energia Elétrica na ETEB Norte.....	67
Tabela 6.1 – Faixa de Horários das Vazões Características	69
Tabela 6.2 – Diagrama de massa para a Vazão Média	72

Tabela 6.3 – Parâmetros Limitantes na Efetivação do Retorno.....	75
Tabela 6.4 – Vazões Médias e Vazões Regularizadas, em Períodos Específicos.....	75
Tabela 6.5 – Volume Médio Diário de Contribuição dos ADFs e DAD.....	77
Tabela 6.6 – Sistema de Recalque para Retorno de Fluxo	78
Tabela 6.7 – Programação das Análises Físico-químicas.....	81
Tabela 6.8 – Consumo de Energia Estimado no Bombeamento de Retorno.....	83
Tabela 6.9 – Identificação das Fases da Pesquisa.....	85
Tabela 6.10 – Registro da Média das Vazões Horárias	87
Tabela 6.11 – Registro da Média das Vazões Diárias	88
Tabela 6.12 - Relação de Regularização sobre a Média das Vazões.....	88
Tabela 6.13 - Variações do Tempo de Detenção Hidráulica, θ_H	89
Tabela 6.14 – Unidades de Tratamento em Operação	90
Tabela 6.15 - Alterações no Sistema com a Equalização de Fluxos.....	93
Tabela 6.16 – Reflexos no Consumo de Energia Elétrica das Novas Configurações do Sistema de Tratamento.....	94
Tabela 6.17 – Comparativa do Consumo dos Produtos Químicos, nas três fases	95
Tabela 6.18 - Concentrações e Eficiências, por Etapa do Processo, durante a 1ª fase da pesquisa.....	97
Tabela 6.19 - Concentrações e Eficiências, por Etapa do Processo, durante a 2ª e 3ª fase da pesquisa.....	98
Tabela 6.20 - Percentual de Remoção Global da Concentração dos Constituintes.....	102
Tabela 6.21 – Eficiência do Processo Equalizado, sem a Aplicação de Produtos Químicos	102
Tabela 6.22 - DBO e DQO ao longo do Processo de Tratamento, 1ª fase.....	104
Tabela 6.23 - DBO e DQO ao longo do Processo de Tratamento, 2ª fase.....	105
Tabela 6.24 - DBO e DQO ao longo do Processo de Tratamento, 3ª fase.....	106
Tabela 6.25 – Estatísticas Descritivas das Concentrações.....	108
Tabela 6.26 – Estatísticas Descritivas das Eficiências.....	110
Tabela 6.27 – Frequência das Concentrações Dentro dos Padrões.....	116
Tabela 6.28 – Coeficiente de Confiabilidade para o Processo Global.....	118
Tabela 6.29 – Níveis de Confiabilidade no Processo	119
Tabela 6.30 – Atendimento a Padrões e Nível de Confiabilidade	119
Tabela 6.31 – Comparativo de Custos Operacionais Mensais nas três fases da pesquisa....	122
Tabela A.1 – Vazões Médias Horárias, Levantamento Preliminar (jan/2000 a mar/2004)..	133
Tabela A.2 – Vazões Médias de Processo, em Períodos Específicos, na ETEB Norte	135
Tabela B.1 – Vazões Médias Horárias, período da Pesquisa.....	138
Tabela C.1 – DBO para Controle Operacional	139

Tabela C.2 – DQO para Controle Operacional	139
Tabela C.3 – SS para Controle Operacional	140
Tabela C.4 – NTK para Controle Operacional	140
Tabela C.5 – PT para Controle Operacional	141
Tabela D.1 – Vazões Médias, 1ª fase.....	142
Tabela D.2 – Vazões Regularizadas, 2ª fase, Utilizando três Reatores	143
Tabela D.3 – Vazões Regularizadas, 3ª fase, Utilizando dois Reatores	144
Tabela E.1 - Tratamento Preliminar – Desarenador	145
Tabela E.2 - Tratamento Biológico – Reatores e Decantadores Secundários.....	145
Tabela F.1 – Consumo de Sulfato de Alumínio por Fase da Pesquisa	146
Tabela G.1 – Concentrações de DQO, ao longo do processo nos horário característicos....	148
Tabela G.2 – Concentrações de SS, ao longo do processo nos horário característicos	149
Tabela G.3 – Concentrações de NTK, ao longo do processo nos horário característicos	150
Tabela G.4 – Concentrações de PT, ao longo do processo nos horário característicos.....	151

LISTAS DE FIGURAS

Figura 3.1 - Equalização em Linha (adaptado de USEPA, 1999b)	11
Figura 3.2 – Câmaras de Armazenamento, em paralelo (adaptado de Force, 1992a)	11
Figura 3.3 – Sistema de Equalização de Fluxo em Linha.....	12
Figura 3.4 – Sistema de Equalização de Fluxo em Paralelo	12
Figura 3.5 – Divisão Alternada de Fluxo	13
Figura 3.6 - Divisão Intermitente do Fluxo	14
Figura 3.7 - Fluxo Combinado Completamente Misturado	14
Figura 3.8 - Fluxo Fixo Completamente Misturado	15
Figura 3.9 – Sistema Original da Unidade de SWPCP (adaptado).....	22
Figura 3.10 – Sistema Modificado da Unidade de SWPCP (adaptado)	23
Figura 3.11 - Média Horária de Distribuição de Fluxo, Sistema Não Equalizado da SWPCP (adaptado)	26
Figura 3.12 - Média Horária de Distribuição de Fluxo, Sistema Equalizado da SWPCP (adaptado)	26
Figura 3.13 - Volume Médio Afluente, Kelowna – CA (Li, 1999; Carey, 2001, 2002 - modificado)	30
Figura 3.14 - Carga de Fósforo, Lago Okanagan, (Carey, 2000 – 2002 - modificado).....	30
Figura 3.15 – Vista da WWTF e Redes Afluentes.....	31
Figura 4.1 – Fluxo Esquemático na ETEB Norte antiga	37
Figura 4.2 – Ponto de Separação do Fluxo Regularizado e do Excedente	39
Figura 4.3 – Pontos Básicos de Coleta de Amostras para Controle Operacionais	40
Figura 5.1 – Vista Aérea da ETEB Norte antiga	48
Figura 5.2 – Fluxograma de processo da ETEB Norte antiga	49
Figura 5.3 – Área de atendimento da ETEB Norte, adaptado (SIESG, 2002).....	49
Figura 5.4 – Vista Aérea da ETEB Norte, expansão.	50
Figura 5.5 – Fluxograma de Processo da ETEB Norte, ampliação.	51
Figura 5.6 – Exemplo de Variações das Cargas Hidráulicas Afluentes a ETEB Norte.....	55
Figura - 5.7 Variação das Vazões com a Hora do Dia.....	55
Figura 5.8 - Variação das Vazões pelo Dia da Semana	56
Figura 5.9 – Variações das Vazões com o Mês do Ano	57
Figura 5.10 – Armazenamento e Coleta no Tanque Piloto.....	58
Figura 5.11 – Ponto de Retirada de Fluxo do Processo após o Tratamento Preliminar	58
Figura 5.12 – Visão da ETEB Norte e seus Componentes	61

Figura 5.13 – Localização do Ponto de Medição de Vazões, calha Parshall.....	62
Figura 5.14 – Pontos de Coleta de Amostras no Fluxo de processo da ETEB Norte.....	64
Figura 5.15 – Coletor Automático	64
Figura 6.1 – Faixas das Vazões Características	70
Figura 6.2 – Fluxograma do Sistema de Equalização.....	71
Figura 6.3 – Diagrama de Massa, traçado para o caso da ETEB Norte.....	73
Figura 6.4 – Sistema de Recalque PLA – bomba antiga.....	77
Figura 6.5 – Sistema de Recalque PLA – bomba nova.....	78
Figura 6.6 – Ponto de Retorno do Volume Estocado para o Fluxo Principal.....	79
Figura 6.7 – Sistema de Deflexão de Fluxos	79
Figura 6.8 – Localização dos Pontos de Coleta	81
Figura 6.9 – Variação do Oxigênio Dissolvido nos Reatores x Vazão Afluente.....	84
Figura 6.10 – Relação da Vazão Horária e Vazão Média, por Fases do Estudo	89
Figura 6.11 – Progressão do Consumo de Sulfato de Alumínio para o Período em Estudo ..	96
Figura 6.12 – Remoção de DBO ao longo do processo.....	99
Figura 6.13 – Remoção de DQO ao longo do processo.....	100
Figura 6.14 – Remoção de SS ao longo do processo.....	100
Figura 6.15 – Remoção de NTK ao longo do processo	101
Figura 6.16 – Remoção de Fósforo Total - PT ao longo do processo	101
Figura 6.17 – Representação Gráfica da DBO e DQO ao longo do Processo, 1ª fase	104
Figura 6.18 – Representação Gráfica da DBO e DQO ao longo do Processo, 2ª fase	105
Figura 6.19 – Representação Gráfica da DBO e DQO ao longo do Processo, 3ª fase	106
Figura 6.20 – Diagrama de Caixas, Concentração e Eficiência Relativas a DBO.....	111
Figura 6.21 – Diagrama de Caixas, Concentração e Eficiência Relativas a DQO	112
Figura 6.22 – Diagrama de Caixas, Concentração e Eficiência Relativas ao SS.....	113
Figura 6.23 – Diagrama de Caixas, Concentração e Eficiência Relativas ao NTK.....	114
Figura 6.24 – Diagrama de Caixas, Concentração e Eficiência Relativas ao PT	115
Figura 6.25 – Atendimento das Concentrações no Efluente dentro dos Padrões	117
Figura 6.26 - Desenvolvimento da Remoção do NTK, na 3ª fase.....	120
Figura 6.27 – Componente dos Custos Operacionais da ETEB Norte (adaptada CAESB, 2005).....	122
Figura F.1 - Sulfato de Alumínio x Vazão de Processo, por fase da pesquisa	147
Figura G.1 - Concentrações de DQO	148
Figura G.2 - Concentrações de SS	149
Figura G.3 - Concentrações de NTK	150

Figura G.4 - Concentrações de fósforo total 151

LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURA E ABREVIACÕES

ADF	Adensador por Flotação
ADG	Adensador por Gravidade
A/M	Alimento/Microorganismo
ASCE	American Society of Civil Engineers
CAV	Coefficiente de Ajustamento de Vazões
CAC	Coefficiente de Ajustamento de Concentrações
CAESB	Companhia de Saneamento do Distrito Federal
CAR	Características das Águas Residuárias
CE	Canal de Entrada da ETEB norte
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DGP	Digestor Primário
DGS	Digestor Secundário
DP	Decantador Primário
DQO	Demanda Química de Oxigênio
DS	Decantador Secundário
EE	Estação Elevatória
EPA	Environment Protection Agency
ETAR	Estação de Tratamento de Águas Residuárias
ETE	Estação de Tratamento de Esgotos
ETEB norte	Estação de Tratamento de Esgotos Brasília Norte
ETEB sul	Estação de Tratamento de Esgotos Brasília Sul
ISSO	International Organization for Standardization
IT	Instruções de Trabalho
NTK	Nitrogênio Total Kjeldahl
OHSAS	Occupational Health and Safety Assessment Series
O&M	Operação e Manutenção
ONU	Organização das Nações Unidas
POE	Superintendência de Operação, Manutenção e Tratamento de Esgotos
POECN	Coordenadoria Operacional Centro Norte
PNSB	Pesquisa Nacional de Saneamento Básico
PT	Fósforo Total

RA	Região Administrativa
RSB	Reator Seqüencial por Batelada
SEMARH	Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos
SGI	Sistema de Gestão Integrada
SIESG	Sinopse do Sistema de Esgotamento Sanitário do Distrito Federal
SC	Sistema Combinado
SS	Sólidos em Suspensão
SSA	Sistema Separador Absoluto
SSP	Sistema Separador Parcial
SSV	Sólidos em Suspensão Voláteis
SU	Sistema Unitário
SWPCP	Stouffville Water Pollution Control Plant
t	Tonelada
θ_H .	Tempo de Detenção Hidráulica
θ_c	Tempo de Retenção Celular ou Idade do Lodo
USACE	United State Army Corps of Engineers
USEPA	United State Environment Protection Agency
UV	Ultravioleta
WEF	Water Environment Federation
WS	Cidade de Whitchurch-Stouffville
WWTF	Kelowna's Wastewater Treatment Facility

1 - INTRODUÇÃO

O mundo todo tem despertado para o fato de que a água é um recurso natural não renovável e da sua indisponibilidade em um futuro próximo. No Brasil também não é diferente de muitos países, sendo que a legislação brasileira adotou a posição de reconhecimento da vulnerabilidade e importância da água, promovendo políticas específicas e uma legislação ambiental mais rígida.

Como consequência de uma maior rigidez nas políticas e nas leis ambientais, foi incorporada também maior responsabilidade para os técnicos do setor em relação aos sistemas de esgotos sanitários, exigindo o conhecimento de novas tecnologias e estratégias operacionais mais racionais, ambientalmente corretas e economicamente viáveis.

Dentre as tecnologias e estratégias operacionais mais efetivas em um sistema de esgotos sanitários, o controle dos fluxos tem sido, na prática, um gerador de bons resultados, tais como: (1) solução de problemas operacionais, (2) ampliação da capacidade de tratamento das unidades e (3) minimização dos impactos ambientais. Esses resultados em uma Estação de Tratamento de Águas Residuárias – ETAR estão diretamente ligados à gestão de seus afluentes (carga hidráulica e orgânica) e, mais especificamente, à forma como esses afluentes são monitorados e controlados ao longo do processo de tratamento.

As estratégias de gestão dos fluxos afluentes ao processo de tratamento de águas residuárias podem ser desenvolvidas em duas frentes distintas:

- a. Externamente, com programas aplicados na área de abrangência da unidade;
 - i. Conscientização da comunidade usuária, quanto à correta utilização dos sistemas coletores;
 - ii. Inspeção e ajustes em unidades usuárias potencialmente poluentes, quanto aos efluentes gerados em seus processos produtivos,
 - iii. “Caça” e desativação de ligações de águas pluviais (públicas ou privadas) em redes coletoras de esgotos;
 - iv. Inspeção e correção dos problemas do sistema coletor, quanto a falhas no projeto, nos materiais, na execução e de ligações irregulares;

- v. Planejamento e projeto de estruturas de amortecimento dos picos de fluxos quantitativos no sistema coletor.
- b. Internamente, no sistema físico e operacional da ETAR;
 - i. Concepção de estruturas planejadas e projetadas devidamente ajustadas às reais características do sistema coletor (sistema unitário, separador absoluto e separador parcial), a fim de promover o amortecimento e homogeneização dos fluxos afluentes;
 - ii. Adequações metodológicas operacionais quanto ao manejo do processo de tratamento.

Considerando não ser foco da presente pesquisa a análise e as ações sobre o sistema coletor da área de abrangência da estação de tratamento, os esforços não foram concentrados nas características do fluxo antes da entrada da estação, e sim, na busca e na geração de alternativas viáveis com o propósito de aperfeiçoar o desempenho operacional da estação de tratamento com a implantação do sistema de equalização de fluxos.

A equalização dos fluxos é o processo de controle das variações das cargas orgânicas, hidráulicas horárias e de eventuais sobrecargas sobre o sistema de tratamento. Este processo deve ser incorporado no tratamento preliminar de uma ETAR, de modo a promover o controle e monitoramento dos fluxos que seguirão no restante do sistema de tratamento de águas residuárias.

Para isso, foram desenvolvidos estudos analíticos e experimentais, de modo a suprir as deficiências de pesquisas e experiências nacionais quanto à utilização do sistema de equalização de fluxos para obtenção de maior eficiência e confiabilidade no processo de tratamento de uma ETAR em um ambiente de fluxos regularizados.

Para a realização do estudo, foi utilizado um caso de estudo aplicado em escala real (a Estação de Tratamento de Esgotos Brasília Norte – ETEB Norte), o que possibilita a geração de uma base de dados acerca da consistência, da aplicabilidade, dos riscos e das alterações em um sistema de tratamento de águas residuárias, quando este é submetido à equalização de fluxos.

2 - OBJETIVOS

2.1 - OBJETIVO GERAL

A pesquisa tem como objetivo principal determinar os efeitos da equalização de vazões em sistemas de tratamento de águas residuárias, utilizando a Estação de Tratamento de Esgotos Brasília Norte (ETEB Norte) como caso de estudo, a partir da implantação do sistema de equalização nessa estação.

2.2 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS

São os seguintes os objetivos específicos da pesquisa:

1. Analisar e avaliar a capacidade das instalações da ETEB Norte antiga, quanto à efetivação do sistema de equalização (controle, armazenamento e bombeamento do fluxo excedente).
2. Conhecer e avaliar os efeitos sobre os parâmetros operacionais (vazão de processo, concentração dos constituintes, produtos químicos de processo, consumo de energia e custos) no sistema da ETEB Norte, que passarão a ocorrer com a implantação da regularização das vazões de processo;
3. Descrever e avaliar o desempenho (na remoção de constituintes das águas residuárias, consumo de produtos químicos de processo, aproveitamento de unidades operacionais e consumo de energia) do processo de tratamento da ETEB Norte, quando operado com fluxo regularizado;
4. Determinar o nível de confiabilidade do processo de tratamento da ETEB Norte quando submetido à equalização de fluxos.

3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 - CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Estudos apresentados em março de 2002, no Terceiro Fórum Mundial da Água, em Kyoto - Japão, a Organização das Nações Unidas – ONU, mostrou que a qualidade das águas disponíveis no planeta, está mais associada com a importância e o compromisso que uma sociedade tem com a preservação de seus recursos hídricos, do que com o seu grau de desenvolvimento absoluto.

Mas a manutenção dessa qualidade tem esbarrado na ainda distorcida visão sistêmica do ciclo que envolve o dia a dia da água, no contexto dos usos e costumes de um povo, e nas deficiências encontradas na maioria dos sistemas públicos de coleta e tratamento de águas residuárias, uma vez que, nos locais em que eles existem, estão incompletos e/ou inoperantes e, geralmente, com níveis de tratamento inadequados ou com falhas na operação e manutenção (O&M), não atendendo às exigências legais para o meio ambiente.

Metcalf & Eddy (1991) e Britto (2000), mostram que as águas sofrem variações em suas características, quando elas sofrem qualquer tipo de ação antrópica, passando a ser conhecida como resíduo líquido; mais especificamente, esgoto sanitário ou águas servidas, que se apresentam contaminadas com a introdução de agentes físicos, químicos e biológicos. Essas águas podem, eventualmente, se agregar a águas subterrâneas, superficiais ou pluviais.

As características da população e da área atendida por uma estação de tratamento de águas residuárias - ETAR - quando acrescidas aos eventuais problemas no sistema coletor, podem gerar alterações significativas nos parâmetros preconizados no projeto básico, ocasionando problemas operacionais nas unidades de tratamento e impactos ao meio ambiente.

3.2 - PARÂMETROS DE PROJETO DE SISTEMAS DE ESGOTOS SANITÁRIOS

Conforme proposto na literatura técnica, dependendo das características das águas residuárias a serem transportadas, determina-se o tipo de projeto e o dimensionamento a ser aplicado nos sistemas coletores; no Brasil são classificados em:

- a. **Sistema unitário ou combinado (SU):** as águas residuárias, as de infiltração, as superficiais e as pluviais escoam misturadas numa única tubulação;
- b. **Sistema separador absoluto (SSA):** as águas residuárias e as de infiltração escoam por uma tubulação independente da tubulação de águas pluviais (sistema de drenagem urbana).
- c. **Sistema separador parcial (SSP):** as águas residuárias, as de infiltração e parte das águas pluviais (apenas as que escoam em partes interiores impermeabilizadas das residências, telhados, calçadas, etc.) escoam por uma tubulação e, o restante das águas pluviais flui por outra tubulação separada.

No Brasil, de acordo com o relatado na Pesquisa Nacional de Saneamento Básico – PNSB, conforme mostrado na Tabela 3.1, dentre os locais pesquisados, que fazem uso do sistema de redes coletoras, tem-se a predominância do sistema separador absoluto, os quais totalizam 91% da extensão de redes coletoras em operação.

Tabela 3.1 – Tipos de Sistemas de Coletas de Águas Residuárias
(Costa e Silva, 2002 - modificada)

Formas de Organização	Extensão (km)	Contribuição para o Sistema Geral	Números de Distritos	Números de Municípios
Unitária ou Combinada	18.000	9 %	1.107	836
Separadora Absoluta	180.000	88 %	3.151	2.252
Condominial	5.700	3 %	243	ND

Legenda: ND – não determinado

Pessoa (1995) e Von Sperling (1996), entre outros, preconizam que o sistema coletor é do tipo separador absoluto; quando do levantamento dos parâmetros para elaboração de projetos de sistemas de esgotos sanitários, são considerados, apenas, os esgotos domésticos, despejos industriais e infiltração parcial.

Os sistemas de esgotos no Brasil têm sido dimensionados com base nas variações das vazões máximas (Q_{max}), médias (Q_{med}) e mínima (Q_{min}) de consumo de água, acrescido das estimativas das parcelas de infiltração, determinadas pelas imperfeições do sistema coletor quanto a defeitos nos materiais, juntas ou paredes de poços de visita, quanto a qualidade de execução das obras, etc., em que são estabelecidos valores médios relativos ao comprimento do sistema coletor (L/s.km). Outra parcela componente do

volume total transportado pelo sistema coletor é o despejo industrial, os quais dependem do tipo e porte da indústria, processo, grau de reuso, etc.

Harada e Felizatto (1999) enfatizam que os conceitos de vazão máxima horária e diária têm sido utilizados rotineiramente como padrão de parâmetro para os projetos de redes coletoras, estações elevatórias e estações de tratamento de esgotos. Esses valores, entretanto, nem sempre conduziram a resultados coerentes, pois, no exemplo do Distrito Federal, mesmo áreas consideradas corretamente dimensionadas segundo esses parâmetros, apresentaram sobrecargas operacionais.

Há 25 anos, conforme registra o Tsutiya (2003), o prof. Azevedo Netto escreveu que: "a rigor as águas pluviais não deveriam chegar aos coletores de sistemas separadores absolutos, mas na realidade sempre chegam, não somente devido a defeitos das instalações e como também às ligações clandestinas, à falta de fiscalização e à negligência".

Von Sperling (1994) observa à comunidade técnica que o volume inexpressivo de dados relativos às possíveis variações das cargas hidráulicas do sistema a montante da unidade de tratamento tem induzido a permanência da utilização de estimativas tradicionais, quando da determinação das vazões dos afluentes a ETAR (percentual do consumo de água e estimativas de infiltração de águas subterrâneas no sistema coletor), por serem dados fáceis de serem obtidos quando do dimensionamento dos projetos e estudos de sistemas de esgotos sanitários.

O dimensionamento de sistemas de esgotos sanitários, baseado em estimativas das vazões afluentes, está fadado a dar origem a sistemas coletores, estações elevatórias e estações de tratamento de águas residuárias superdimensionadas ou subdimensionadas, afetando diretamente o desempenho técnico e econômico do projeto (Von Sperling, 1996).

Tsutiya *et al.* (2003) ratificam essas observações em seus estudos, salientando que o projetista deveria levar em consideração o funcionamento do sistema coletor sob uma nova perspectiva, uma visão mais operacional. Essa posição realista redirecionaria os levantamentos dos parâmetros para dimensionamento dos sistemas de esgotos sanitários, dando origem a um sistema de coleta intermediário.

3.3 - CARACTERÍSTICAS DOS AFLUENTES A UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS - ETAR

As deficiências do sistema coletor acarretam diversos tipos de variações na qualidade e quantidade do material transportado para as ETARs, gerando problemas operacionais, ambientais e financeiros.

Para Von Sperling (1993), o conhecimento das características dos afluentes a uma ETAR é de grande importância para promover uma operação adequada no controle do processo de tratamento, de forma a manter a qualidade do efluente tratado dentro dos padrões exigidos pela legislação aplicável. Itonaga *et al.* (1994), Borges Pereira *et al.* (2003) e Tsutiya *et al.* (2003) reforçam que, nesse contexto, esse conhecimento pode permitir a antecipação das medidas de controle operacional, o que possibilitaria manter o efluente da ETAR como desejado.

Borges Pereira *et al.* (2003) procuraram apresentar as características quantitativas atuais dos afluentes a uma ETAR, que deveriam ser iguais à resultante de variações do consumo de água acrescido das variações do nível de água no subsolo, que infiltram no sistema pelas falhas dos materiais, juntas e problemas executivos. Mas os excessos das cargas hidráulicas no sistema sanitário não têm sido controlados pelas instituições responsáveis pelo sistema, possibilitando as inconstâncias nos fluxos de processo.

Tsutiya *et al.* (2003), em pesquisa realizada no sistema de esgotos da cidade de Franca (SP), obtiveram dados que, mesmo restritos, indicam a necessidade de uma discussão mais ampla sobre esse assunto pela comunidade técnica, quanto ao fato de que os sistemas de esgotos sanitários no Brasil não funcionam como separador absoluto, como proposto pelas normas brasileiras. Essa avaliação deve-se principalmente à contribuição das águas pluviais não previstas no dimensionamento dos componentes do sistema de esgotos, trazendo dificuldades principalmente na operação de estações elevatórias (EEs) e ETARs.

O trabalho de Itonaga *et al.* (1994) sobre a influência das precipitações nas atividades operacionais da Estação de Tratamento de Esgotos Brasília Sul – ETEB Sul – ressalta que essa unidade de tratamento sofre perturbações nos períodos de chuva, acarretando, além de problemas de natureza hidráulica, alterações nas características do esgoto afluente, gerando alterações no “*modus operandi*” da estação, tais como: mudança do tipo de

gradeamento, aplicação de procedimentos emergenciais como a utilização de *by-pass* em unidades específicas do sistema de tratamento e alterações nas dosagens de produtos químicos.

Von Sperling (1993) e Medeiros Filho *et al.* (1999) apresentam outros aspectos que também caracterizam as variações dos afluentes: os usos e costumes da população contribuinte. Nesse caso, a magnitude da vazão de esgoto varia ciclicamente conforme o ritmo de suas atividades. Um segundo fator causador das oscilações aleatórias dos fluxos são as características do sistema de transporte de águas residuárias, tais como as variações de dimensões, as declividades, os materiais e os componentes do sistema (estações elevatórias com funcionamento intermitente). Acrescentam, ainda, que a infiltração das águas pluviais, a descarga de despejos industriais e, inclusive, os resíduos de caminhão limpa fossa podem também afetar sensivelmente a regularidade dos ciclos.

Von Sperling (1994) observa que os projetos de uma ETAR, normalmente, assumem condições estacionárias, sendo as concentrações e vazões tomadas como constantes. Mas, de fato, a operação de uma unidade de tratamento está sujeita às contínuas variações da qualidade e da quantidade dos esgotos afluentes, estabelecendo-se uma condição dinâmica.

Tal condição é comprovada no dia-a-dia da operação de uma ETAR, em que essas contínuas variações provocam conseqüências danosas no desempenho da estação, e, em última análise, na qualidade do efluente final. Essa condição põe em risco a confiabilidade do sistema quanto ao atendimento da legislação aplicável (por exemplo, Resolução CONAMA 357/2005 e projeto básico da planta) e compromete severamente a operacionalidade do sistema de tratamento.

Portanto, as características dos afluentes a uma ETAR são influenciadas pela concepção e tecnologia empregada no sistema coletor, assim como pelos usos e costumes da comunidade usuária.

3.4 - ESTRUTURA DE GESTÃO E CONTROLE DOS AFLUENTES

A visão da concepção/operação de estruturas de gestão e controle dos afluentes a uma ETAR é mais clara quando se planeja e se projeta a partir de um sistema unitário/combinado recebendo indistintamente todo tipo de águas, estabelecendo o

universo de atendimento da unidade operacional, que é sensivelmente maior do que simplesmente os esgotos domésticos acrescidos das infiltrações normais.

Borges Pereira *et al.* (2003) enfatizam que, no planejamento de sistemas de esgotos sanitários, deve-se considerar a questão do tratamento combinado das águas residuárias, isto é, tratar as águas servidas (esgotos) e uma parcela das águas pluviais no mesmo sistema, tipicamente chamado de sistema separador parcial – SSP.

Para que essa visão se aproxime cada vez mais da realidade, os projetistas de sistemas de esgotos sanitários devem trabalhar sob o mesmo ponto de vista da área operacional, de modo a minimizar os impactos (picos de cargas hidráulicas) as variações diárias, semanais e sazonais. Na opinião de Von Sperling (1994), os projetistas e consultores de ETARs normalmente não atentam muito para esses fatores por considerá-los um problema a ser resolvido pela equipe de operação.

A *Minnesota Pollution Control Agency* (2002) avalia que a determinação dos fluxos de projeto e das cargas poluentes é um dos mais importantes itens no planejamento de um projeto ou da expansão de uma unidade de tratamento de águas residuárias. Uma análise detalhada das condições dos fluxos existentes ou do uso adequado de estimativas de fluxos projetados determinará a capacidade hidráulica e a de remoção de poluentes, de modo a cumprir as exigências legais.

Os fundamentos e modelos de estruturas para atender as variações dos fluxos afluentes a uma ETAR têm sido pesquisados e utilizados em grande escala na América do Norte (Estados Unidos da América e Canadá) e Europa, onde os seus sistemas coletores são conhecidos como “Sistemas Combinados”, semelhante ao que no Brasil é denominado de Unitário. Para esses sistemas, existem alguns modelos de gerenciamento e controle dos volumes excedentes à capacidade de tratamento das águas residuárias urbanas.

Atualmente tem sido uma tendência das entidades ambientais e de proteção dos recursos naturais como Environment Protection Agency – EPA, Water Environment Federation – WEF, American Society of Civil Engineers – ASCE, United State Army Corps of Engineers – USACE, Departamentos Estaduais e Universidades, preparar os sistemas coletores e de tratamento com a função de amortecer e equilibrar as variações dos afluentes a uma ETAR. Esse processo, denominado de equalização de fluxos, vem se

popularizando à medida que a visão operacional dos sistemas de esgotos tem sido entendida pela comunidade técnica.

Force (1992b) observa que o equilíbrio da variabilidade das vazões e das cargas orgânicas é um dos maiores desafios a serem trabalhados nos projetos de unidades de tratamento de águas residuárias. E que, independentemente dos diversos fatores determinantes das flutuações das vazões afluentes às ETARs, o sistema de tratamento deve ser capaz de processar a totalidade dos volumes de seus afluentes.

A equalização dos fluxos afluentes a uma ETAR tem como objetivo primário o amortecimento das variações dos fluxos diurnos e os volumes excedentes eventuais, de modo a promover uma vazão constante ou uma taxa de fluxo quase constante, no fluxo principal da seqüência do processo de tratamento.

No Brasil, a equalização de fluxos em sistemas de tratamento de águas residuárias não tem sido muito difundido, exceto quando o tipo de tratamento assim o exige (exemplo: Reator Seqüencial por Batelada - RSB). Isto deve-se, principalmente, ao alto custo de investimento envolvido, desconhecimento dos possíveis retornos financeiros/ambientais, mas também pela falta de conhecimento das reais características dos sistemas coletores.

3.4.1 - Sistemas de equalização de fluxos

O sistema de armazenamento para equalização de fluxos tem sido utilizado como a melhor opção para atenuar os picos dos fluxos, especificamente nos sistemas coletores combinados. USEPA (1999) apresenta alguns métodos de armazenamento:

- a. externos e internos às unidades de tratamento;
- b. subterrâneos ou superficiais;
- c. na mesma linha do fluxo principal ou em paralelo;
- d. nos próprios emissários ou em tanques de retenção.

Independente da forma, esses sistemas devem ter capacidade suficiente para armazenar os fluxos excedentes e, posteriormente, retorná-los ao sistema principal nos períodos de baixa vazão, quando o processo de tratamento tiver capacidade disponível.

Para tanto, são propostas estruturas de controle variadas, as quais poderiam ser instaladas ainda no sistema coletor: USEPA (1999b), em linha (Figura 3.1) ou em paralelo (Figura 3.2). As chamadas câmaras de armazenamento ou equilíbrio (Force, 1992a), instaladas numa condição paralela ao coletor principal, de modo a promover um amortecimento dos picos de fluxo, retendo o excedente e posteriormente retornando-o ao fluxo principal.

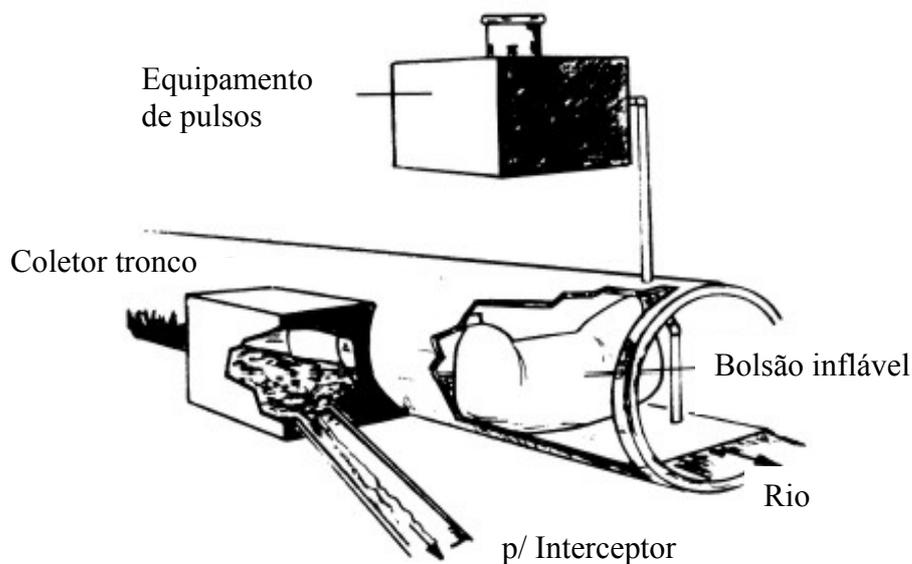


Figura 3.1 - Equalização em Linha (adaptado de USEPA, 1999b)

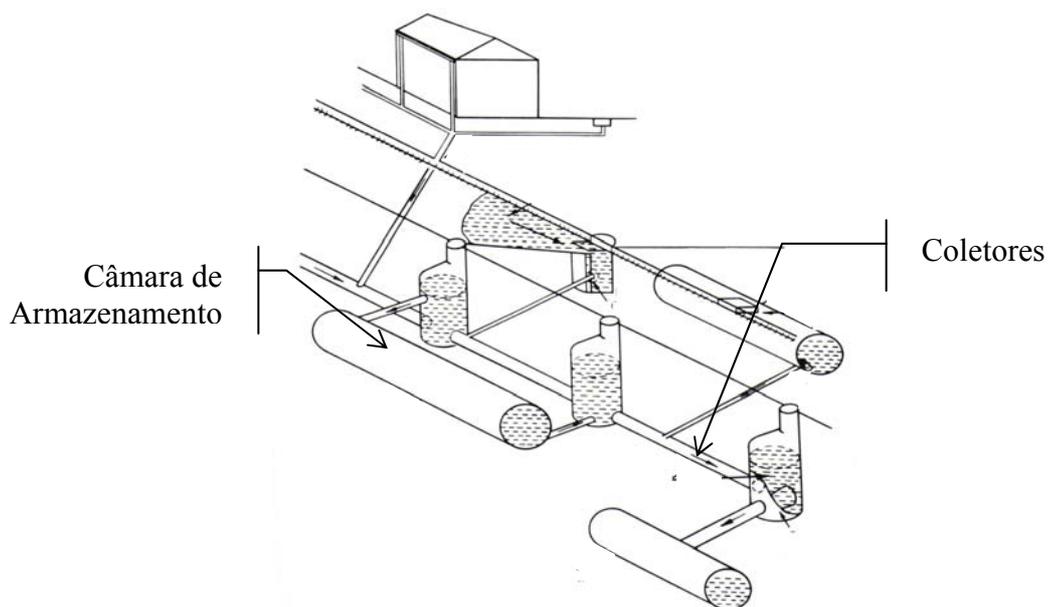


Figura 3.2 – Câmaras de Armazenamento, em paralelo (adaptado de Force, 1992a)

Dois tipos de configurações de sistema de equalização de fluxos, Figuras 3.3 e 3.4, são apresentados como modelos de instalações aplicadas após o tratamento preliminar, sendo a primeira no alinhamento do fluxo principal de tratamento e a segunda em uma derivação, ficando em paralelo.

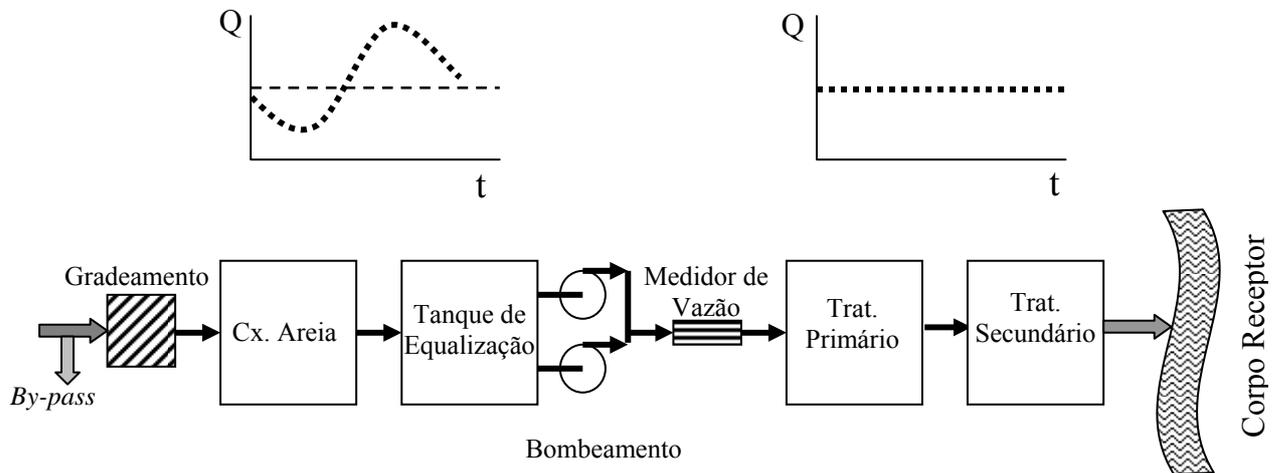


Figura 3.3 – Sistema de Equalização de Fluxo em Linha

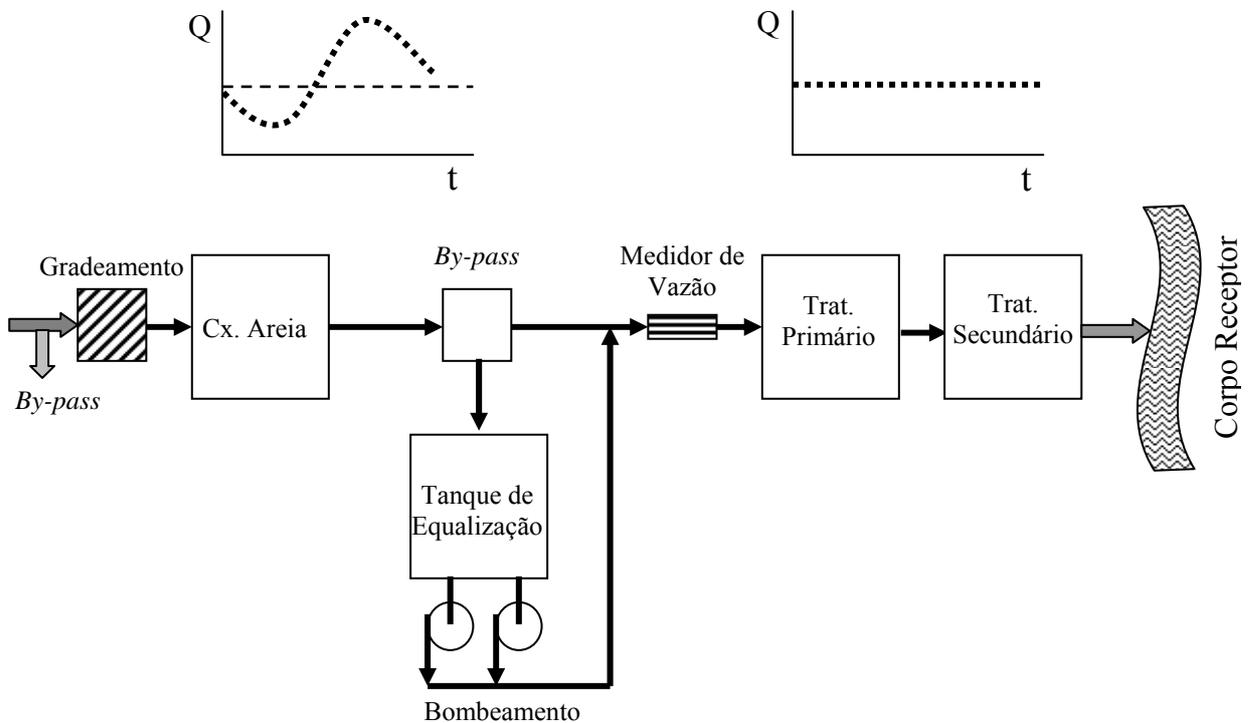


Figura 3.4 – Sistema de Equalização de Fluxo em Paralelo

A USACE (2001), em seu manual de engenharia, caracteriza a equalização de fluxos como um processo a ser considerado na etapa de pré-tratamento, de modo a amortecer as variações intensas de vazão afluente, temperatura e concentrações de contaminantes. São estabelecidas quatro técnicas para a operacionalização desse processo.

3.4.1.1 - Divisão Alternada do Fluxo (Figura 3.5):

A divisão alternada do fluxo se dá quando um tanque de equalização é projetado para coletar o fluxo total afluente à unidade por um tempo específico enquanto uma segunda bacia se descarrega. Por períodos sucessivos, as bacias alternam entre o enchimento e o descarregamento. A mistura é mantida de modo que a vazão e os níveis do poluente sejam mantidos constantes nos passos seguintes do processo de tratamento. Este tipo de sistema pode fornecer um alto grau de equalização; entretanto, a desvantagem é que o custo da construção de uma segunda bacia é elevado.

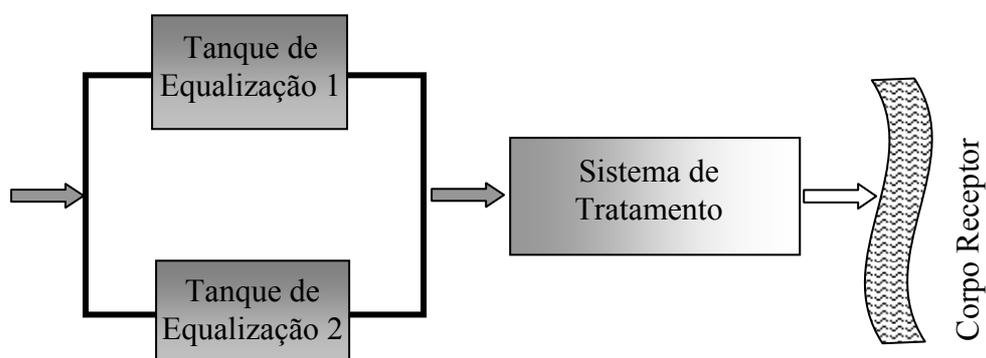


Figura 3.5 – Divisão Alternada de Fluxo

3.4.1.2 - Divisão Intermitente do Fluxo (Figura 3.6):

O sistema de divisão intermitente de fluxo permite que as águas residuárias sejam desviadas para um tanque de equalização por períodos curtos. O fluxo desviado é medido no canal de entrada e sua taxa controlada. O volume e a variação dos poluentes do afluente desviado ditarão a taxa com que o fluxo de retorno deve seguir nos passos seguintes do processo.

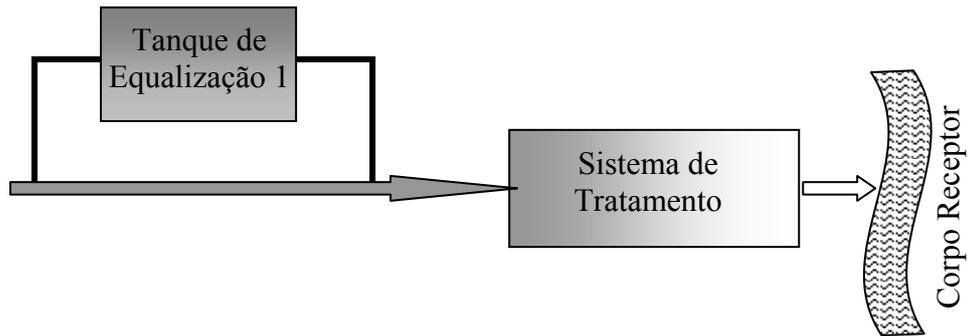


Figura 3.6 - Divisão Intermitente do Fluxo

3.4.1.3 - Fluxo Combinado Completamente Misturado (Figura 3.7).

O sistema de fluxo combinado completamente misturado é projetado para promover uma mistura completa dos fluxos múltiplos na entrada das unidades de tratamento de esgotos. Os diversos fluxos, quando completamente misturados, padronizam as características de seu efluente. Uma ressalva a esse sistema é a obrigatoriedade dos fluxos afluentes serem miscíveis para quando combinados não gerarem problemas adicionais.

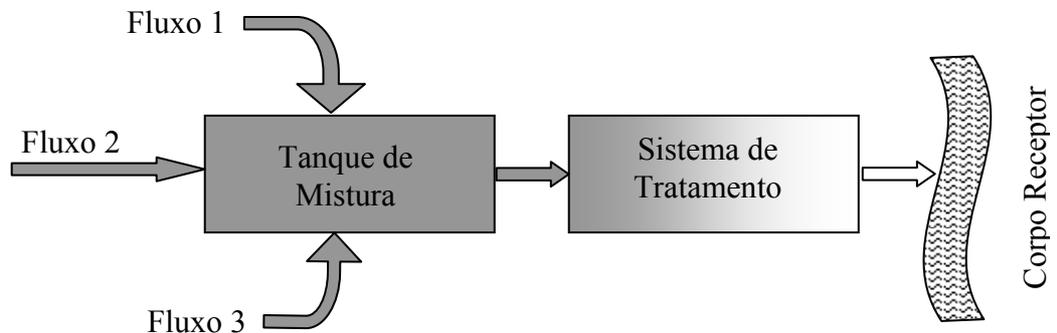


Figura 3.7 - Fluxo Combinado Completamente Misturado

3.4.1.4 - Fluxo Fixo Completamente Misturado (Figura 3.8)

O sistema de fluxo fixo completamente misturado é projetado para misturar completamente as águas residuárias em um grande tanque antes da unidade de tratamento. O processo de homogeneização desse sistema promove um afluente ao tratamento com características (físico-químicas e microbiológicas) e vazões constantes.

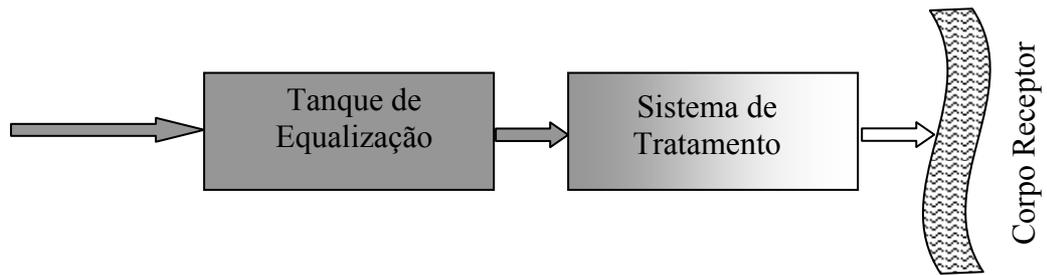


Figura 3.8 - Fluxo Fixo Completamente Misturado

A Tabela 3.2 aponta algumas das vantagens e desvantagens dos tipos de sistemas de equalização de fluxos apresentados anteriormente.

Tabela 3.2 – Vantagens e Desvantagens dos Tipos de Sistemas de Equalização de Fluxos

Tipo	Vantagens	Desvantagens
Divisão alternada de fluxo	Facilidade na manutenção, podendo manter o fluxo em apenas uma das vias	Caso o sistema não seja automatizado, aumenta as atividades da operação no controle dos volumes estocados e das vazões regularizadas
	Equalização da totalidade dos fluxos afluentes, em uma camara por vez	Necessidade de controle de medição de vazões afluentes em pelo menos dois pontos
	Possibilidade de um ponto de controle da qualidade dos afluentes	
	Facilidade na estabilização da regularização dos fluxos de processo	
	Maior controle sobre os quantitativos do fluxo de processo	
Divisão intermitente de fluxos	Possibilidade de facilitar a manutenção, evitando os tanques de armazenamento e mantendo o fluxos principal	Não equaliza a totalidade dos fluxos
	Possibilidade, se houver bombeamento suficiente, de desviar o canal principal e até mesmo o tratamento preliminar para uma manutenção emergencial	Necessidade de uma automatização adequada, de modo a concatenar o volume vertido, com a capacidade de armazenamento e de bombeamento
	Tratar um contaminante específico, desviando-o do fluxo principal (colocando-o em quarentena)	Dificuldades na operacionalização da estabilização dos fluxos de processo
	Possibilidade de se manter apenas um único ponto de controle da qualidade e quantidade dos fluxos afluentes	Caso o sistema não seja automatizado, aumenta as atividades da operação no controle dos volumes estocados e das vazões regularizadas

Tabela 3.2 – continuação

Tipo	Vantagens	Desvantagens
Fluxo combinado completamente misturado	Mistura completa dos afluentes em um único tanque, promovendo a equalização da totalidade dos fluxos afluentes	Quando se dá a entrada de um contaminante específico, pode-se ter dificuldades de identificar de sua origem
	Facilidade na estabilização da regularização dos fluxos de processo	Maior número de pontos de medição de vazões, para controle dos fluxos
	Maior controle sobre os quantitativos do fluxo de processo	Pouca ou nenhuma condição de tratamento quando da entrada de um contaminante específico
Fluxo fixo completamente misturado	Apenas um único ponto de controle da qualidade e quantidade dos fluxos afluentes	Falta de opção para uma possível manutenção emergencial ou rotineira
	Equalização da totalidade dos fluxos	Pouca ou nenhuma condição de tratamento quando da entrada de um contaminante específico
	Facilidade na estabilização da regularização dos fluxos de processo	
	Maior controle sobre os quantitativos do fluxo de processo	

3.4.2 - Reflexos da equalização de vazões no processo de tratamento de águas residuárias

A eficiência, a confiabilidade e o controle do processo de tratamento de esgotos nas unidades operacionais podem ser adversamente afetadas pelo ciclo de variação natural das águas residuárias, resultando em possíveis violações da situação legal dos efluentes da ETAR (Force, 1992b).

Force (1992b) alerta sobre a condição dinâmica do fluxo na entrada da ETAR que, com o desenvolvimento de um maior controle das vazões afluentes, permitiria às unidades de tratamento suportar mudanças de comportamento do sistema coletor sem que isso provocasse sensíveis efeitos sobre os resultados do processo de tratamento.

A introdução de um sistema de equalização de vazões pode gerar reflexos positivos ou negativos no processo de tratamento, segundo três vertentes: técnica, financeira e ambiental. A literatura enfatiza, como principal característica negativa, os problemas de investimento inicial de implantação e operação, em que é recomendado a gestão de mais unidades de processo para um mesmo volume a ser tratado.

Halls (2002), em sua coletânea de estudos, verificou que, geralmente, a equalização de fluxos não é economicamente viável para plantas novas que venham a atender a um sistema coletor combinado, mas é uma ferramenta útil para melhorar as instalações existentes, onde o sistema de coleta a montante não tem capacidade para agir como um amortecedor de picos de cargas hidráulicas.

Luduvic *et al.* (1997) enfatizam os cuidados necessários quanto a geração de odores ocasionados pelo estado séptico que os esgotos podem assumir, a depender do tempo de detenção nos tanques de equalização, caso esses não tenham algum tipo de inibidor (químico ou mecânico) da causa do problema, devendo-se considerar como parte do sistema de equalização um rígido monitoramento e controle sobre a geração de odores, para evitar maiores incômodos à comunidade adjacente à ETAR.

Outra desvantagem em um sistema de equalização de vazão, segundo Ulf *et al.* (1996), é a opção de retenção “*in-line*”, isto é, em alguns casos entendido como armazenamento no sistema coletor. Este processo é passivo de decantação excessiva nas redes coletoras, ou se o diâmetro das mesmas não for adequado, provoca obstruções e, conseqüentemente, problemas operacionais.

Quando se aplica este tipo de processo para o controle e regularização das vazões, o retorno das águas residuárias ao fluxo principal na entrada da estação é conhecido por operação de alimentação por passos, “*step feed operation*”, uma vez que as cargas hidráulicas são retidas na linha de entrada da estação e liberadas à medida que o processo de tratamento possa suportar.

Mesmo diante de detalhes contrários, Metcalf & Eddy (1991) e Force (1992b) expõem uma visão, sob uma perspectiva sistêmica, dos benefícios que a equalização promove ao sistema de tratamento, como a redução do tamanho das unidades de processos em uma estação nova ou, no caso de uma estação em operação, o alívio de unidades sobrecarregadas.

A depender do tipo de sistema de equalização de fluxos, pode-se implantar um sistema de pré-aeração nos tanques de retenção, condição preventiva, por causa da produção de gases. Este procedimento melhora a eficiência do tratamento primário (TP) em até 15% (Force, 1992b). O aumento do desempenho do TP promove uma redução nas cargas a

serem repassadas para o tratamento secundário/avançado (tratamento biológico/remoção de nutrientes).

Ulf *et al.* (1996) concluíram que os efeitos de uma vazão constante e o controle sobre as forças de arraste presentes em situações de vazões excessivas permitem a redução da perda de sólidos nos Decantadores Secundários – DSs – que operam como em situação de fluxo estacionário. Esta condição minimiza o consumo de produtos químicos (coagulantes) que, nos casos de perda de sólidos nos DSs, são pesadamente aplicados a fim de garantir que o efluente não exceda aos limites estabelecidos por lei (Resolução CONAMA 357/2005), promovendo um tratamento de choque, isto é, tratamento com químicos.

Nos procedimentos operacionais de unidades de tratamentos de águas residuárias em que o processo permite e exige (exemplo: Instruções de Trabalho – ITs, CAESB, 2003), são criados artifícios como a recirculação, no período noturno, do fluxo pré-tratado, de modo a prover fontes alternativas de matéria orgânica nos horários de baixas vazões, atendendo ao equilíbrio da relação Alimento/Microorganismo (A/M), que caracteriza a manutenção da biomassa (sólidos em suspensão voláteis - SSV). Essas variações da operação não seriam necessárias com a equalização das vazões.

Outra expectativa de efeitos do sistema de equalização é o amortecimento de um pico de vazão, propriamente dito, evitando o “*by-pass*” do sistema para o corpo receptor, pois geraria uma não conformidade¹ nos programas de certificação ambiental (ISO 14001).

A WQP (1998) faz referência aos benefícios aplicados especificamente a plantas com tratamento avançado de filtração após o tratamento biológico ou clarificação por meio de químicos, onde a variação de vazões e/ou de cargas de sólidos afetam severamente a performance do tratamento.

Um benefício adicional ao aumento da uniformidade das cargas a jusante do processo é a otimização dos procedimentos operacionais quanto a manobras de válvulas, ajustes de produtos químicos e a possibilidade de ter mais folgas no sistema, como consequência de um melhor aproveitamento das unidades de processo.

¹ não conformidade – faz parte da terminologia básica para a Qualidade e é usado para dizer que um item não está de acordo com os requisitos especificados (Kume, 1995)

3.5 - AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE TRATAMENTO COM A INCORPORAÇÃO DO SISTEMA DE EQUALIZAÇÃO DE FLUXOS

A avaliação de desempenho do processo de tratamento deve ter como referência, indicadores operacionais estabelecidos sob condições controladas, cujas variações dos resultados podem ser devidamente esclarecidas e justificadas.

Os efeitos da equalização dos fluxos sobre estes indicadores devem ser analisados sob os aspectos técnicos, desempenho do processo e financeiros, desempenho da planta.

O desempenho do processo pode ser avaliado, por meio da eficiência do processo, a qual deve ter como princípio norteador, uma visão sistêmica, de modo que possibilite ao gestor da unidade promover ações e verificar os resultados dos planos e programas de melhoria.

Em um sistema de tratamento de águas residuárias as atenções são focadas nas concentrações dos constituintes, que são determinantes da sistemática de operação do sistema: DBO, DQO, SS, NTK, PT e coliformes termotolerantes. Uma atenção especial deve ser, também, dada às condições de operacionalidade dos reatores e DSs, (Von Sperling, 1997), principalmente no que se diz respeito à idade do lodo (θ_c), tempo de detenção hidráulica (θ_H), Alimento/Microorganismo (A/M) e o Índice Volumétrico de Lodo (IVL).

Os valores de referência da eficiência para a remoção das concentrações dos constituintes a serem adotados é normalmente definido nos projetos ou nas leis ambientais (CONAMA 357/2005) ou pela literatura já reconhecida.

Outro parâmetro de igual importância na avaliação do desempenho do processo de uma ETAR é o nível de confiabilidade, que de acordo com Eisenberg *et al.* (2001), está relacionada a dois aspectos: a confiabilidade mecânica e a confiabilidade do processo operar em condições satisfatórias. Como as falhas decorrentes de problemas em componentes eletromecânicos ou de manutenção não têm sido significativas, normalmente considera-se o nível de confiabilidade do processo como sendo definida com base em seus dados de desempenho.

Quando este desempenho é traduzido em percentual do tempo em que a concentração do efluente de uma ETAR atende aos padrões pré-estabelecidos pela classificação do corpo receptor, define-se o nível de confiabilidade (Metcalf & Eddy, 2003).

Eisenberg *et al.* (2001) indica as medidas das variações da qualidade do efluente para serem utilizadas na definição da confiabilidade do processo, uma vez que a confiabilidade também se refere à qualidade do produto final, embutindo a robustez necessária para que o processo possa garantir uma determinada qualidade ao efluente, frente às mudanças de condições operacionais. Portanto, as variações das características dos efluentes de uma ETAR, são reflexos da estabilidade do processo.

Quando da avaliação da confiabilidade global de um constituinte específico, pode-se tomar as probabilidades acumuladas, em cada etapa do processo de tratamento. Uma vez que as distribuições de probabilidade representam a variabilidade do desempenho do processo e permitem estimar a probabilidade de um processo exceder a uma meta pré-fixada (Eisenberg *et al.* 2001).

Procedimentos como esse tem sido empregado para avaliar os sistemas de múltiplas barreiras, como é o caso de uma ETAR, em que cada etapa do processo passa a ser caracterizado como uma barreira. Nesses casos, a análise utilizada para calcular a distribuição de desempenho é conhecida como taxa de frequência de consequência (Olivieri, 1999, *apud* Eisenberg *et al.*, 2001).

Brostel (2003) ressalta que, quando se projeta uma ETAR adotando como concentração média o valor da concentração requerida pela legislação, a confiabilidade resultante para a estação irá variar entre 55% a 60%, indicando que, em uma parte considerável do tempo de operação da ETAR, ela estará funcionando fora dos padrões estabelecidos.

O desempenho da planta deve ser determinado e estimado com base em parâmetros de fácil mensuração e estrategicamente capazes de direcionar as decisões gerenciais, tais como: volume tratado, custos operacionais, consumo de energia, consumo de produtos químicos, entre outros (Brostel, 2002).

3.6 - EXPERIÊNCIA CANADENSE

3.6.1 - Efeitos da equalização de fluxos no desempenho de uma planta de controle de poluição de águas de Stouffville – York/CA

Por décadas, vários municípios do Canadá utilizaram sistemas de tratamento secundário no controle da poluição de suas águas, sendo que os seus corpos receptores eram capazes de absorver as descargas dos efluentes dessas estações.

Com o crescimento dos municípios e o aumento na rigidez dos critérios de avaliação da qualidade dos efluentes, fez-se necessário a implantação de um contínuo programa de expansão das unidades de tratamento de águas residuárias e melhoria da eficiência dos processos de tratamento. Face a isso, o tratamento e a disposição das águas residuárias passaram a representar uma significativa fração no orçamento municipal. Como exemplo, a Câmara Municipal de York comprometeu aproximadamente 7,5% do total de seu orçamento operacional de 1977 em tratamento de esgoto.

Tomando como referência as experiências práticas vividas na Europa, vários pesquisadores levaram para os Estados Unidos da América e para o Canadá os benefícios das unidades que implantaram e mantiveram em operação o sistema de equalização de fluxos. Uma vez que no projeto inicial das estações não fora avaliada a variação de fluxos decorrente da rotina diária da comunidade, as unidades de tratamento tinham constantes problemas operacionais resultantes deste comportamento e assim a operação do sistema sob o fluxo médio ocorria apenas em uma pequena parcela do dia.

Este programa envolveu dois períodos de amostra separados, onde a unidade operacional (Stouffville Water Pollution Control Plant - SWPCP) foi preparada com dois sistemas de tratamento de águas residuárias idênticos, para serem monitoradas sob condições de baixa vazão durante o outono de 1976, e sob condições de alta vazão na primavera de 1977. Durante o monitoramento dos dois períodos, o sistema Norte foi operado sob as condições de equalização de fluxo e o sistema Sul foi alimentado diretamente pelo esgoto do tanque de retenção para servir como sistema de controle, sob as condições de não-equalização de fluxos. Os resultados de ambos os períodos de amostragem têm sido usados para definir os fatores que afetam a viabilidade técnica e econômica da equalização de fluxos.

3.6.1.1 – Unidade de tratamento

A SWPCP, localizada no limite sudeste da cidade de Whitchurch-Stouffville (WS), é operada pela prefeitura de York. O efluente da planta é descarregado no córrego Dufferin afluente do Lago Ontário. O sistema de tratamento da planta é do tipo “lodo ativado convencional” e trata uma vazão de 2.200 m³/d.

O sistema coletor de WS foi projetado, inicialmente, como sistema separador absoluto, mas este recebe inúmeras contribuições indevidas de águas pluviais e um alto grau de infiltrações, principalmente nos períodos de chuva.

Aproximadamente 60% do fluxo de esgoto bruto chegam por gravidade para a planta de tratamento; os outros 40% são recalcados de uma estação elevatória, localizada a, aproximadamente, 800 m da planta. Desta forma, o hidrograma do afluente do tanque de retenção apresenta picos de pulsos hidráulicos sobrepostos à sua variação normal de carga hidráulica horária.

Uma vista esquemática da planta sob condições normais de operação é apresentada na Figura 3.9, mostrando dois sistemas de tratamento completamente separados (Norte e Sul) mas idênticos, com afluentes comuns e efluentes tratados. A equalização de fluxo é provida por um tanque circular (633 m³), com mecanismo de raspagem de lodo e espuma.

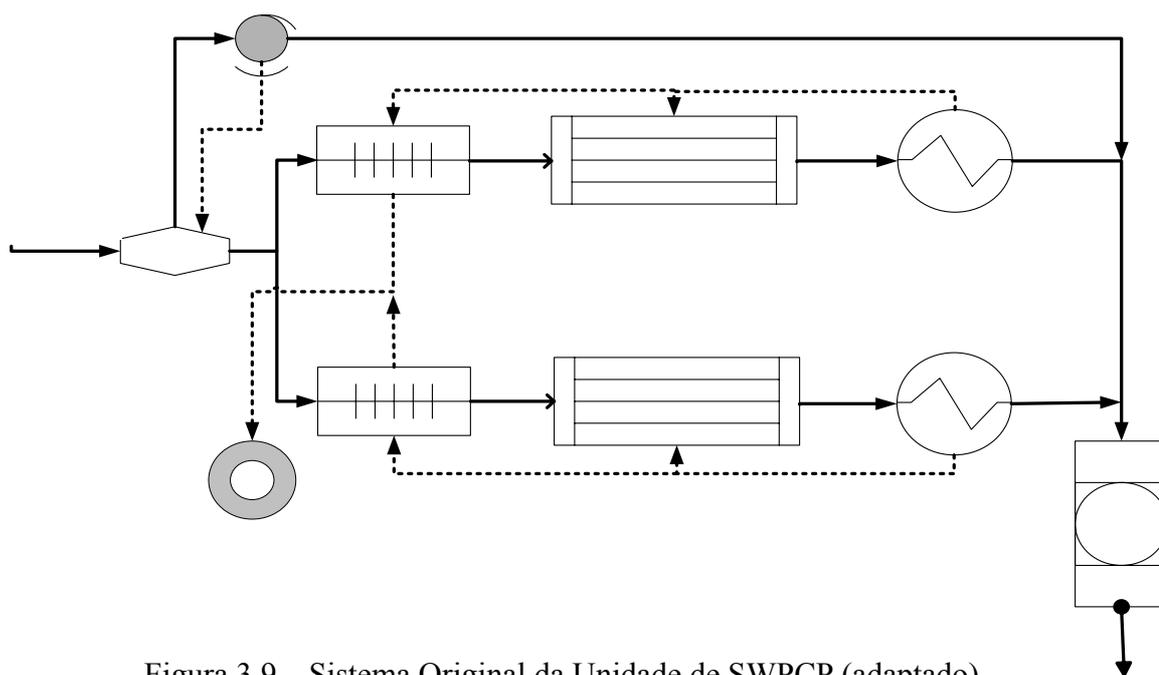


Figura 3.9 – Sistema Original da Unidade de SWPCP (adaptado)

3.6.1.2 - Adequações da unidade tratamento

O fluxo e a estrutura do sistema de tratamento de SWPCP foram modificados, conforme o fluxograma esquemático mostrado na Figura 3.10, de modo a atender aos estudos propostos.

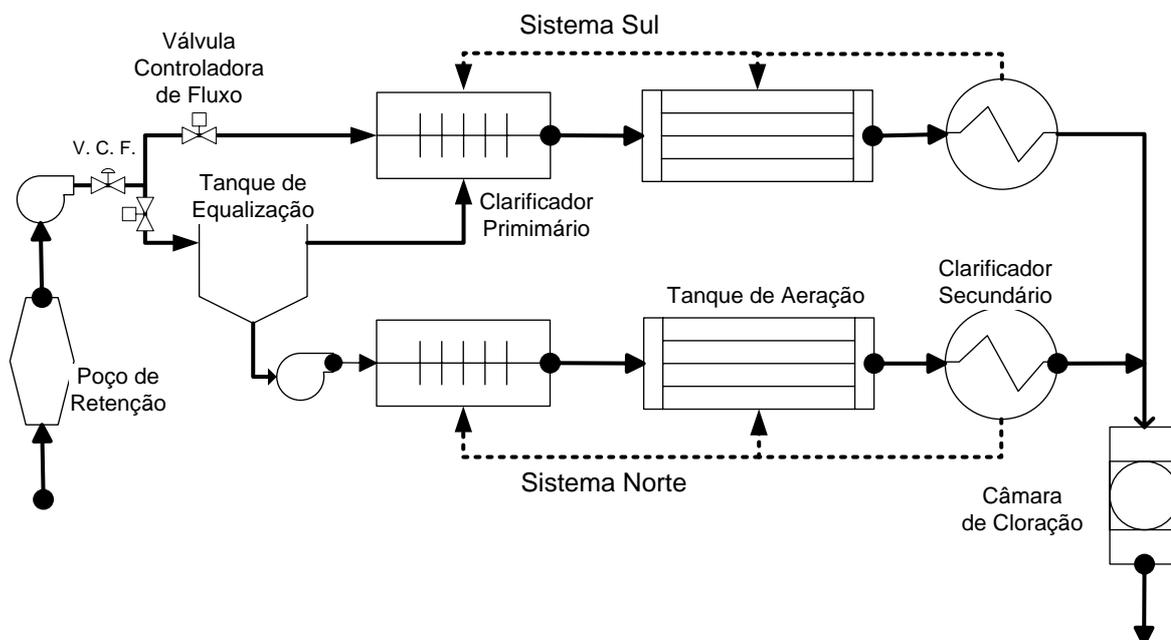


Figura 3.10 – Sistema Modificado da Unidade de SWPCP (adaptado)

Equipamentos do tanque de retenção controlam a vazão a ser bombeada, de modo que os dois sistemas (Norte e Sul), recebem volumes semelhantes e, ainda, seja garantido um volume de armazenamento emergencial como segurança, para um eventual pico hidráulico nos períodos de chuva.

3.6.1.3 - Monitoramento dos sistemas, outono de 1976

O propósito da avaliação do sistema de equalização de fluxos no outono de 1976 (meses de novembro e dezembro) foi no sentido de analisar seus efeitos em condições de baixa vazão.

As médias das cargas hidráulicas diárias dos dois sistemas durante esse período foram as mesmas, assim como a avaliação na qualidade dos efluentes, Tabela 3.3.

Tabela 3.3 - Fluxo de Esgoto Bruto do Sistema Equalizado e Não-equalizado da SWPCP. (Amostragem Outono/76)

Variação de Fluxo	Sistema Norte (Equalizado)	Sistema Sul (Não-equalizado)
Fluxo Diário Médio (m ³ /d):	1026	1016
Tempo de Bombeamento Médio (horas em 24h):	21h12min	10h30min
Média da Carga Instantânea (m ³ /min)	0,80	1,66

Nas primeiras horas da manhã, aproximadamente das 2h às 8h, os fluxos foram tão baixos que o sistema Norte não pode ser operado sob a completa condição de equalização, uma vez que, nos horários de alta vazão, não foi possível estocar esgoto bruto que manteria constante as cargas nos períodos de baixa vazão.

A análise hidráulica dos decantadores secundários, no período em questão, representa uma significativa contribuição a equalização de fluxos, para o desempenho das plantas, Tabela 3.4.

Tabela 3.4 - Carga no Decantador Secundário da SWPCP, outono 1976

Condições do Fluxo	Carga no Decantador Secundário (m³/m².d)	
	Sistema Não Equalizado	Sistema Equalizado
Média Diária	24,5	24,5
Pico Instantâneo	55,8	29,4
Diário Mínimo	29,4	29,4
Diário Máximo	44,6	29,4

Quanto às características do esgoto bruto do período de amostragem, não houve diferença significativa, Tabela 3.5.

Tabela 3.5 - Características do Esgoto Bruto da SWPCP.

Sistema	Características do Esgoto Bruto			
	pH	DBO₅ (mg/L)	SS (mg/L)	PT (mg/L)
Norte	8,0	148	148	6,4
Sul	7,4	142	152	6,2

Outras características ressaltadas na comparação entre os dois sistemas foi que os esgotos do sistema equalizado apresentavam uma coloração mais escura e o odor era mais forte do que o sistema não equalizado e esta coloração persistia, inclusive, no Clarificador Primário.

Observou-se, também, que os esgotos brutos equalizados tinham pH mais baixo do que o pH não equalizado, provavelmente devido às atividades de microrganismos anaeróbios, problema este que pode ser mais acentuado nos meses do verão, gerando odores mais fortes.

3.6.1.4 - Monitoramento dos sistemas primavera de 1977 (período de sete semanas, entre março e maio)

O programa da primavera de 1977 foi intencionalmente avaliado para a possibilidade de aumento da capacidade da planta sob condições de equalização de fluxo. Portanto, a média da carga hidráulica diária de esgoto bruto do sistema Norte equalizado foi aproximadamente 15% maior do que a do sistema Sul.

O principal objetivo da etapa realizada na primavera de 1977 era determinar se os custos envolvidos no sistema de equalização de fluxos, que representavam em torno de 10% a 20% do custo total dos serviços da operação, poderiam ser convertidos em incremento da capacidade de tratamento, sem, contudo, sacrificar a qualidade do efluente final.

Esse período foi especificamente escolhido por causa das altas taxas de infiltração no sistema coletor, que aumenta significativamente os fluxos afluentes à unidade de tratamento, sendo um período adequado a operação do sistema de equalização sob condições de fluxo constante nas ao longo do dia, Tabela 3.6.

Tabela 3.6 - Fluxo de Esgoto Bruto do Sistema Equalizado e Não-equalizado da SWPCP. (Amostragem da Primavera)

Variação de Fluxo	Sistema Norte (Equalizado)	Sistema Sul (Não-equalizado)
Fluxo Diário Médio:	1401	1201
Intervalo (m ³ /d):	1074,8 – 1692,1	894,8 – 1786,2
Tempo de Bombeamento Médio:	23,6	13,3
Intervalo (horas):	20,3 – 24,0	10,0 – 18,2
Média da Carga Instantânea (m ³ /min)	0,99	1,47

Para ilustrar a eficiência da equalização de fluxos analisaram-se dias de alto e baixo fluxo, de modo a indicar as condições esperadas no período de amostragem. As curvas

dos fluxos diários dos dois sistemas são apresentadas nas Figuras 3.11 e 3.12, onde o fluxo do sistema Norte ficou constante ao longo dos dias.

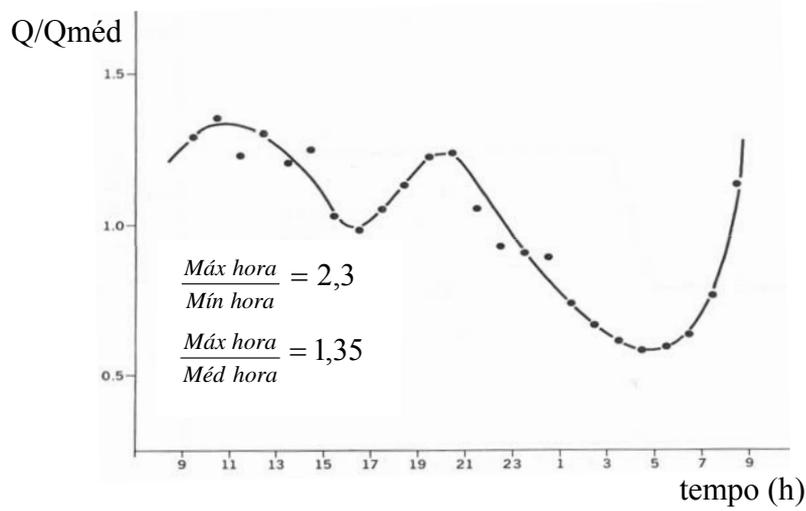


Figura 3.11 - Média Horária de Distribuição de Fluxo, Sistema Não Equalizado da SWPCP (adaptado)

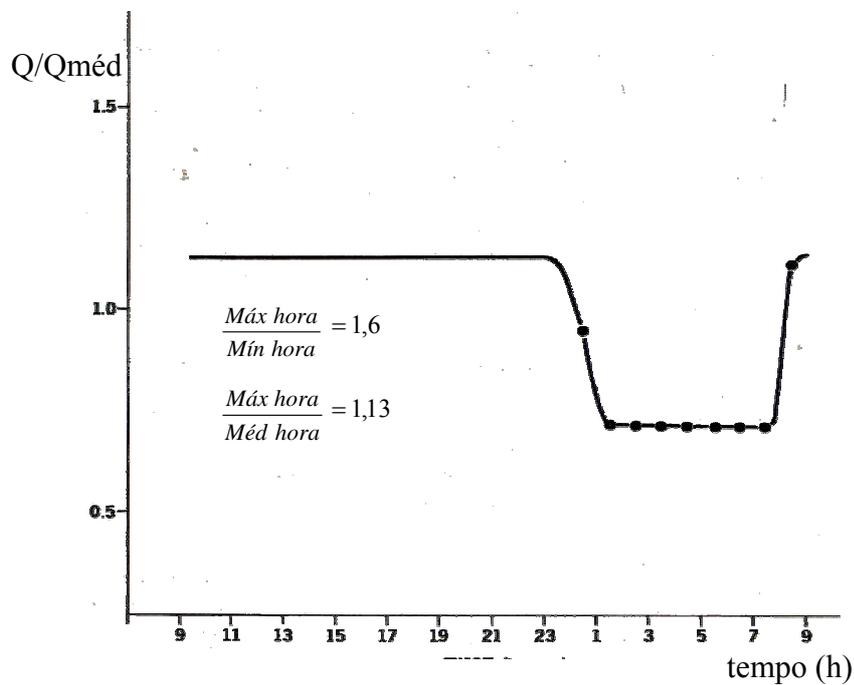


Figura 3.12 - Média Horária de Distribuição de Fluxo, Sistema Equalizado da SWPCP (adaptado)

As cargas nos Decantadores Secundários para o período de amostragem da primavera de 1977 estão apresentadas na Tabela 3.7, onde as diferenças instantâneas entre o sistema Norte e Sul são menores neste período do que no outono de 1976.

Tabela 3.7 - Carga no Decantador Secundário da SWPCP, Primavera 1977

Condições do Fluxo	Carga no Decantador Secundário (m ³ /m ² .d)	
	Sistema Sul (Não Equalizado)	Sistema Norte (Equalizado)
Média Diária de Fluxo	28,40	33,05
Pico Instantâneo de Fluxo	53,86	42,60
Fluxo Diário Máximo	37,70	42,60
Fluxo Diário Máximo	42,60	42,60

3.6.1.5 - Conclusões dos Estudos

O estudo possibilitou uma comparação, em escala real, de dois sistemas (equalizado e não-equalizado) sob as mesmas condições de cargas (hidráulica e orgânica) dos afluentes. Foram obtidas as seguintes conclusões específicas:

- a. Observou-se que a estocagem do volume excedente reduzia a ocorrência de “bypass” nas altas cargas hidráulicas, em parte ou na totalidade do processo de tratamento;
- b. O sistema equalizado, minimizou os chamados “curto-circuito” em pontos específicos da unidade;
- c. Não houve efeitos quantitativos na média da qualidade do esgoto bruto, resultante da equalização de fluxo. Entretanto, os limites discretos dos dados de amostragem indicaram que ocorreram algumas equalizações de concentrações no tanque;
- d. Não houve diferença significativa entre a qualidade do efluente primário sob as condições de equalização e não-equalização de fluxo nas equivalentes cargas hidráulicas diárias;
- e. Sob as cargas diárias equivalentes, o sistema de equalização produziu consistentemente uma melhor qualidade no efluente secundário. A média da DBO total do sistema de equalização efluente foi de 13 mg/L (no intervalo de 8 para 27mg/L) quando comparada a 28 m/L (no intervalo de 15 para 42 mg/L) do sistema efluente não-equalizado. Similarmente, a média da concentração de SS foi

- de 16 mg/L (no intervalo de 8 para 21 mg/L) e 28 mg/L (no intervalo de 16 a 49 mg/L) dos sistemas efluentes equalizados e não-equalizados respectivamente;
- f. A média diária de carga hidráulica para o sistema equalizado pôde ser aumentada em, pelo menos, 15%, sem nenhum dano na qualidade do efluente secundário, relativo ao sistema paralelo não-equalizado de baixa carga;
 - g. A eficiência de remoção de fósforo não foi afetada pelo modo de operação;
 - h. Durante o by-pass do sistema de tratamento, o tanque de equalização de fluxo funcionou como decantador primário, resultando em uma remoção média de 7,2 Kg de SS e 1,2 Kg de DBO em 1000m³ de esgoto by-passados. Isso representa 50% do SS e 10% da DBO removida;
 - i. Na planta avaliada, o custo atribuído a expansão do sistema para efetivar a equalização de fluxo representa menos do que 2% do total do custo operacional diário;

Baseado nesta pesquisa, algumas conclusões gerais foram formuladas, devendo ser consideradas na proposta de equalização de fluxo, como um processo alternativo:

- a. A equalização de fluxo é uma das muitas alternativas capaz de melhorar a performance da planta;
- b. O maior benefício da equalização de fluxo é a redução do pico hidráulico instantâneo no decantador. Caso o decantador receba uma carga instantânea além de sua capacidade, a equalização de fluxo pode amortecê-la abaixo do nível crítico, sendo isso um benefício à performance do processo. Esse pico de carga hidráulica pode ser resultado de um fluxo diário padrão e/ou de bombeamentos organizados no sistema de esgotos, ou ainda por problemas afluentes da planta;
- c. A equalização dos fluxos pode beneficiar uma seqüência de processos mais complexos ou a eficiência do tratamento sobre uma estreita faixa hidráulica ou carga orgânica;
- d. Os tanques de equalização podem ser projetados como decantadores primários e, deste modo, reduzir a carga de recebimento do corpo receptor durante o “by-pass” do sistema de tratamento;
- e. O custo operacional atribuído à equalização de fluxos é semelhante ao de um projeto de sistema de bombeamento. Na maioria dos casos, o aumento do custo

operacional resultante da equalização de fluxos pode ser relativamente insignificante;

- f. O principal custo para a implantação do sistema de equalização de fluxos em uma unidade de tratamento de águas residuárias depende dos seguintes fatores:
 - i. Se a aplicação do sistema é uma expansão da unidade existente ou são novas instalações;
 - ii. Das variações dos fluxos nos tempos secos e chuvosos, incluindo cargas instantâneas, esperadas ou experimentadas na unidade, e os efeitos na operação da planta;
 - iii. A complexidade do tratamento envolvido;
 - iv. A taxa de ocorrência e os níveis de impacto dos fluxos que utilizam o “bypass”, assim como a economia envolvida nos métodos de controle desses excedentes;
 - v. Se a implantação do sistema de equalização de fluxos for a melhor forma de promover a sobrevida da unidade operacional.

3.6.2 - Sistema de tratamento de águas residuárias da cidade de Kelowna, BC-CA

3.6.2.1 – Introdução

A cidade de Kelowna, com sua unidade de tratamento “Kelowna’s Wastewater Treatment Facility (WWTF)”, é um exemplo de estação que opera o seu processo de tratamento com seus fluxos regularizados. Possui um avançado sistema de tratamento de águas residuárias a nível terciário/avançado, que emprega a remoção biológica de nutrientes. Projetada com a proposta de conjugar o tratamento biológico, tipo sistema BARDENPHO, a um processo de desinfecção ultravioleta (UV) e outras tecnologias.

O sistema sanitário da cidade de Kelowna coleta, transporta e trata águas residuárias domésticas e industriais. Esse sistema atende a aproximadamente, 65% da população e tem se expandido desde a década passada, com o objetivo de suprir as necessidades decorrentes do crescimento populacional, sendo que, atualmente, o sistema possui 28 estações elevatórias, mais de 400 km de rede coletoras e 10 ha de área disponível para a estação de tratamento.

A referida estação, tem capacidade de tratamento de 40.000 m³ por dia (Figura 3.13) e um efluente de alta qualidade, que é lançado no Lago Okanagan, de modo a atender as exigências contidas no “Canadian Drinking Water Quality Guidelines” e nas normas/regulamentos de Esgotos Sanitários/Águas de Drenagem da cidade de Kelowna.

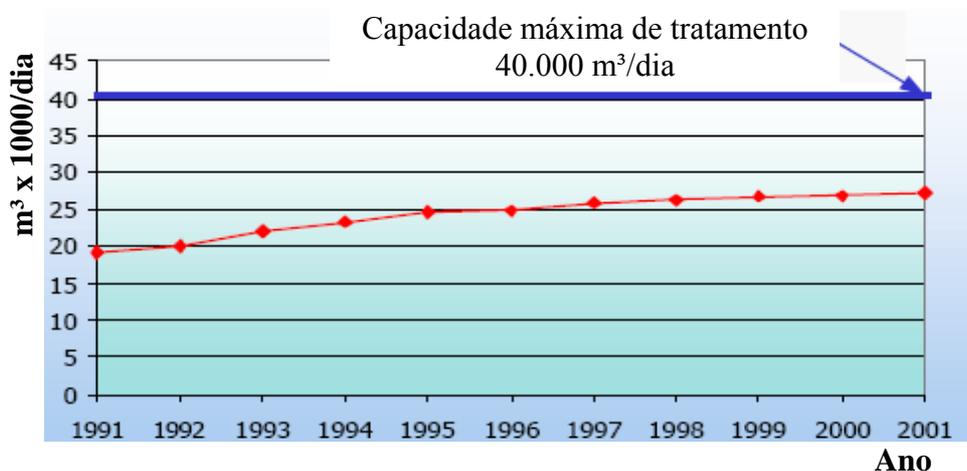


Figura 3.13 - Volume Médio Afluente, Kelowna – CA
(Li, 1999; Carey, 2001, 2002 - modificado)

Uma característica da cidade de Kelowna é o seu alto índice de crescimento populacional, visto que, em um período de 30 anos, aumentou mais que cinco vezes (1991 = 19.415 hab. e 2000 ≈ 100.000 hab.). No entanto, por exemplo, apesar deste aumento, a carga de fósforo dos efluentes da WWTF para o Lago Okanagan tem decaído, com as melhorias e controles do processo de tratamento, conforme mostra a Figura 3.14.

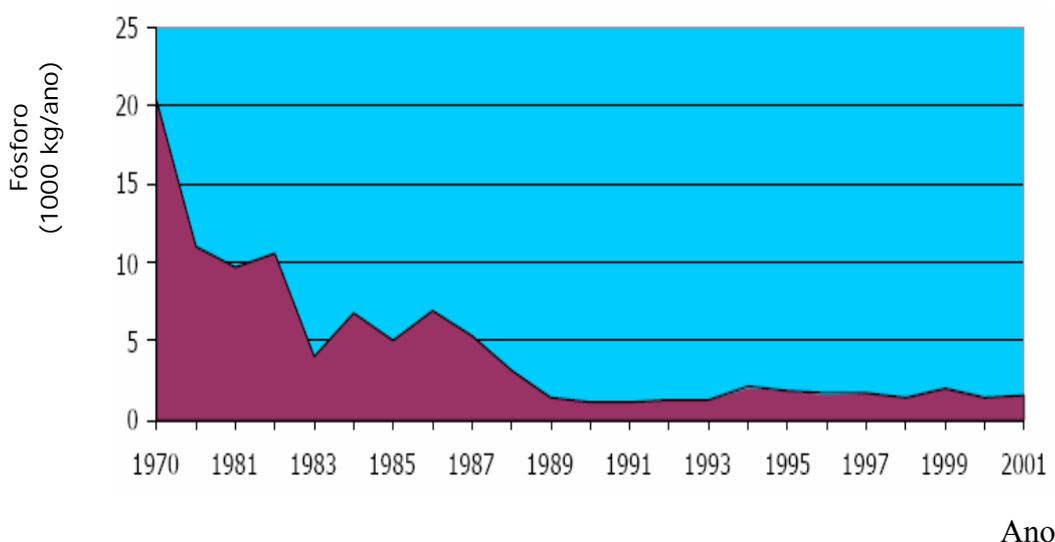


Figura 3.14 - Carga de Fósforo, Lago Okanagan,
(Carey, 2000 – 2002 - modificado)

Em 1982, quando da opção da instalação do processo BARDENPHO, a unidade foi remodelada e adequada ao também chamado sistema de equalização de fluxos, utilizando alguns dos recursos existentes na estação e outros existentes no sistema coletor.

A Figura 3.15 apresenta uma vista geral da unidade e o trajeto dos emissários afluentes, inclusive o trecho utilizado para armazenamento de águas residuárias durante o processo de regularização de fluxos.



Figura 3.15 – Vista da WWTF e Redes Afluentes

O sistema de tratamento da WWTF opera com o fluxo de processo regularizado, o qual é estocado em tanques internos (aproveitamento de decantadores primários do projeto original) e em uma das linhas do sistema coletor (a montante da estação). A vazão do fluxo principal de processo é controlada por comportas que abrem e fecham de acordo com o nível de fluxo no sistema de tratamento.

3.6.2.2 – Processo de tratamento

O sistema coletor da cidade de Kelowna é do tipo separador absoluto, com uma baixa taxa de infiltração, portanto as variações das cargas hidráulicas horárias são decorrentes, quase que exclusivamente, da utilização do sistema, assim como das variações anuais que ocorrem no verão, quando a cidade recebe uma população flutuante significativa.

Três são os emissários que transportam os afluentes para a estação, sendo que o proveniente da área do aeroporto é utilizado como reservatório de linha (Figura 3.15) participando do sistema de equalização de fluxos.

As características médias do ano de 2003 e os padrões dos efluentes da planta de Kelowna, CA, estão registradas na Tabela 3.8, conforme relatório técnico da unidade.

Tabela 3.8 – Características da WWTF, ano 2003

Especificação		Unidade	Quantidade	
Vazão de projeto		m ³ /dia	39.500	
Média de fluxo p/ 2003		m ³ /dia	29.200	
Média de fluxo (inverno)		m ³ /dia	27.500	
Média de fluxo (outono)		m ³ /dia	30.800	
População atendida		hab	70.500	
Concentração	Afluente	DBO	mg/L	282
		SS	mg/L	350
		PT	mg/L	6,62
		NTK	mg/L	27,6
	Efluente	DBO	mg/L	<5,0
		SS	mg/L	<2,0
		PT	mg/L	0,11
		NTK	mg/L	4,45
Permitido	DBO	mg/L	10,0	
	SS	mg/L	10,0	
	PT	mg/L	0,25	
	NTK	mg/L	6,0	

O sistema completo é composto pelo tratamento preliminar (gradeamento e desarenadores), tratamento primário (decantadores primários – retangulares), reatores biológicos, filtros de areia e desinfecção por ultravioleta (UV). Posteriormente, o efluente líquido é lançado no Lago Okanagan, a uma profundidade de, aproximadamente, 65 metros.

O armazenamento das águas residuárias afluentes à estação de tratamento ocorre em um dos emissários e em tanques, anteriormente decantadores primários, reaproveitados da última reforma que passou a WWTF (Figura 3.15). Os tanques de armazenamento, assim como o gradeamento, desarenador, filtros, UV, desidratação mecânica e fermentadores, são todos cobertos de modo a conter gases produzidos nestas áreas, os quais são coletados, transportados e filtrados em biofiltros.

Quanto ao controle operacional, este fica a cargo de um supervisor, uma equipe de manutenção e o laboratório, cujo expediente inicia-se às 9h e termina às 17h, no período noturno, o processo funciona automaticamente.

As análises físico-químicas das águas residuárias são realizadas a partir de amostras compostas e visam monitorar o padrão operacional existente, uma vez que as variações das características dos constituintes afluentes são praticamente inexistentes. Isto se deve às características da população local, quanto aos seus usos e costumes, assim como à equalização dos fluxos afluentes a estação.

Os resultados da média das concentrações dos constituintes registrados até out/2005 e a média do referido mês, são apresentadas na Tabela 3.9, cuja qualidade atende aos padrões exigidos na legislação local para os efluentes lançados no Lago Okanagan.

Tabela 3.9 - Análise para Controle Operacional da WWTF
(Carey, 2004 – modificado)

Período	Concentração (mg/L)					Remoção				
	Afluente Bruto					Primário				
	DBO	DQO	SS	TKN	PT	DBO	DQO	SS	TKN	PT
out/2004	237	760	576	33	7	61%	70%	93%	17%	27%
*2004	261	626	413	31	16	60%	58%	87%	6%	73%
	Efluente Primário					Biológico				
	DBO	DQO	SS	TKN	PT	DBO	DQO	SS	TKN	PT
out/2004	94	228	38	27	5	100%	89%	98%	95%	97%
*2004	105	261	54	29	4	100%	88%	95%	94%	96%
	Efluente Secundário					Efluente				
	DBO	DQO	SS	TKN	PT	DBO	DQO	SS	TKN	PT
out/2004	**-	25	0,9	1	0,2	**-	-3%	47%	7%	11%
*2004	**-	31	3	2	0,2	**-	3%	68%	7%	-19%
	Efluente Final					Geral				
	DBO	DQO	SS	TKN	PT	DBO	DQO	SS	TKN	PT
out/2004	2	26	0,5	1	0,1	99%	97%	100%	97%	98%
*2004	3	30	0,9	2	0,2	99%	95%	100%	95%	99%

Observação: *2004, valores médios obtidos das análises do período de jan/2004 à set/2004; **- valores não analisados.

Como ao longo dos anos as análises das concentrações dos constituintes das águas residuárias de WWTF têm-se demonstrado estáveis, o que possibilita uma maior liberdade no dimensionamento do quantitativo de análises a serem executadas. Portanto, passou-se a executar apenas o mínimo necessário para garantir um controle operacional seguro, obedecendo ao cronograma apresentado na Tabela 3.10.

Tabela 3.10 - Análises Físico-química Mensal
(Carey, 2004 – modificado)

Tipo	Análise	Periodicidade
Esgoto Bruto	pH	diária
	Ortho P	diária
	PT	quinzenal
	NH3	diária
	NTK	quinzenal
	DQO	3 x semana
	DBO	mensal
	SS	semanal
	Alcalinidade	quinzenal
Efluente Primário	pH	diária
	Ortho P	diária
	PT	quinzenal
	NH3	diária
	NTK	quinzenal
	DQO	3 x semana
	DBO	mensal
	SS	3 x semana
	Alcalinidade	quinzenal
Efluente Secundário	pH	3 x semana
	Ortho P	3 x semana
	PT	quinzenal
	NH3	3 x semana
	NTK	quinzenal
	DQO	3 x semana
	SS	3 x semana
	Coliforme	semanal
Efluente Final	Ortho P	diária
	PT	semanal
	NH3	diária
	NTK	semanal
	DQO	3 x semana
	DBO	quinzenal
	SS	semanal
	Alcalinidade	quinzenal

4 – METODOLOGIA

4.1 - INTRODUÇÃO

A metodologia utilizada no desenvolvimento do presente trabalho foi baseada nas atividades experimentais realizadas na Estação de Tratamento de Esgotos de Brasília Norte - ETEB Norte, no período de abril/2004 a setembro/2005. Esta estação trata seus afluentes pelo processo de lodo ativado, a nível terciário, com remoção de nutrientes. Suas características operacionais de processo estão minuciosamente descritas no item 5 – CASO DE ESTUDO.

No projeto original de ampliação da ETEB Norte, já se previa a utilização da parte antiga dessa estação, como apoio operacional às novas condições do processo de tratamento. No entanto, isso não se fez necessário, uma vez que a capacidade máxima de tratamento de águas residuárias da etapa ampliada da estação não havia atingido o seu limite.

Levando-se em consideração as perspectivas de aumento da vazão afluente, pela ampliação da área de atendimento da estação e a possibilidade de aproveitamento das estruturas da ETEB Norte antiga, foi proposta a implantação de um sistema de equalização de fluxos com a finalidade de antecipar uma eventual sobrecarga na capacidade de tratamento da estação, a custos reduzidos.

Face às boas condições estruturais da parte antiga da estação utilizada neste caso de estudo e às poucas adequações necessárias (interligações de tanques e tubulações) para efetivação do sistema de regularização dos fluxos no processo de tratamento existente, optou-se pelo sistema de equalização do tipo “Sistema de Equalização de Fluxo em Paralelo” (Figura 3.4, do item 3.4.1).

Os dados utilizados no desenvolvimento dos estudos dos efeitos da equalização dos fluxos no sistema de tratamento de águas residuárias da ETEB Norte foram processados a partir de uma base de registros técnicos operacionais extraídos das médias horária, diária, semanal, mensal ou sazonal dos fluxos afluentes, conforme consta no APÊNDICE A.

4.2 - CARGAS HIDRÁULICAS NO SISTEMA

4.2.1 - Referência de dados de vazões

As águas residuárias que adentram o sistema de tratamento da ETEB Norte transitam por todo o processo, recirculando em algumas etapas e terminando como afluente do lago Paranoá. A vazão afluente foi medida na calha Parshall existente no canal após o tratamento biológico. Estes valores determinaram a base das cargas hidráulicas do sistema de tratamento. Como este é o único ponto calibrado de toda unidade de tratamento para medições de vazões totais do fluxo de processo, consideraram-se esses registros como parâmetro de referência do trabalho em pauta.

Uma síntese das vazões ao longo dos últimos cinco anos que estão registradas nos relatórios técnicos da unidade (CAESB, 2000 a 2005) é apresentada em planilhas no APÊNDICE A.

4.2.2 - Levantamento dos períodos de vazões características

As vazões características (vazão baixa, vazão alta e vazão média) do hidrograma dos fluxos de processo a ETEB Norte foram tomadas a partir dos dados horários levantados no período de janeiro/2000 a março/2004. Estes dados permitiram calcular a média para cada nível de vazão, gerando limites que possibilitaram a obtenção de intervalos de horários de ocorrência, das mesmas, caracterizando-se, assim, as faixas diárias de referência para o trabalho, denominadas vazões de processo (Tabela 4.1).

Tabela 4.1 – Faixas de Vazões Características ao longo do dia

Faixa de vazões características	Intervalo	
	Vazão (L/s)	Horário
Vazão baixa	≤ 160	4h às 7h
Vazão alta	≥ 700	11h às 15h
Vazão Média	$400 \leq Q_{méd} \leq 600$	20h às 23h

Para o dimensionamento do volume necessário a ser estocado diariamente, de modo a manter uma vazão média regularizada no processo, utilizou-se para a determinação desse volume de armazenamento um método tradicional aplicado às vazões médias horárias do período de referência (janeiro/2000 a março/2004), no caso, o Diagrama de Massa ou Diagrama de Rippl. O dimensionamento do sistema de equalização de acordo com esse método encontra-se detalhado no item 6-RESULTADOS E DISCUSSÕES.

O dimensionamento dos reservatórios, com a aplicação do Método do Diagrama de Massa, para manter uma vazão média horária regularizada, resultou em um volume diário de aproximadamente 7.600 m³. Esse volume acrescido dos 15% de reserva operacional (Metcalf & Eddy, 1995) resultou em um volume mínimo necessário de 8.740 m³. Como o volume total dos tanques existentes na ETEB Norte antiga era de 10.600 m³, a princípio seriam suficientes para atender às necessidades diárias da implantação do sistema de equalização.

4.3.2 – Sistema de bombeamento de retorno

O sistema de bombeamento de retorno escolhido foi o já existente, Poço de Lodo Ativado (PLA), composto por quatro conjuntos de bombas em paralelo (Tabela 4.2), mas devido às limitações do projeto elétrico do PLA, apenas três delas podem ser operadas simultaneamente, possibilitando um retorno de no máximo 1.440 m³/h.

Tabela 4.2 – Sistema de Recalque para Retorno de Fluxo

Tipo	Quantidade	Vazão da Bomba (m ³ /h)	Vazão Total	
			(m ³ /h)	(L/s)
Bomba Antiga	03	480	1.440	400
Bomba Nova	01	330	330	92
Total Geral			1.770	492

A linha de recalque utilizada aproveitou as tubulações de recirculação do lodo ativado dos decantadores secundários (DSs) para o decantador primário (DP), da ETEB Norte antiga, de modo que o retorno do volume estocado ocorresse a montante do gradeamento (Figura 4.1).

4.4 – OPERAÇÃO DO SISTEMA DE EQUALIZAÇÃO

4.4.1 – Sistema operacional

As águas residuárias, ao entrarem na estação, passam por uma comporta, mostrada na Figura 4.2, que é regularizadora da vazão afluyente do processo. Todo fluxo excedente verte para o sistema antigo da ETEB Norte, passando por um sistema de gradeamento manual e mecanizado, por uma caixa de areia e posteriormente vertendo em um DP (Figura 4.1). Essas águas são então armazenadas nos ex-tanques de aeração e ex-digestor aeróbio, os quais foram interligados para formarem o conjunto de armazenamento dos volumes excedentes.



Figura 4.2 – Ponto de Separação do Fluxo Regularizado e do Excedente

Os tanques de armazenamento, após receberem as águas residuárias excedentes, funcionam como tanques de abastecimento dos tanques “pulmão” (DS), que aguardam o fluxo principal do processo atingir níveis inferiores a 300 L/s. Nesse momento, é dado início ao processo de retorno do volume armazenado, redesenhando o fluxo principal do processo.

Conforme o ensaio operacional preliminares estabeleceu-se, a princípio, a seguinte escala de procedimentos:

- a. Desvio de extravasamento, das 09h até às 17h;
- b. Início do retorno ao fluxo de processo com uma bomba de 134 L/s, a partir da 00h até às 08h;
- c. Entrada da segunda bomba de 134 L/s, a partir da 01h até às 07h;
- d. Entrada da terceira bomba de 92 L/s, a partir das 02h até às 07h.

Vale ressaltar que flutuações das cargas hidráulicas afluentes, ao longo do dia, assim como outros fatores, podem alterar essa sistemática.

4.4.2 – Sistema de análises laboratoriais

O laboratório de físico-química trabalhava dentro de uma rotina de atendimento às necessidades do controle operacional do processo, com coletas de amostras compostas das 24 horas do dia, em quatro pontos do sistema de tratamento. Entretanto, para atender as necessidades da pesquisa, foi acrescido um quinto ponto de coleta aos já existentes, localizado no efluente ao tratamento preliminar (Figura 4.3).

Dessa forma, pôde-se visualizar o comportamento dos principais constituintes ao longo do processo de tratamento, especificamente no ponto de mistura do fluxo principal com o retorno do volume acumulado. Os resultados dessas análises estão contidos no item RESULTADOS E DISCUSSÕES.

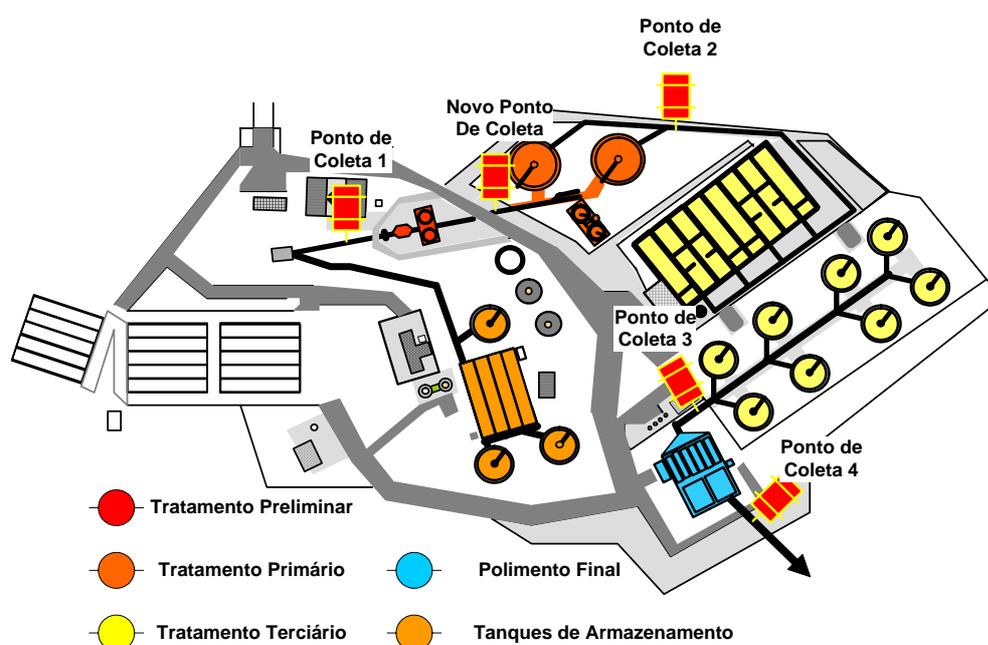


Figura 4.3 – Pontos Básicos de Coleta de Amostras para Controle Operacionais

4.5 – CARACTERIZAÇÃO DAS FASES DO DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

A parte experimental da pesquisa desenvolveu-se em três fases: (1) com o fluxo de processo sem equalização, (2) com o fluxo de processo equalizado, mantendo o tratamento biológico operando com três unidades de reatores e (3) com o fluxo de processo equalizado, passando a operar com dois reatores.

4.5.1 – Formulação das bases do estudo dos efeitos da equalização de fluxos

Algumas premissas básicas foram estabelecidas como parâmetro na composição da pesquisa para a análise dos efeitos da equalização de fluxos no tratamento das águas residuárias na ETEB Norte:

- a. As vazões medidas após os DSs são válidas para todo o processo de tratamento (da entrada até a saída da ETEB Norte);
- b. A visualização das ocorrências operacionais e do processo teve como base os valores levantados a partir da média das vazões horárias (variações volumétricas resultantes do horário de coleta) e ao longo do ano (variações climáticas);
- c. As variações sazonais das cargas hidráulicas afluentes somente foram consideradas quando de programações futuras, de modo a promover a configuração ideal das etapas do processo de tratamento, em períodos de alta e baixa vazão, para otimizar o processo;
- d. As variações dos consumos de energia elétrica foram avaliadas por etapa do processo de tratamento;
- e. A eficiência do processo em cada uma das fases avaliadas foi comparada com as demais e com os limites exigidos pelo projeto/legislação aplicável.

4.5.2 – Fases de estudo

A subdivisão da pesquisa em três fases deveu-se à necessidade de se conhecer as variações dos efeitos ocorridos no processo de tratamento de águas residuárias da ETEB Norte, quando este sofre as influências da equalização dos fluxos de processo, conjugado com alterações na configuração do sistema de tratamento.

4.5.2.1 - 1ª fase - Fluxo de processo sem equalização

Na primeira fase do estudo, a estação foi analisada dentro do seu comportamento de tratamento, tal qual foi projetada. Isso compreendeu o período de abril/2004 a maio/2005. Esta fase demandou um tempo maior do que das outras fases, devido às obras de adequação das estruturas e dos equipamentos que atenderiam ao sistema de equalização.

Os dados foram coletados em planilhas de controle operacional de cada unidade do processo de tratamento e do laboratório de físico-química. Sendo estes utilizados como referência para as demais fases e base para os ajustes operacionais necessários, permitindo a avaliação dos efeitos da equalização dos fluxos sobre o sistema de tratamento de águas residuárias da ETEB Norte.

Nesta fase, os procedimentos operacionais, a configuração do sistema de tratamento, a metodologia de coleta, análise, registro e tratamento de dados foram executados conforme o descrito no item CASO DE ESTUDO. Os dados de interesse do trabalho estão apresentados no item RESULTADOS E DISCUSSÕES.

4.5.2.2 – 2ª fase – Fluxo de processo regularizado, mantendo o tratamento biológico operando com três unidades de reatores.

Em 19 de maio de 2005, iniciou-se efetivamente o processo de regularização de fluxos no sistema de tratamento da ETEB Norte, o que caracterizou a 2ª fase do trabalho, estendendo-se esta até 03 de agosto de 2005.

Nesse período, foram mantidas todas as unidades que se encontrava em carga na ETEB Norte ampliada e entrou em operação o sistema preparado da ETEB Norte antiga (tratamento preliminar, decantador primário, tanques de armazenamento, decantadores secundários e sistema de retorno – esquematizado na Figura 4.1), para recebimento da vazão excedente, originando efetivamente o processo de regularização dos fluxos, de modo que eles permanecessem com valores constantes, no intervalo entre os níveis de vazões médias e altas, pelo maior número de horas do dia.

Os esforços para manter os níveis de vazão constante foram essenciais também no período noturno, quando as baixas vazões reduziam os tempos de detenção hidráulica (θ_H) nas diversas unidades operacionais e obrigavam a operação a criar artifícios para

manutenção da carga de lodo nos reatores (relação A/M), principalmente no período da 00h às 8h. Como por exemplo, a recirculação dos sólidos decantados no DP e descartados para o ADG, período noturno, que não eram adensados, mas sim, devolvidos para o canal afluente aos reatores, de modo a equilibrar a carga de lodo dos mesmos.

No item RESULTADOS E DISCUSSÕES, foram observados as características e o comportamento de todo o processo de tratamento com o incremento da regularização de fluxos de processo.

4.5.2.3 - 3ª fase - Fluxo de processo melhor regularizado, passando a operar com dois reatores.

A fase final ou 3ª fase, realizada no período de 04 de agosto de 2.005 a 30 de setembro de 2.005, caracterizou-se pela atenção voltada para o tratamento biológico, responsável por 83% do consumo de energia elétrica (kWh) ou 19% do custo mensal de processo da estação (CAESB, 2.005).

Na 2ª fase, tendo-se implantado o sistema de equalização de fluxos sob a estrutura total da ETE Norte ampliada, em operação, observou-se não ser possível manter os níveis ideais de vazão de processo constantes diuturnamente, visto que cada conjunto de tratamento biológico² (CTB) necessitava de uma vazão mínima de operação, o que não permitia um maior grau de regularização. Desta maneira, as condições do processo determinaram um desvio para armazenamento, menor que o ideal.

Na tentativa de se aproximar os fluxos de processo a uma regularização plena, minimizando a sua variação, retirou-se de operação um CTB. Esta é a diferença básica entre a 2ª fase e a 3ª fase do experimento, ou seja, o sistema passou a operar na 3ª fase com apenas um desarenador e dois CTBs, conseqüentemente foi necessário manter em operação apenas um dos poços de lodo de recirculação (PLR).

Esta nova configuração de operação do sistema de tratamento (3ª fase), possibilitou um aumento do volume armazenado, buscando atingir uma constância dos fluxos em um maior número de horas do dia e noite, e também objetivou gerar uma economia de energia para a estação, sem, contudo, comprometer o seu desempenho.

² Conjunto do Tratamento Biológico; é o módulo composto por um reator biológico, dois decantadores secundários e os seus respectivos acessórios.

4.6 – ANÁLISE DE RESULTADOS

A análise dos resultados teve o objetivo de permitir visualizar, por meio de comparação entre as três fases da pesquisa, os efeitos da instalação da equalização de fluxos sobre um sistema de tratamento de águas residuárias.

Os fatores relevantes que foram considerados referem-se principalmente aos seguintes pontos:

- a. Avaliação do desempenho do processo, quando do atendimento aos padrões de qualidade do efluente e ao nível de confiabilidade do mesmo, por meio de análises estatísticas das concentrações dos constituintes das águas residuárias;
- b. Levantamento dos custos operacionais diretos, como consequência da redução de consumo de energia elétrica e produtos químicos de processo;
- c. Discussão da combinação destes resultados, a fim de avaliar a viabilidade técnica e econômica do caso em estudo.

5 - CASO DE ESTUDO: ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS BRASÍLIA NORTE – ETEB NORTE

5.1 - INTRODUÇÃO

A ETEB Norte, ampliada e antiga, foram inicialmente projetadas para trabalharem em paralelo, onde a antiga serviria como uma unidade complementar para receber as cargas hidráulicas que excedessem a capacidade do novo projeto, possibilitando uma otimização global do processo de tratamento, bem como o aproveitamento das unidades já existentes. Também estava prevista a utilização do “by-pass”, desvio do excedente do fluxo principal diretamente para o corpo receptor, caso as cargas hidráulicas afluentes fossem excessivamente altas.

Esses procedimentos foram previstos devido aos períodos chuvosos, quando se estimava a incorporação de uma grande carga de águas pluviais no sistema coletor e devido à crescente população flutuante que se desloca para a área afluente a ETEB Norte. Vale salientar que esses são procedimentos para casos extremos e não habituais.

Nas considerações às sobrecargas hidráulicas no processo, deve-se levar em conta a incorporação de áreas de novos adensamentos populacionais, não previstas no projeto original de ampliação da ETEB Norte, gerando, conseqüentemente, a busca de soluções visando o aumento da capacidade de tratamento, sem, contudo, considerar uma nova ampliação física do sistema de tratamento das águas residuárias.

5.2 - CORPO RECEPTOR DOS EFLUENTES DA ETEB NORTE

Em 1957, Brasília passa a tomar forma, através do “plano piloto” do arquiteto Lúcio Costa, que, desde o lançamento, incluía a existência de um lago, formado a partir da barragem hidroelétrica no rio Paranoá. Além do elemento estético e reservatório para geração de energia, esse tem servido para outras finalidades, entre elas a recepção de águas pluviais e de efluentes de esgotos sanitários.

No enchimento do lago (1959), alertou-se para a permanência da cobertura vegetal que poderia gerar o rápido envelhecimento do lago, pelo acúmulo de materiais orgânicos e nutrientes.

Alguns anos depois, a eutrofização era um dos problemas que chamava atenção do corpo técnico da, então Companhia de Água e Esgotos de Brasília – CAESB, responsável pelo controle da poluição hídrica, a conservação, proteção e fiscalização das bacias hidrográficas, para fins de abastecimento de água, além daquelas inerentes à área de saneamento.

Mesmo com as estações de tratamento de esgotos que atendiam especificamente a bacia do Paranoá, os lançamentos dos esgotos brutos e/ou inadequadamente tratados constituíam a principal fonte de poluição do lago.

A CAESB, em 1975, conforme relatado por Brunett *et al.* (2001), elaborou um programa para a recuperação e manutenção do Lago Paranoá, que indicava estudos e projetos que deveriam ser realizados a curto, médio e longo prazo com o objetivo de buscar solução para as possíveis situações emergenciais e os evidentes problemas do lago.

A definição final, desta situação, veio após exaustivos estudos técnicos e econômicos, que demandaram alguns anos de trabalho envolvendo pesquisadores e firmas de consultoria nacionais e estrangeiras, sob a coordenação da CAESB.

A alternativa tecnológica resultante destes estudos foi baseada em uma tecnologia desenvolvida na África do Sul – processo BARDENPHO de cinco estágios (PHOREDOX) – que insere adaptações no processo de lodos ativados convencionais através da manipulação apropriada dos reatores biológicos, criando condições para o aparecimento no processo de determinados microorganismos, que promovem a remoção elevada de nitrogênio e fósforo, permitindo o lançamento dos efluentes sanitários no próprio lago.

5.3 - CENÁRIO DE PROJETO

5.3.1 - Introdução

Conforme relatado no memorial descritivo do Projeto Básico de Ampliação e Adaptação da ETEB Norte (1982), os objetivos básicos relacionados à necessidade da ampliação da estação existente foram:

- a. **Ampliação da capacidade da estação**, especificamente a sobrecarga em que se encontrava a unidade de tratamento na época e nas previsões futuras;
- b. **Remoção de nutrientes**, desempenhar a tarefa de evitar os problemas de eutrofização do Lago Paranoá, com a implantação de um tratamento que propiciasse a consecução deste objetivo;
- c. **“By-pass” para o corpo receptor**, o equacionamento de um problema relacionado diretamente com a componente de águas pluviais, que adentravam no sistema coletor de esgotos, acarretando uma sobrecarga hidráulica aliviada para o corpo receptor.

Os dados básicos mais significativos do projeto do novo conjunto de tratamento de águas residuárias encontram-se apresentados na Tabela 5.1, assim como os parâmetros analíticos do esgoto bruto, apresentados na Tabela 5.2.

Tabela 5.1 – Dados de Projeto ETEB Norte

Especificação	Vazão	Quantidade
Estação Nova	Máxima	2.300 (L/s)
	Média	911 (L/s)
	Mínima	550 (L/s)
Estação Existente	Máxima	2.000 (L/s)
	Mínima	0 (L/s)
By-pass	Máxima	1.000 (L/s)
	Mínima	0 (L/s)

Tabela 5.2 – Esgoto Bruto ETEB Norte (dados de projeto)

Constituinte	Unidade	Concentração
DQO	mg/L	450
NTK	mg/L	50
PT	mg/L	8

5.3.2 - ETEB Norte antiga

A chamada ETEB Norte antiga, mostrado na Figura 5.1, foi projetada para realizar tratamento a nível secundário das águas residuárias e suas características de projeto estão apresentadas na Tabela 5.3. A estação manteve-se em operação total até a inauguração da expansão da ETEB Norte, no ano de 1994. Após essa data, apenas algumas unidades permaneceram em funcionamento, dentre elas: Digestores Primários - DGPs (anaeróbio),

Digestor Secundário – DGS (anaeróbio), Digestores Aeróbios (câmaras) e Decantador Primário – DP, recebendo o sobrenadante do Adensador da Desidratação Mecânica (DAD) e do Adensador por Flotação (ADF) para posteriormente retorná-lo ao fluxo principal do processo.

Tabela 5.3 – Características da ETEB Norte antiga

Especificação	Unidade	Quantidade
População Contribuinte	Hab	150.000
Vazão Média	L/s	520
Concentração DBO	mg/L	200
Sólidos Totais	mg/L	300

O sistema de tratamento é composto pelas unidades registradas no fluxograma de processo da ETEB Norte antiga (Figura 5.2), cuja estrutura possui tanques, hoje inoperantes, com uma capacidade de, aproximadamente, 10.600 m³, que poderão ser utilizados no sistema de armazenagem para o sistema de equalização das vazões de processo.



Figura 5.1 – Vista Aérea da ETEB Norte antiga

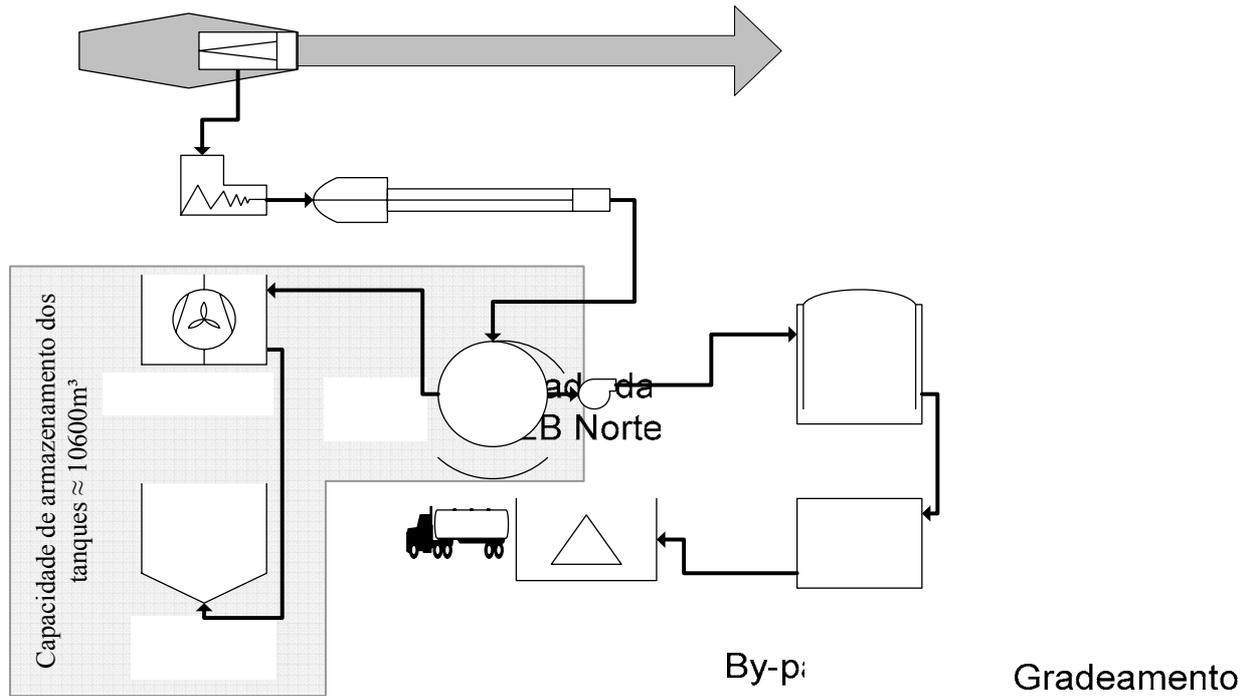


Figura 5.2 – Fluxograma de processo da ETEB Norte antiga

5.3.3 – Ampliação da ETEB Norte

A área de abrangência da ETEB Norte foi a princípio considerada como: Asa Norte, parte da Península Norte – SHIN e parte do Setor Militar Urbano – SMO (Figura 5.3). Posteriormente foi expandida para atender a outras áreas como o Varjão e vila Planalto.

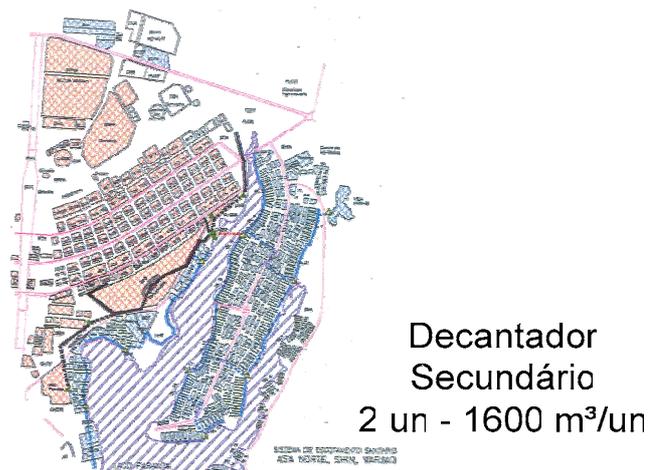


Figura 5.3 – Área de atendimento da ETEB Norte, adaptado (SIESG, 2002)

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)