Dedico este trabalho, àqueles que investiram tempo, energia e amor em prol do meu desenvolvimento, que com base em exemplo pessoal moldaram minha postura e meus valores, meus orientadores de vida, aos meus pais, Lílian e Marcio.

Gostaria de dedicar também meu esforço à minha família e amigos que trazem felicidade e diversão aos meus dias. Afinal, a obtenção do sucesso em qualquer atividade está associada ao equilíbrio entre dedicação, descontração e qualidade de vida.

AGRADECIMENTOS

À Profa. Dra. Rita Maria de Brito Alves e ao Prof. Dr. Claudio Oller do Nascimento, pelo apoio, pela orientação, pelo rico aprendizado, pelo voto de confiança e pela amizade construída.

Aos amigos e aos professores do Departamento de Engenharia Química da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, em especial a: William Seiji Maejima, Dr. Antonio Esio Bresciani, Prof. Dr. Roberto Guardani e Prof. Dr. Galo Antonio Carrillo Le Roux.

Aos professores e amigos do Departamento de Hidráulica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo: Prof. Dr. Sidney Seckler Ferreira Filho, Prof. Dr. José Carlos Mierzwa e Prof. Dr. Dione Mari Morita.

Aos amigos de trabalho que me incentivaram e contribuíram com o meu mestrado, em especial as Sras. Ana Paula Wagner e Claudia Gianone, aos Srs. Luiz Carlos Mendes Brito, Rafael Pedro Pellicciotta, Marcus Tavora, Rosan Coutinho dos Santos, Luciano Lobato Azevedo, Nelson Furlan, Eduardo Komaki de Paula, Marcos Rogério Candido, Caio Augusto Funck de Lima, José Luiz Brunhara, Antonio Cezar de Oliveira, Edney de Carvalho, Abner de Souza Silva, Adilson Ferreira da Silva, Jaime de Almeida Ferreira, Thiago Camargo de Almeida.

Ao amigo, orientador e tutor profissional Eng. Claudio Arlindo Silveira.

RESUMO

O recurso água é de primordial importância para a vida, para a sociedade e para os processos industriais. A redução da disponibilidade de água, devido ao aumento de sua demanda, à poluição das bacias hidrográficas e à escassez de fontes limpas, pressionam os órgãos reguladores a elaborar leis que restrinjam seu consumo, a criar normas que controlem o despejo de efluentes e aplicar tarifas que elevem o custo do uso da água. Portanto, técnicas de conservação e reúso são elementos importantes para as empresas reduzirem seus custos e contribuírem positivamente com o desenvolvimento sustentável. O objetivo deste trabalho é apresentar um estudo de caso real que visa à redução no consumo de água em uma unidade industrial do setor Químico. Serão aqui descritos os processos industriais envolvidos, as necessidades e especificações associadas, as metodologias utilizadas para construção do cenário atual de consumo e para o desenvolvimento das propostas de reúso. O trabalho mostra que existem oportunidades de modificações nos processos de digestão, de destilação, de recuperação de produtos e de drenagens que implicariam uma redução no consumo de água, em economia financeira com uma taxa de retorno atrativa e com retorno do investimento em um curto espaço de tempo.

Palavras-Chave: Reúso de Água. Desenvolvimento Sustentável. Impactos ambientais (redução). Processos Químicos.

ABSTRACT

Water is essential for life, for society and for industrial processes. Any decrease in availability, as a consequence of increased demand and/or pollution of its sources, puts pressure on the regulating agencies to create specific legislation in order to restrict water consumption, control effluent discharge and to apply tariffs that raise the cost of water use. Therefore, wastewater reuse techniques are very important for companies to reduce costs and contribute to sustainable development. The objective of this project is to discuss the reduction of water consumption in a chemical industrial unit. The procedure covers the study of the industrial process pertaining to water, its requirements and specifications, the strategies applied to address the water/wastewater allocation issue. Finally, the project presents opportunities for modifications to some specific operation units such as digestion, distillation, product recovery and draining processes, which lead to a decrease in fresh water consumption and wastewater generation. Besides the environmental benefits, the company achieves financial savings as well as good relations with local community.

Key-words: Water. Wastewater Reuse. Sustainable development. Chemical Industry.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Disponibilidade de água no mundo.....15
Figura 2: Disponibilidade de água doce no mundo.....16
Figura 3: Vazão de referência atual de água.,.....17
Figura 4: Vazão de referência para 2020.....18
Figura 5: Consumo específico de água.....20
Figura 6: Fluxograma de blocos do processo produtivo.....23
Figura 7: Sistema de recuperação de finos instáveis.....25
Figura 8: Sistema de recuperação de finos estáveis.....27
Figura 9: Consumo estratificado de água.....30
Figura 10: Esquema de tratamento de água industrial.....32
Figura 11: Reservatório de água industrial.....32
Figura 12: Esquema de tratamento de efluentes.....34
Figura 13: Comparativo entre efluente bruto e efluente final.....35
Figura 14: Balanço hídrico geral de água artesiana.....55
Figura 15: Balanço hídrico geral de água industrial.....56
Figura 16: Balanço hídrico detalhado da unidade.....57
Figura 17: Balanço hídrico com destaque aos sistemas passíveis de reúso....61
Figura 18: Fluxograma de Complemento à recuperação de finos.....63
Figura 19: Simulação do atual sistema de recuperação de isopropanol.....67
Figura 20: Simulação de recuperação direta da corrente residual diluída.....68
Figura 21: Esquema da recuperação parcial de isopropanol.....71
Figura 22: Simulação da nova coluna de pré-concentração de isopropanol.....73
Figura 23: Simulação do sistema atual admitindo corrente pré-concentrada....74
Figura 24: Sistema atual de drenagens da Homogeneização.....80
Figura 25: Sistema proposto para drenagens da Homogeneização.....81
Figura 26: Simulação da atual coluna de etanol.....91
Figura 27: Simulação da coluna de etanol operando com refervedor.....91
Figura 28: Simulação do atual sistema de recuperação de isopropanol.....93
Figura 29: Simulação do sistema de isopropanol com refervedores.....94
Figura 30: Balanço hídrico após implantação das propostas de reúso.....102

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Qualidade da água bruta e da industrial.....33
Tabela 2: Caracterização do efluente bruto e final.....35
Tabela 3: Grau de qualidade requerida à água.....37
Tabela 4: Estimativa de custo – Complemento à recuperação de finos.....64
Tabela 5: Comparação entre o cenário atual e o cenário proposto.....74
Tabela 6: Estimativa Preliminar de custo – Segregação das drenagens da Homogeneização.....82
Tabela 7: Economia de vapor por digestor substituído.....88
Tabela 8: Resumo dos ganhos associados à instalação de refervedores.....96
Tabela 9: Estimativa preliminar de custo – Instalação de refervedores nas colunas.....97
Tabela 10: Resumo dos resultados obtidos.....101

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA – Agência Nacional de Águas

ASME – American Society of Mechanical Engineers

BE – Balanço de Energia

BM – Balanço de Massa

CGU – Central de Geração de Utilidades

DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica

DBO – Demanda Biológica de Oxigênio

DQO – Demanda Química de Oxigênio

ECA – Estação de Captação de Água

ETA – Estação de Tratamento de Água

ETE – Estação de Tratamento de Efluentes

Fe - Ferro

H_2O - Água

HNO_3 – Ácido nítrico

NC – Nitrocelulose

NOx – Óxidos de Nitrogênio

SDT – Sólidos Totais Dissolvidos

SST – Sólidos Suspensos Totais

UNEP – United Nations Environment Program

VOC´s – Compostos Orgânicos Voláteis

WCED – World Comission on Environmental and Development

WSD – Water Source Diagram

SUMÁRIO

1. Introdução.....12
1.1. Desenvolvimento Sustentável.....14
1.2. Disponibilidade de Água.....14
1.3. Gerenciamento do recurso Hídrico.....16
1.4. Objetivos.....19
1.5. Justificativa.....19
2. Descrição da Unidade Industrial.....22
2.1. Unidade Produtiva de Nitrocelulose.....23
2.1.1. Nitração.....24
2.1.2. Digestão.....24
2.1.3. Refino.....26
2.1.4. Estabilização.....26
2.1.5. Homogeneização.....26
2.1.6. Alcoolização.....27
2.1.7. Processos Periféricos.....28
2.1.7.1. Recuperação de Álcool.....28
2.2. Consumo Geral de Água.....29
2.2.1. Água Desmineralizada e Vapor.....30
2.2.2. Água Industrial.....31
2.3. Efluente Industrial.....34
3. Revisão Bibliográfica.....36
3.1. Reúso de Água na Indústria.....36
3.2. Separação de Misturas de Água / Álcool Isopropílico.....42
4. Metodologia.....45
4.1. Análise Conceitual do Processo.....46
4.2. Levantamento do Cenário Atual do Consumo de Água.....46
4.2.1. Construção do Balanço Hídrico Geral.....47
4.2.2. Levantamento do Balanço Hídrico Detalhado.....47
4.2.3. Especificação de Qualidade de Água.....48
4.3. Levantamento do Cenário Atual de Geração de Efluente.....49

4.4. Identificação e Avaliação de Oportunidades de Racionalização e Alternativas de Reúso.....50
4.4.1. Cruzando os Cenários Atuais de Água e Efluente.....51
4.4.2. Identificação de Tecnologias Alternativas.....51
4.4.3. Avaliação das Alternativas Encontradas.....52
5. Estudo das possibilidades de Reúso de Água.....55
5.1. Levantamento dos Balanços Hídricos.....55
5.2. Informações Adicionais – Recuperação de Condensado.....58
5.3. Alternativas de Reúso.....60
5.3.1. Complemento à Recuperação de Finos.....62
5.3.2. Concentração Parcial de isopropanol.....65
5.3.3. Segregação das Drenagens da Homogeneização.....76
5.3.4. Aquecimento Indireto nos Digestores.....83
5.3.5. Uso de Refervedores nas Colunas de Álcool.....90
6. Conclusões.....98
Referências.....103