

WEVERTON GESIEL DE SOUZA

**PÓS-SECAGEM NATURAL DE LODOS DE ESTAÇÕES DE
TRATAMENTO DE ÁGUA E ESGOTO SANITÁRIOS**

São Paulo
2012

WEVERTON GESIEL DE SOUZA

**PÓS-SECAGEM NATURAL DE LODOS DE ESTAÇÕES DE
TRATAMENTO DE ÁGUA E ESGOTO SANITÁRIOS**

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para a obtenção do título de Mestre em
Engenharia

São Paulo
2012

WEVERTON GESIEL DE SOUZA

**PÓS-SECAGEM NATURAL DE LODOS DE ESTAÇÕES DE
TRATAMENTO DE ÁGUA E ESGOTO SANITÁRIOS**

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para a obtenção do título de Mestre em
Engenharia

Área de concentração:
Engenharia Hidráulica e Sanitária

Orientador: Prof. Livre-Docente Sidney
Seckler Ferreira Filho

São Paulo
2012

FICHA CATALOGRÁFICA

Souza, Weveton Gesiel de

Pós-secagem natural de lodos de estações de tratamento de água e esgoto s/ W.G. de Souza. -- São Paulo, 2012.

132 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental.

1. Secagem 2. Lodo 3. Resíduos (Gerenciamento) 4. Leitões de secagem 5. Modelos matemáticos 6. Tratamento de resíduos sólidos. I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental II. t.

DEDICATÓRIA

Aos

Meus familiares.

Em especial:

Meus pais: Maria Elza e Clóvis;

Minha irmã: Milca Letícia;

Meu cunhado: Cristiano.

AGRADECIMENTOS

Meus sinceros agradecimentos a todos aqueles que ao longo desse mestrado contribuíram e participaram desta importante fase da minha vida, à saber:

A Deus, a Ele toda Honra e toda Glória;

Ao professor Sidney Seckler Ferreira Filho por possibilitar acontecimentos inéditos na minha vida, cercado de tanto aprendizado e, principalmente, pela orientação, confiança e amizade;

Ao professor Roque Passos Piveli e aos técnicos Fábio e Laerte do Laboratório de Saneamento da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo pela amizade e apoio nas análises de sólidos;

Ao professor Fernando Marinho e aos técnicos Joaquim e Antonio do Laboratório de Mecânica dos Solos da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo pela amizade e ajuda no fornecimento do espaço para a implantação dos leitos de secagem e utilização da estação hidrometeorológica;

Ao engenheiro Juliano da Cab spat pela implantação dos leitos de secagem e ao Wando coordenador de SADL da Cab spat na ETA - Taiaçupeba que gentilmente contribuiu para a realização deste trabalho;

A Sabesp em especial ao Jefferson gerente da divisão de operação e manutenção da ETE – Barueri que também contribuiu para a realização deste trabalho;

A Wandréa, Angela, Ricardo e Odorico da secretaria do PHD por todo apoio, carinho e atenção que me foram direcionados;

A amiga Lia muito querida com quem compartilhei momentos de alegrias e angústias, me dando muita força e ao seu esposo Carlos, e familiares que me receberam com muito carinho;

Aos amigos e alunos da pós-graduação do PEF/EP/USP Lauro, Talita e Milagros que me acolheram no laboratório de mecânica dos solos e na república.

Aos amigos Humberto, Rodrigo Bueno e a Carol companheiros do PHD/EP/USP que muito me ajudaram durante todo esse trabalho;

A amiga Liliana com quem caminhei junto desde o início deste trabalho e compartilhamos este desafio juntos;

Ao amigo João funcionário da Poli no prédio da engenharia civil na USP pelo apoio na coleta e transporte de lodo;

A minha irmã Milca e ao meu cunhado Cristiano que são os maiores responsáveis pela concretização deste projeto desde o início me acolhendo em sua casa me dando todo apoio e carinho;

Aos meus pais Clóvis e Maria Elza pelo apoio incondicional;

Aos meus irmãos Elberte Benone, Gleidson, Clóvis jr., cunhadas Waldelina e Michele. sobrinhos Letícia, Albert, Abner, Misael, Esther e Isabele;

Ao amigo Douglas sempre presente.

FRASE

“Temo somente uma coisa: não ser digno do meu tormento”.

(Dostoievsky)

RESUMO

Os processos de secagem de resíduos produzidos em estações de tratamento de água e esgoto por processos mecânicos podem gerar lodos com teores de sólidos de 20% a 30%, podendo estes variar de acordo com as características do lodo bem como da tecnologia de desidratação. Uma vez que os custos de transporte e disposição final têm aumentado de forma significativa para lodos produzidos em regiões metropolitanas, torna-se atrativo a sua redução mediante o aumento do teor de sólidos do lodo desidratado. Desta forma, este trabalho teve por objetivo avaliar o processo de pós-secagem de resíduos gerados em estações de tratamento de água (ETA) e esgoto (ETE) por processos naturais, tendo-se avaliado a influência das condições climáticas da cidade de São Paulo para diferentes estações do ano. O estudo foi realizado com dois tipos de leitos de secagem em escala piloto; leito coberto (LC) e leito aberto (LA), tendo os mesmos $1,80\text{m}^2$ de área e piso impermeabilizado. Os dados hidrometeorológicos foram obtidos mediante a operação de uma estação hidrometeorológica portátil que forneceu dados de temperatura do ar e do lodo, umidade relativa do ar, radiação solar global, velocidade do vento e precipitação. O lodo gerado nas estações de tratamento foram dispostos nos leitos de secagem em leiras com 30cm de altura, sendo revolvidos e realizadas análises de teor de sólidos do lodo três vezes por semana, o período de secagem de cada ciclo foi de 30 dias. Os teores de sólidos dos lodos obtidos nos ensaios com pós-secagem natural apresentaram resultados distintos para diferentes períodos do ano; durante o período do verão foi obtido lodo com teor de sólido final de 58% médio, enquanto, no período de inverno foi obtido lodo com teor de sólido final de 18% médio. Foi utilizado um modelo matemático para o processo de secagem do lodo utilizando os dados meteorológicos medidos, uma equação do balanço de calor foi aplicada para o volume de controle do leito de secagem do lodo considerando a transferência de calor por radiação, convecção, e evaporação.

Palavras-chave: Secagem de lodo, leitos de secagem, gerenciamento de resíduos, tratamento de resíduos sólidos, modelos matemáticos.

ABSTRACT

The mechanical drying process of residuals produced in water and wastewater treatment plants can generate sludge with solids content of 20% to 30%. These values may vary according to the characteristics of the sludge and dehydration technology. The costs of sludge produced in metropolitan areas have increased significantly due to transportation and final disposal. Hence, it is to, becoming attractive to reduce the residue volume by increasing the solids content of the dewatered sludge. This study aimed to evaluate the process of post drying of residues generated in water wastewater treatment plants (WTP and WWTP) by natural processes, evaluating the influence seasonal variation of the weather in the São Paulo city. The study was conducted with two drying beds on a pilot scale; one being a cover unit (CU) and the other an uncover unit (UU). Both units have the same area of 1.80m² and waterproof floor. The hydrometeorological data were obtained through the operation of a weather station installed close to the units that supplied data for temperature of the air and sludge, relative humidity, solar radiation, wind speed and precipitation. The sludge source in the treatment stations are arranged in the drying beds to ridges with 30cm height, the sludge was mixed and analyzed of solid content three times a week, the drying time of each cycle was 30 days. The solid content of the sludge obtained in tests with post drying by natural processes showed different results for different seasonal of the year and during the summer period was obtained sludge with solid content finale average of 58%, while in the winter was obtained sludge with solid content finale average of 18%. A mathematical model is developed for the process of drying of sludge, a heat-balance equation is applied for a control volume of sludge that takes into account the heat transfer by radiation, convection, and evaporation.

Key word: Drying of sludge, drying beds, management of residual, tratamento of solid residual, mathematical models.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	4
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
3.1. Caracterização do Lodo	5
3.2. Processamento de Lodo	6
3.2.1. Processos de Adensamento de Lodo	7
3.2.2. Processos de Desaguamento de Lodo	8
A) Centrifugação	8
B) Filtração Forçada	8
3.2.3. Processos de Secagem do Lodo	9
A) Leitos de Secagem	9
B) Leitos de Secagem a Vácuo	10
C) Lagoas de Lodo	10
3.2.4. Disposição Final do Lodo	11
3.3. Estudo de casos	12
3.3.1. Secagem de lodo da ETE – Franca em São Paulo	12
3.3.2. Secagem de lodo da ETE – Araçás em Espírito Santo	13
3.3.3. Secagem de lodo da ETE – Bursa na Turquia	15
3.3.4. Secagem de lodo da ETE – Xanthi na Grécia	15
3.3.5. Secagem de lodo da ETE de uma indústria farmacêutica em Terã	16
3.3.6. Secagem de lodo de ETE na Alemanha	17
3.3.7. Utilização da modelagem matemática na predição do TS do lodo	18
4. MATERIAIS E MÉTODOS	20
4.1. Generalidades	20
4.2. Descrição da Estação de Tratamento de Água – Taiapuêba	20
4.3. Descrição da Estação de Tratamento de Esgoto – Barueri.....	30
4.3. Experimento da Secagem do Lodo em Leitos	42
4.3.1 – Leitos de Secagem	42
4.3.2 – Aspectos Climáticos	43
4.3.3 – Período de Secagem do Lodo	44
4.3.4 – Metodologia de Secagem do Lodo	44

4.3.5 – Plano de amostragem do Lodo	46
4.3.6 – Análises de teor de sólidos	48
5. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	49
5.1. Generalidades	49
5.2. Ciclos de secagem	49
5.2.1. Primeiro ciclo de secagem	49
5.2.2. Segundo ciclo de secagem	55
5.2.3. Terceiro ciclo de secagem	60
5.2.4. Quarto ciclo de secagem	65
5.2.5. Quinto ciclo de secagem	70
5.2.6. Sexto ciclo de secagem	74
5.3 – Teores de sólidos no lodo desidratado	79
5.4 – Dados hidrometeorológicos	83
5.5 – Correlação da secagem do lodo com as condições climáticas	86
5.6 – Modelo matemático	89
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	109
7. APÊNDICE	112
8. BIBLIOGRAFIA	130