



Márcio Belleti Anselmo

**Desenvolvimento de um Sistema de Mistura
para Tratamento de Efluentes em Depósito de
Resíduos**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da PUC-Rio como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil

Orientador: Prof. Tácio Mauro Pereira de Campos
Co-orientador: Prof. Antônio Roberto Martins Barboza de Oliveira

Rio de Janeiro
Outubro de 2011



Márcio Belleti Anselmo

**Desenvolvimento de um Sistema de Mistura para
Tratamento de Efluentes em Depósito de
Resíduos**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da PUC-Rio como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil

Prof. Tácio Mauro Pereira de Campos

Orientador

Departamento de Engenharia Civil – PUC-Rio

Prof. Antonio Roberto Martins Barboza de Oliveira

Co-Orientador

Departamento de Engenharia Civil – PUC-Rio

Prof. Denise Pessoa Mano

Departamento de Engenharia Civil – PUC-Rio

Prof. Maria Cláudia Barbosa

COPPE-UFRJ

José Eugênio Leal

Coordenador Setorial do Centro

Técnico Científico – PUC-Rio

Rio de Janeiro, 05 de outubro de 2011

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, da autora e do orientador

Márcio Belleti Anselmo

Graduou-se em Engenharia Ambiental na Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio).

Ficha Catalográfica

Anselmo, Márcio Belleti

Desenvolvimento de um Sistema de Mistura para Tratamento de Efluentes em Depósito de Resíduos / Márcio Belleti Anselmo ; orientador: Tácio Mauro Pereira de Campos ; co-orientador: Antônio Roberto Martins Barboza de Oliveira. – 2011.

68 f. : il. (color.) ; 30 cm

Dissertação (mestrado)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil, 2011.

Inclui bibliografia

1. Engenharia civil – Teses. 2. Bacia de Rejeito. 3. Cia. Mercantil e Industrial Ingá. 4. Tratamento de efluentes. 5. Remediação ambiental. I. de Campos, Tácio Mauro Pereira. II. Oliveira, Antônio Roberto Martins Barboza de. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Civil. IV. Título.

CDD: 624

Dedico este trabalho aos meus avós, meus grandes ídolos.

Agradecimentos

Agradeço a Deus por todas as conquistas até o momento.

Agradeço a minha família pela educação, confiança, incentivo e oportunidades para alcançar os meus objetivos.

Agradeço ao Professor Antônio Roberto pelo meu desenvolvimento acadêmico e profissional.

Agradeço a Maria Fernanda pelo apoio e incentivo nos momentos mais difíceis do mestrado.

Agradeço a CAPES pela a oportunidade.

Agradeço aos amigos por entenderem que as vezes é preciso ter dedicação.

Agradeço ao pessoal do laboratório, Zé, Evandro e Euclides, que me ajudaram muito durante a dissertação.

Agradeço a Branca por toda a ajuda durante o mestrado.

Agradeço ao Bernardo força durante as atividades da dissertação.

Agradeço ao Bronco por toda a ajuda durante TODA a dissertação, e pelas inúmeras provas de amizade.

Resumo

Anselmo, Márcio Belleti; de Campos, Tácio Mauro Pereira; Barboza de Oliveira, Antônio Roberto Martins. **Desenvolvimento de um Sistema de Mistura para Tratamento de Efluentes em Depósito de Resíduos**. Rio de Janeiro, 2011. 68p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

A extinta mineradora Cia. Mercantil e Industrial Ingá era responsável por grande parte da produção de zinco no país. Após decretada sua falência, em 1998, sua área permaneceu abandonada por mais de 10 anos. Durante essa década, insumos e resíduos foram armazenados e dispostos de forma inadequada, gerando um dos maiores passivos ambientais já vistos no estado do Rio de Janeiro. Sua barragem de rejeito, construída sem qualquer impermeabilização de base, continha aproximadamente 430.000 m³ de efluente com altas concentrações de zinco (824 mg/l) e cádmio (2,9 mg/l). Além do risco de contaminação das águas subterrâneas, a possibilidade de ruptura do dique desta barragem era cada vez mais evidente, principalmente durante as temporadas de chuva. Em 2004, a PUC-Rio foi contratada pela Massa Falida para assumir a área e propor medidas emergenciais para a remediação do passivo ambiental. Em 2008, a universidade desenvolveu um sistema de tratamento de efluente líquido, que conseguiu aumentar o volume tratado por mês, passando de 24.000 m³/mês para 160.000 m³/mês, eliminando o risco de ruptura do dique. O sucesso desse sistema deu origem a este trabalho. O propósito desta dissertação foi desenvolver o conceito do sistema utilizado na remediação ambiental da Cia. Mercantil e Industrial Ingá, dando origem a um projeto piloto compacto e eficiente, capaz de se adequar a diferentes tipos de efluentes.

Palavras-chave

Bacia de Rejeito; Cia. Mercantil e Industrial Ingá; Tratamento de Efluentes; Remediação Ambiental

Abstract

Anselmo, Márcio Belleti; de Campos, Tácio Mauro Pereira (advisor); Barboza de Oliveira, Antônio Roberto Martins (advisor). **Development of Mixing System for Wastewater Treatment in Waste Deposit**. Rio de Janeiro, 2011. 68p. MSc. Dissertation – Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

After bankruptcy in 1998, a major Brazilian zinc producer – Cia. Mercantil e Industrial Ingá – industrial site was abandoned for about ten years. As a result, raw materials and industrial waste were disposed in an inappropriate way for one decade, creating one of the biggest environmental liabilities in the State of Rio de Janeiro – Brazil. The company's waste dam contained around 430.000 m³ of effluent with high concentrations of zinc (824 mg/l) and cadmium (2,9 mg/l), even though it was not conveniently sealed. Besides the risk of contamination of underground reservoirs of water, the possibility of a dam breakdown became evident, especially during the raining seasons. In 2004, the Catholic University of Rio de Janeiro (PUC-Rio) was hired by the authority "Massa Falida" – legally responsible for managing the assets and liabilities of the bankrupted company – to propose urgent measures to repair the environmental damages caused by the mining company. In 2008, The Catholic University team developed a liquid effluent treatment system which increased the previous treatment capacity from 24.000 m³/month to 160.000 m³/month. This increase eliminates any risk of a dam breakdown. Based on this important achievement, the present work intends to develop and systematize the conceptual approach applied to the Cia. Mercantil e Industrial Ingá case, in order to give birth to a compact e efficient pilot project, capable to be adjusted to different types of effluents.

Keywords

Waste Deposit; Cia Mercantil e Industrial Ingá; Effluente Treatment; Environmental Remediation

Sumário

1	Introdução	15
1.1.	Objetivos	16
1.2.	Estrutura da Dissertação	16
2	Remediação Ambiental	17
2.1.	Passivo Ambiental	17
2.2.	Fontes de Contaminação	18
2.3.	Remediação Ambiental	20
2.3.1.	Etapas da Remediação Ambiental	20
2.3.2.	Tipo de Fonte de Contaminação Estudada	22
3	Cia Mercantil e Industrial Ingá	23
3.1.	Localização da Área	23
3.2.	Histórico da Contaminação da Área	24
3.3.	A Bacia de Rejeito	26
3.4.	Balanço Hídrico	29
3.4.1.	Climatologia	29
3.4.2.	Cálculo do Balanço Hídrico na Bacia de Rejeitos	31
3.4.3.	Tratamento de Efluente da Bacia de Rejeitos	32
3.4.4.	Tratamento Emergencial do Efluente Líquido da Bacia de Rejeitos	34
3.5.	Conclusões do Capítulo	36
4	Modelo Experimental	38
4.1.	Componentes do Sistema	38
4.1.1.	Bombas	38
4.1.2.	Câmara de Mistura, Tanque de Armazenamento e Tanque de Reagente	41
4.1.3.	Membranas de Filtração	41
4.2.	Descrição do Processo	42
4.2.1.	Tratamento Químico	43
4.2.2.	Tratamento Físico	44

4.2.3. Retrolavagem	47
4.3. Automação do Sistema	48
4.4. Avaliação da Vazão das Membranas de Filtração	49
4.5. Utilização do Tratamento Prévio para Melhoria da Eficiência do Sistema	55
4.5.1. Coleta e Preservação da Amostra	56
4.5.2. Caracterização das Amostras	56
4.5.3. Definição do Reagente	62
5 Conclusões e Sugestões	64
Referências Bibliográficas	66

Lista de Figuras

Figura 2.1 – Fluxograma das etapas para a elaboração de um Diagnóstico Ambiental de uma área contaminada. FONTE: CETESB (2001).	21
Figura 3.1 – Foto aérea da localização da Cia. Mercantil e Industrial Ingá. FONTE: GOOGLE EARTH (2011).	24
Figura 3.2 – Foto aérea da pilha de rejeito depositada a céu aberto. FONTE: ARARUNA (2004).	25
Figura 3.3 – Foto aérea da pilha e da bacia de rejeitos da Cia. Mercantil e Industrial Ingá. FONTE: GOOGLE EARTH (2011).	27
Figura 3.4 – Localização dos pontos de coleta das amostras do efluente presente na Bacia de Rejeitos.	28
Figura 3.5 – Foto aérea da Cia. Mercantil e Industrial Ingá, em relação às três estações meteorológicas em questão.	29
Figura 3.6 – Gráfico comparativo entre as precipitações médias mensais e as evaporações médias mensais registradas pela Estação Meteorológica de Santa Cruz, durante os anos de 1985 e 2005.	30
Figura 3.7 a e b – Antiga área de produção da indústria utilizada para o tratamento de efluente. FONTE: PUC-Rio (2008).	32
Figura 3.8 a – Pá mecânica misturando o cal com o efluente. FONTE: PUC-Rio (2008), e b – Efluente líquido em decantação, após a mistura do cal. FONTE: PUC-Rio (2008).	33
Figura 3.9 a e b – Filtros prensa utilizado durante o tratamento, após a precipitação química. FONTE: PUC-Rio (2008).	33
Figura 3.10 – Desenho esquemático da câmara de mistura conectada à linha de abastecimento do efluente e reagente.	34
Figura 3.11 – Vista frontal da entrada e da saída da câmara de mistura.	35
Figura 3.12 a, b, c e d – Série Histórica do tratamento da bacia de rejeitos da Cia. Mercantil e Industrial Ingá.	36
Figura 4.1 – Gráfico da curva característica da B1.	40

Figura 4.2 – Gráfico da curva característica da B2.	40
Figura 4.3 – Gráfico da curva característica da Bretro.	41
Figura 4.4 – Representação esquemática do sistema.	43
Figura 4.5 – Foto do tanque de mistura montado no laboratório, evidenciando as entradas do reagente e do efluente, a saída após a mistura e a saída da água da retrolavagem.	43
Figura 4.6 – Diferentes espécies que podem ser filtradas através de membranas com diferentes porosidades. FONTE: HABERT et al (2006).	45
Figura 4.7 – Vista lateral da membrana de filtração AQS-80-300-(2*2)-1,00	46
Figura 4.8 – Vista frontal da membrana de filtração AQS-80-300-(2*2)-1,00	46
Figura 4.9 – Membranas AQS-80-300-(2*2)-0,04 e AQS-80-300-(2*2)-1,00 encapsuladas, antes de serem incorporadas ao sistema.	46
Figura 4.10 – Membrana AQS-80-300-(2*2)-3,00 instalada no sistema, junto com os manômetros responsáveis pelo monitoramento do fluxo do processo e do fluxoda retrolavagem.	47
Figura 4.11 – Foto do tanque de armazenamento evidenciando a entrada, a saída do efluente, a bomba de retrolavagem e o fluxo de retrolavagem.	47
Figura 4.12 – Representação do comportamento do fluxo ao longo do tempo numa membrana, com a ação da retrolavagem e sem a ação da retrolavagem. FONTE: NÓBREGA (1998) apud BARBOSA (2009).	48
Figura 4.13 – Interface do software automação Lab View.	49
Figura 4.14 – Foto aérea da localização do Rio Rainha. FONTE: GOOGLE EARTH.	50
Figura 4.15 a – Foto do flutuador evidenciando seu gradeamento; b – Foto do flutuador e a bomba 1 nas águas do Rio Rainha; c – Foto da colocação da bomba 1 e do flutuador no Rio Rainha.	50
Figura 4.16 – Membrana de Filtração montada em campo.	51
Figura 4.17 – Tanque de Armazenamento montado em campo.	51
Figura 4.18 – Câmara de mistura e tanque de reagente montados em campo.	52
Figura 4.19 – Sistema sendo operado no Rio Rainha.	52

Figura 4.20 – Vazões de saída x tempo de operação.	53
Figura 4.21 – Representação esquemática do tipo de filtração dead-end filtration. FONTE: JOHANSEN (2009)*.	54
Figura 4.22 – Representação esquemática do tipo de filtração cross-flow filtration. FONTE: JOHANSEN (2009)*.	55
Figura 4.23 – Amostra sendo coletada na lagoa do Aterro Municipal de Gramacho no dia 09/10/2010.	56
Figura 4.24 – Medição do pH do chorume bruto.	57
Figura 4.25 – Medição da condutividade e da temperatura do chorume bruto.	58
Figura 4.26 – Medição do oxigênio dissolvido.	58
Figura 4.27 – Medição da quantidade de sólidos dissolvidos.	59
Figura 4.28 – Medição da turbidez.	59
Figura 4.29 – Análise de fósforo total sendo realizada.	60
Figura 4.30 – Análise de potássio total sendo realizada.	61
Figura 5.1 – Desenho esquemático de uma possível configuração para o sistema desenvolvido.	65

Lista de Tabelas

Tabela 2.1 – Fontes de contaminação de água subterrânea e solo. FONTE: FETTER (1993).	19
Tabela 2.2 – Exemplos de contaminação de aquíferos. FONTE: TEIXEIRA et al. (2000) – adaptado.	20
Tabela 3.1 – Resultados das análises do efluente da bacia de rejeitos da Cia. Mercantil e Industrial Ingá, comparados com os valores orientadores para lançamento de efluentes, sugeridos pela Resolução CONAMA 357/2005. FONTE: PUC-Rio (2007).	28
Tabela 3.2 – Precipitação média mensal e evaporação média mensal registradas pela Estação Meteorológica de Santa Cruz, durante os anos de 1986 e 2005. FONTE: PUC-Rio (2005).	30
Tabela 3.3 – Cálculo do Balanço Hídrico da bacia de rejeito da Cia. Mercantil e Industrial Ingá. FONTE: PUC-Rio (2005).	31
Tabela 3.4 – Estimativa do tempo necessário para o esvaziamento da bacia de rejeitos. FONTE: PUC-Rio (2007).	35
Tabela 4.1 – Características das bombas utilizadas no sistema	38
Tabela 4.2 – Consumo médio de energia de cada bomba por hora.	39
Tabela 4.3 – Relação entre a altura manométrica (AMT) e a vazão das bombas.	39
Tabela 4.4 – Membranas disponíveis para o tratamento físico do sistema.	42
Tabela 4.5 – Processos de filtração utilizados em cada uma das membranas disponíveis, e as respectivas forças motrizes para cada tipo de processo.	45
Tabela 4.6 – Vazão do sistema x Tempo de Operação.	53
Tabela 4.7 – Características dos aparelhos utilizados para determinados parâmetros.	57
Tabela 4.8 – Metodologias referentes aos kits utilizados na caracterização do chorume.	60
Tabela 4.9 – Caracterização físico-química da amostra de chorume bruto coletada no dia 09/10/2010.	61

Tabela 4.10 – Resultados das análises do chorume bruto, e do chorume após o Jar Test realizado com barrilha e hipoclorito de sódio em diferentes dosagens.

63

Tabela 5.1 – Consumo, eficiência e custo da operação da câmara de mistura, considerando bombeamento contínuo.

64