

Uma publicação da Cia.  
de Saneamento Básico  
do Estado de São Paulo  
// distribuição gratuita



sabesp

revista

DAE

#182

Ano LVIII

Janeiro 2010

ISSN 0101 - 6040

Carta

4112299/DR/SPM  
SABESP

CORREIOS



**ARTIGOS TÉCNICOS**

**Evasão de clientes**

**Pós-tratamento de lixiviado**

**Remoção de trihalometanos**

**Resíduos industriais de Teresina**

/// Reportagem

P&D no saneamento: necessidade contínua



# A ÁGUA É NOSSA RAZÃO DE SER.

O que a Sabesp e o Cesar Cielo têm em comum vai muito além da água. Os dois trabalham sem parar para conquistar seus objetivos e superar limites. Eles não medem esforços para serem os melhores no que fazem. Ótimo para você, que conta com a maior empresa de saneamento da América Latina e com o recordista mundial das duas provas mais rápidas da natação, 50 e 100 metros livre. **Cesar Cielo e Sabesp. Especialistas em água.**





**sabesp**

Cia de Saneamento Básico  
do Estado de São Paulo  
<http://www.sabesp.com.br>

ISSN 0101-6040

**EDIÇÃO**  
**ANO LVIII nº 182**  
**Janeiro de 2010**

**Missão:** A Revista DAE tem por objetivo a publicação de artigos técnicos e científicos originais nas áreas de saneamento e do meio ambiente.

**Iniciou-se** com o título *Boletim da Repartição de Águas e Esgotos (RAE)* em 1936, prosseguindo assim até 1952, com interrupções em 1944 e 1945. Não circulou em 1953. Passou a denominar-se *Boletim do Departamento de Águas e Esgotos (DAE)* em 1954. Passou a denominar-se *Revista do Departamento de Águas e Esgotos* de 1955 a 1959. De 1959 a 1971, passou a denominar-se *Revista D.A.E.* e, a partir de 1972, *Revista DAE*. Interrupção de 1993 a 2007.

#### Publicação

Superintendência de Comunicação  
Rua Costa Carvalho, 300 - Pinheiros  
05429 000 - São Paulo - SP - Brasil  
Tel (11) 3388 8276 / Fax (11) 3814 5716

#### Editor Chefe

Engenheiro Américo de Oliveira Sampaio

#### Assistente Editorial

Engenheira Iara Regina Soares Chao

#### Conselho Editorial

Prof. Pedro Além Sobrinho (USP), Prof. Cleverson Vítório Andreoli (Cia. de Saneamento do Paraná – Sanepar), Prof. José Roberto Campos (USP), Prof. Dib Gebara (Unesp), Prof. Eduardo Pacheco Jordão (Universidade Federal do Rio de Janeiro), Prof. Rafael Kospchitz Xavier Bastos (Universidade Federal de Viçosa), Prof. Wanderley S. Paganini (USP e representante da Sabesp), Profª Emília Wanda Rutkowski (Unicamp), Prof. Marcos Tadeu (USP e representante do Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT). Coordenação de Américo Sampaio (Sabesp).

#### Jornalista Responsável

Luiz Amando de Barros  
Mtb: 11.373

#### Publicação

Departamento de Comunicação Interna, Identidade Corporativa e Polos Regionais

#### Fotos

Odair Alves Faria

#### Gráfica

Atrativa

#### Tiragem

4,5 mil exemplares

[imprensa@revistadae.com.br](mailto:imprensa@revistadae.com.br)

## Sumário

● Editorial.....2

### ◆ ARTIGOS TÉCNICOS

● Avaliação do processo oxidativo avançado do tipo UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> como opção de pós-tratamento de lixiviado.....3

ASSESSMENT OF THE HOMOGENEOUS ADVANCED OXIDATION PROCESS (UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) WITH RECIRCULATION AS POST-TREATMENT FOR LEACHATE

● Estimativa do limiar de evasão de clientes da Sabesp.....12

ESTIMATION OF THRESHOLD OF SABESP'S ESCAPING CLIENTS

● Remoção de trihalometanos (THM) em águas de abastecimento por tratamento convencional e adsorção em carvão ativado em pó (CAP).....19

TRIHALOMETHANES (THM) REMOTION IN TREATED WATER USING CONVENTIONAL TREATMENT AND POWDERED ACTIVATED CARBON (PAC)

● Resíduos sólidos industriais da cidade de Teresina.....26

INDUSTRIAL SOLID WASTE OF THE CITY OF TERESINA

### ◆ REPORTAGEM

● P&D: Necessidade contínua no saneamento.....35

### ◆ NOTAS

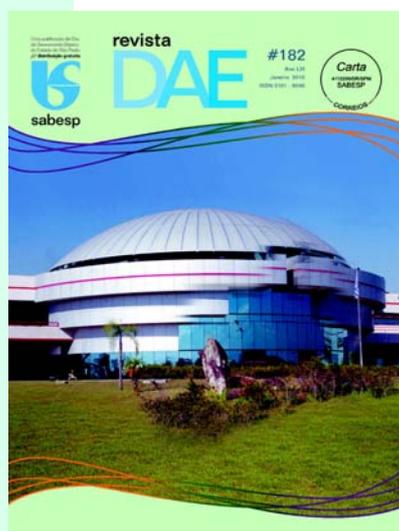
● Em marcha, o etanol das algas.....40

● Sucção e filtragem eliminam vapor de combustíveis do solo.....40

● Documento traz impacto da pecuária no meio ambiente.....41

◆ PUBLICAÇÕES.....41

◆ CALENDÁRIO DE EVENTOS.....43



**CAPA** Centro de Pesquisas de Recursos Hídricos, Parque Tecnológico Riugi Jojima, São José dos Campos, SP. O centro é fruto de um convênio entre a Sabesp e entidades como Fapesp, Unifesp, ITA, USP e IPT, onde será possível monitorar sistemas, criar conhecimento e formar mão-de-obra.

# Pesquisa & Desenvolvimento um tema em debate



**A** primeira edição da Revista DAE de 2010 – que começa desejando a todos os leitores um excelente ano novo, repleto de realizações e conquistas – traz uma reportagem sobre o quanto o setor de saneamento básico e ambiental ainda necessita de constantes e permanentes investimentos em Pesquisa & Desenvolvimento.

Nesse cenário causa – no mínimo – estranheza a desconfiguração (ou seria até mesmo extinção) do Prosab (Programa de Pesquisas em Saneamento Básico), que chegou a ser considerado pela comunidade científica do setor como um dos mais consistentes programas de apoio induzido à pesquisa e desenvolvimento na área, mas que há quase um ano simplesmente não efetiva nenhuma ação.

Nas páginas dessa edição, nossos articulistas trazem artigos que demonstram muito do avanço tecnológico que o setor tem desenvolvido, como no artigo “Avaliação do processo oxidativo avançado do tipo UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> como opção de pós-tratamento de lixiviado e Remoção de trihalometanos (THM) em águas de abastecimento por tratamento convencional e adsorção em carvão ativado em pó (CAP)”.

O artigo “Estimativa do limiar de evasão de clientes da Sabesp” constitui uma interessante análise sobre posicionamento e necessidades dos mais diversos tipos de clientes, frente à relação tarifária – uma discussão que também somente está começando, mas que chama, a cada dia, mais a atenção dos que atuam neste mercado e aponta alternativas de enfrentamento do problema de fuga de clientes.

Vale o destaque que esta edição sai logo após a 15ª Conferência do Clima, em Copenhague, marcada por manifestações e contradições, mas que propõe que os líderes mundiais assumam compromisso para manter a viabilidade da (qualidade de) vida em todo o planeta. Nos boletins eletrônicos da Revista DAE enviados durante o mês de dezembro (e que ainda podem ser acessados no sítio [www.revistadae.com.br](http://www.revistadae.com.br)), o leitor pôde acompanhar o desenrolar das negociações, os posicionamentos e os comentários de diversos especialistas. Nossa intenção, como sempre, é a de ofertar informação e formação de opinião, de forma a colaborar para a geração do conhecimento e de ações que, de forma sustentável, proporcionem cada vez mais o aprimoramento da sociedade.

Boa leitura.

# Avaliação do processo oxidativo avançado do tipo UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> como opção de pós-tratamento de lixiviado

ASSESSMENT OF THE HOMOGENEOUS ADVANCED OXIDATION PROCESS (UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)

WITH RECIRCULATION AS POST-TREATMENT FOR LEACHATE

Elisângela Maria Rodrigues Rocha<sup>(1)</sup>

André Bezerra dos Santos<sup>(2)</sup>

Francisco Suetônio B. Mota<sup>(3)</sup>

Jefferson Pereira Ribeiro<sup>(4)</sup>

Neyliane Costa de Souza<sup>(5)</sup>

Ronaldo Ferreira do Nascimento<sup>(6)</sup>

<sup>(1)</sup>Engenheira Sanitarista pela UFPA. Mestre em Engenharia Civil – Área Geotecnia Ambiental – Resíduos Sólidos pela UFPE. Doutoranda em Engenharia Civil – Área Saneamento Ambiental da UFC

<sup>(2)</sup>PhD em Saneamento Ambiental pela Universidade de Wageningen, Holanda. Professor Adjunto II do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da UFC

<sup>(3)</sup>Doutor em Saúde Ambiental pela Universidade de São Paulo. Professor Titular do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará. Membro da Academia Cearense de Ciências

<sup>(4)</sup>Químico Industrial. Mestrando em Saneamento Ambiental no Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará

<sup>(5)</sup>Química industrial pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Mestre em Saneamento Ambiental pela UFC. Doutoranda em Saneamento Ambiental na UFC

<sup>(6)</sup>Doutor em Química Analítica pelo Instituto de Química de São Carlos. Professor Associado II do Departamento de Química da Universidade Federal do Ceará

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Campus do Pici, bloco 713. Pici. Fortaleza, Ceará, Brasil. CEP: 60451-970 - Tel: +55 (85) 3366-9490 - e-mail: andre23@ufc.br.

Entrada: 15/6/2009 Aprovação: 16/10/2009

*dia aos limites padrão fixada na Portaria nº 154/02 da SEMACE. Nos experimentos com o POA foi possível verificar que o fotorreator A, sem agitação mecânica, apresentou resultados de remoção de DQO de 86,6% em 300 minutos. Contudo, a baixa radiação foi limitante em termos de remoção de turbidez. O fotorreator B, independente da vazão de recirculação testada, apresentou excelentes remoções de turbidez e DQO, se constituindo como uma promissora alternativa de pós-tratamento.*

**Palavras-chave:** lixiviado; padrões ambientais; pós-tratamento; POA.

## ABSTRACT

*This research aimed to characterize the leachate produced on the landfill ASMOC (Aterro Sanitário Metropolitano Oeste de Caucaia) and study the homogeneous advanced oxidation process (AOP) UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> with recirculation as a post-treatment option. The physical-chemical characterization showed that most of the parameters analyzed did not accomplish the limits of the Legislation nº 154/02 from SEMACE. For the experiments with AOP, the photoreactor A presented 86.6% COD removals for 300 minutes irradiation. However, the low UV intensity interfered on turbidity. The photoreactor B, independent of the flow tested, presented excellent turbidity and COD removals, showing as promising post-treatment option.*

**Keywords:** leachate, environmental standards; post-treatment, AOP.

## RESUMO

*O objetivo deste trabalho foi caracterizar o efluente final do sistema de tratamento do Aterro Sanitário Metropolitano Oeste de Caucaia (ASMOC), e estudar o processo oxidativo avançado (POA) do tipo catálise homogênea (UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) com recirculação como opção para seu pós-tratamento. A caracterização físico-química do lixiviado mostrou que a grande maioria das variáveis analisadas não aten-*

## 1. INTRODUÇÃO

Uma etapa imprescindível para seleção de uma tecnologia adequada para o tratamento ou pós-tratamento de efluentes consiste na caracterização e monitoramento qualitativo e quantitativo, principalmente por análises físico-químicas e toxicológicas. Essa caracterização torna-se ainda mais importante quando o efluente em questão possui composição diferenciada, como o lixiviado.

A composição química do lixiviado é variável e complexa, dependendo diretamente do tipo e características do resíduo que é descartado, já tendo sido comprovada a presença de sais (cloretos), compostos orgânicos biodegradáveis, compostos orgânicos refratários (fenóis, éster ftalato, bisfenol A, tolueno, benzeno), metais pesados, amônia, xenobióticos, fármacos, hormônios, etc. (NAGAMORI et al., 2005; WISZNIOWSKI et al., 2006).

O tratamento de lixiviado por meio de lagoas de estabilização é bastante utilizado, principalmente devido aos baixos custos, simplicidade de operação, em que não se exige mão de obra especializada, e a boa eficiência na remoção de matéria orgânica. Entretanto, essa eficiência dependerá de outros fatores como: clima, temperatura, regime hidráulico (fluxo pistão, mistura completa ou fluxo disperso), taxa de aplicação, condições operacionais, entre outros. Como principais desvantagens desse tipo de tecnologia, podem ser listadas a elevada demanda de área e o fato de que nem sempre os padrões de lançamento são atendidos.

No Brasil, os padrões de lançamento de efluentes são definidos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama), conforme as especificações das resoluções 357/2005 e 397/08. No Estado do Ceará, o órgão ambiental competente é a Superintendência Estadual do Meio Ambiente do Ceará (Semace), a qual estabeleceu com a criação da Portaria 154/2002, os padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras, como os provenientes de aterros sanitários.

A sociedade científica, em nível mundial, tem buscado alternativas de tratamento ou pós-tratamento de matrizes complexas como o lixiviado, usando processos físico-químicos convencionais, processos oxidativos avançados (POA), sistemas biológicos, entre outros.

Os POAs consistem na geração e uso de espécies transitórias, especialmente o radical hidroxila (\*OH), que é altamente oxidante, e pode ser formado por meios fotoquímicos ou outras formas de energia. Geral-

mente, a fotólise do peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) é realizada sob radiação ultravioleta, quase sempre utilizando lâmpadas de vapor de mercúrio de baixa e média pressão, com emissão máxima em comprimento de onda de 254 nm (POLEZI; GUIMARÃES, 2003). Para esse tipo de tecnologia, os constituintes orgânicos (biodegradáveis e não biodegradáveis) podem ser completamente mineralizados, além de não serem convertidos em lodo, comparando-se com os processos biológicos.

Os objetivos deste trabalho foram: a) caracterizar o efluente final do sistema de tratamento do Aterro Sanitário Metropolitano Oeste de Caucaia (ASMOC); b) estudar o processo oxidativo avançado (POA) do tipo catálise homogênea (UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) com recirculação como opção para seu pós-tratamento.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1. Localização e Dados Meteorológicos

O Aterro Sanitário Metropolitano Oeste de Caucaia localiza-se na região metropolitana de Fortaleza (Figura 1). Na Tabela 1 estão apresentados os valores médios das variáveis meteorológicas utilizadas como base para a área do aterro ASMOC e que foram obtidas junto à Estação Meteorológica do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará no Campus do Pici: Latitude de 3°45' S, Longitude de 38°33' W e Altitude de 20 m (CARDOSO et al., 2005).

### 2.2. Amostragem

O sistema de tratamento de lixiviado empregado no aterro Sanitário Metropolitano Oeste (ASMOC) consiste de duas lagoas anaeróbias em série e uma lagoa facultativa, cujo efluente tratado é descartado no riacho Garoto. O vertedor de saída da lagoa facultativa foi o ponto de coleta do lixiviado para a caracterização e testes experimentais (Figura 2).

Tabela 1: Dados meteorológicos do período de coleta de 2007 a 2008.

Variáveis	Período de coletas								
	Jul/07	Ago/07	Set/07	Out/07	Nov/07	Jan/08	Fev/08	Mar/08	Jun/08
Temp. méd (°C)	26,9	26,8	27	27,2	21,8	27,0	27,8	26,6	26,6
Temp. máx (°C)	30,3	30,7	31	30,7	25	29,9	31,0	29,8	30,4
Evaporação acumulada (mm)	221,4	275,6	280,1	297,8	189,5	165,1	204,6	130,6	130,3
Precipitação acumulada (mm)	78,4	1	14	0,9	4,8	282,7	75,3	282,7	77,9
Velocidade média dos ventos (m/h)	12.600	13.320	14.400	15.120	15.480	10.440	10.800	5.040	10.400

Fonte: Estação Meteorológica do Campus Pici

Figura 1: Mapa satélite do Aterro Sanitário-ASMOC (Google Earth)

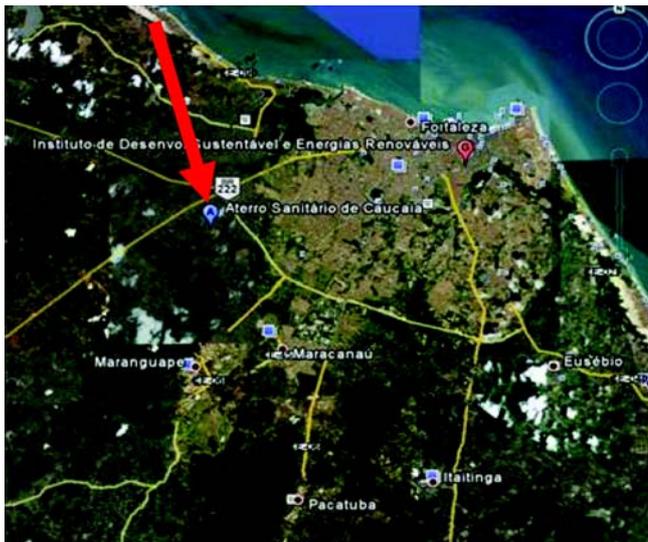


Figura 2: Coleta do lixiviado no vertedor da lagoa facultativa



Tabela 2: Variáveis físico-químicas e seus respectivos métodos de determinação.

Variáveis	Método (APHA,2005)
Alcalinidade Total	2320 B
Sólidos Totais, Suspensos e Dissolvidos	2540 B e E
DBO <sub>5</sub>	5210 B
DQO <sub>1</sub> ;DQO <sub>2</sub>	5220 D
Amônia	4500-NH <sub>3</sub> C
Nitrito	4500-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> B
Nitrato	4500-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> B
Ortofosfato	4500-P E
Sulfato	4500-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> E
Sulfeto	4500-S <sup>2-</sup> F
Cloretos	4500-Cl <sup>-</sup> B

### 2.3. Caracterização Físico-Química

As variáveis físico-químicas analisadas, tanto na caracterização do lixiviado proveniente do sistema de lagoas de estabilização do aterro sanitário ASMOC, quanto no monitoramento dos experimentos de pós-tratamento, seguiram a metodologia do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2005), conforme Tabela 2. Para medição de pH, utilizou-se pHmetro digital 902 – marca Analion; para condutividade elétrica, o condutivímetro C 702 – marca Alion; para determinação de oxigênio dissolvido e temperatura, o equipamento YSI 550 A. A determinação da turbidez, baseou-se no método nefelométrico, sendo utilizado um turbidímetro portátil - modelo 2100P, marca: Hach.

Para identificação dos metais presentes no lixiviado, a amostra, inicialmente, foi submetida à diluição (10x) em meio de ácido (1%v/v de HNO<sub>3</sub>) e depois a uma injeção direta em um Espectrômetro de Emissão Atômica (ICP-OES) (modelo Optima 4300 DV, Perkin Elmer) para detecção dos elementos N<sub>a</sub>, K, Ca, Mg, Sr, Ba, Fe, Al, Cd, Cr, Zn, Ni, Sn, Se, Co, Pb, Cu, B e Mn. A quantificação foi obtida por meio do método da curva de calibração. As condições instrumentais estão descritas na Tabela 3.

Tabela 3: Variáveis instrumentais para o ICP-OES

Variável	Valor
Potencia da fonte de radiofrequência	1100 W
Fluxo do nebulizador	0,8 L min <sup>-1</sup>
Fluxo do gás auxiliar	15 L min <sup>-1</sup>
Fluxo do gás do plasma	1,8 L min <sup>-1</sup>
Fluxo do gás da amostra	0,8 L min <sup>-1</sup>
Posição do detector	Radial
Número de réplicas	3

### 2.4. Estudo de pós-tratamento do lixiviado pelo Processo de Oxidação Avançada (POA) do tipo catálise homogênea por UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

Os primeiros ensaios com POA foram desenvolvidos no Laboratório de Análises Traços (LAT) do Departamento de Química – UFC, utilizando-se um fotorreator de 64 mL com uma lâmpada germicida de 8 W localizada no seu interior, o qual foi denominado de Fotorreator A (Figura 3).

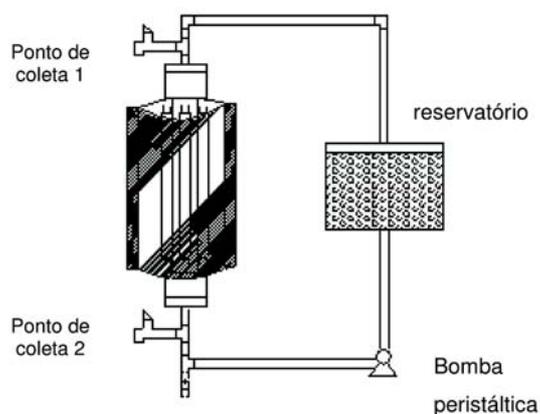
Figura 3: Fotorreator A.



No fotorreator A foram realizados dois ensaios em batelada com recirculação, com volume de recirculação de 800 mL de lixiviado e tempo total de reação de 5 horas. O primeiro ensaio foi feito sem agitação mecânica ( $AM_{Sagit}$ ) e o segundo com agitação mecânica ( $AM_{Cagit}$ ), no intuito de avaliar a influência da agitação na interação do  $H_2O_2$  com a amostra.

Posteriormente, foi confeccionado um novo fotorreator, denominado Fotorreator B, geometria anular, composto por um tubo de quartzo central, volume útil de 453 mL, com 7 lâmpadas germicidas (UV) de 15 W da marca Phillips (Figura 4).

Figura 4: Representação gráfica do fotorreator B utilizado.



No fotorreator B são possíveis três diferentes configurações: a) batelada com recirculação; b) batelada sem recirculação e c) fluxo contínuo. Todos os ensaios foram realizados com a concentração de  $H_2O_2$  de 1% e pH 9 (natural da amostra), sendo determinadas as variáveis: Turbidez, DQO, pH e  $H_2O_2$  residual.

A determinação do  $H_2O_2$  foi feita pelo método de permanganometria, que se baseia na determinação do teor de peróxido de hidrogênio em amostras de água oxigenada ( $H_2O_2$  comercial). O método é fundamentado na condição que o  $H_2O_2$  comercial não é apenas formado pelas substâncias de  $H_2O_2$  contendo uma quantidade de água, proveniente do uso como solvente, mas também porque o próprio  $H_2O_2$  se decompõe espontaneamente no decorrer do tempo. O procedimento consiste na titulação, com uma solução de  $KMnO_4$  da amostra contendo  $H_2O_2$  em meio ácido. O fim da titulação ocorrerá no momento em que todo o peróxido de hidrogênio tiver reagido com o permanganato adicionado. Após agitação, se a amostra permanecer incolor significa que ainda há  $H_2O_2$  em excesso, sendo que, no final, quando já existir somente permanganato em excesso, a solução apresentará a coloração roxa. Com base no volume da amostra de água oxigenada, e nos volumes da solução padrão de  $KMnO_4$   $0,02 \text{ mol L}^{-1}$  gastos nas titulações, o teor de  $H_2O_2$  é expresso em percentagem (m/v).

Os testes de batelada com recirculação foram realizados com um volume de recirculação total de 1000 mL, tempo de reação de 300 minutos (5 horas) e, para 3 vazões distintas:  $Q_1$  = mínima (1000 mL/h),  $Q_2$  = média (1500 mL/h) e  $Q_3$  = máxima (3000 mL/h).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Fatores ambientais avaliados no sistema de lagoas de estabilização do aterro

Para um bom desempenho das lagoas facultativas, os ventos e a temperatura são fatores importantes, pois influenciam na mistura da lagoa. A temperatura média de  $27 \pm 0,4^\circ\text{C}$  favoreceu a atividade fotossintética da lagoa facultativa, pois, segundo UEHARA (1989), os melhores rendimentos das lagoas facultativas ocorrem nos dias ensolarados, céu sem nuvens, temperatura ambiente acima de  $20^\circ\text{C}$  e ventos moderados.

O aumento da velocidade dos ventos em Fortaleza (os quais podem chegar a 50 km/hora) foi um fator positivo durante o período de estiagem (julho a novembro), visto que minimizou a ocorrência de zonas estagnadas e auxiliou na distribuição vertical do oxigênio. Nos meses de janeiro a março, e também em junho, a velocidade média dos ventos diminuiu. Entretanto, as precipitações nesses meses foram maiores, o que favoreceu a homogeneização das lagoas (Tabela 1).

A evaporação é um outro fator natural que compromete diretamente a qualidade de qualquer tipo de amostra aquosa. No caso do lixiviado final, nos meses de julho a outubro (período de estiagem), a evaporação acumulada foi bem mais significativa. A partir de outubro/07, foi verificada uma redução nos valores de  $DBO_5$ , e a relação  $DBO_5/DQO$  atingiu valores abaixo de 0,3, o que indica as características recalitrantes do lixiviado estudado.

#### 3.2. Caracterização físico-química do lixiviado e avaliação do atendimento aos padrões ambientais

Na Tabela 4 são apresentados os valores das variáveis físico-químicas monitoradas. O meio alcalino na lagoa facultativa possivelmente foi mantido devido à intensa atividade fotossintética das algas, favorecida pelas ótimas condições climáticas da região. A elevação do pH em lagoas facultativas, para valores maiores que 8, em decorrência da atividade fotossintética das algas, tanto produz efeitos benéficos, como a precipitação de certos compostos como fosfato de cálcio e íons metálicos, quanto efeitos adversos, como a maior predominância do nitrogênio amoniacal na forma de  $NH_3$ , tóxico para alguns macro-invertebrados (peixes) e inibidor da fotossíntese e do crescimento de várias espécies de algas (UEHARA, 1989).

Em termos médios de DQO<sub>total</sub> e DBO<sub>5</sub>, o lixiviado efluente do sistema de tratamento atual foi, aproximadamente, 12 e 7 vezes, respectivamente, mais poluente em relação aos padrões ambientais. Os valores médios obtidos estão acima dos limites padrão estabelecidos pela Portaria nº 154/02 do órgão ambiental do Estado do Ceará, Semace, a qual define o valor de 200 mg/L para Demanda Química de Oxigênio (DQO) e 60 mg/L para Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO<sub>5</sub>). Isto caracteriza a importância do pós-tratamento para o referido efluente, antes do seu lançamento no corpo receptor.

A Portaria nº 154/02, da Semace, também estabelece limites padrão para os sólidos em suspensão totais, de 100 mg/L para os efluentes industriais e de 50 mg/L para os efluentes predominantemente domésticos. A mesma Portaria ainda estabelece o limite de 150 mg/L para efluentes provenientes de sistemas de lagoas de estabilização. Essa parcela de sólidos teve um percentual baixo em relação aos sólidos totais do lixiviado efluente, aproximadamente 2%. Contudo, mesmo com esse percentual baixíssimo verificou-se que em termos de valores médios, 213 mg/L, o lixiviado não atende aos limites padrão determinados para efluentes oriundos de sistemas de lagoas de estabilização (150 mg/L). Destaca-se que, tanto no lixiviado bruto quanto no tratado, os sólidos dissolvidos totais (SDT) corresponderam, aproximadamente, a 98% dos sólidos totais.

De acordo com a Resolução Conama nº 397/08, o padrão de nitrogênio amoniacal total para lançamento de efluentes é de 20 mg N/L. Entretanto, a Portaria nº 154/02 da Semace define 5 mg N/L. Esse valor da Semace é um limite estabelecido tanto para o lançamento de efluentes oriundos de sistema de tratamento particular, quanto para os efluentes de lagoas de estabilização. Contudo, é questionável esta diferença de limites entre as duas normas. Verificou-se que a média obtida para amônia, de 42 mg/L, foi superior aos limites padrão estabelecidos por ambas as normas, sendo mais crítica quando comparada com os padrões ambientais definidos pelo órgão ambiental estadual.

A Portaria nº 154/02 da Semace define de 500 mg/L e 1 mg/L como os valores máximos para sulfato e sulfeto, respectivamente, semelhantes aos valores estabelecidos na resolução Conama nº 397/08. O valor médio obtido para o sulfato encontra-se dentro dos limites padrão, porém, houve coletas em que a concentração foi bem superior ao limite. Ao analisar os valores médios obtidos para o sulfeto, de 232 mg/L, verificou-se que este valor esteve aproximadamente 200 vezes acima do limites padrão.

Resumindo, em termos de atendimento aos padrões estabelecidos em normas para que não se comprometa a qualidade do corpo receptor, constatou-se que apenas o pH, com 64%, os sólidos suspensos totais com

22% e o sulfato com 89%, foram as variáveis que estiveram, na maioria das coletas, dentro dos limites padrão (Figura 5).

A turbidez é uma variável que mede a dificuldade de um feixe de luz atravessar uma amostra. Ela não possui limite padrão definido, contudo, como foi estudada no presente trabalho, o valor médio do lixiviado efluente foi de 332 UNT.

Na Tabela 5 são apresentados os valores médios, mínimos e máximos dos metais que possuem limites especificados em norma. Foram realizadas três coletas no período da estiagem (outubro e novembro de 2007) e quatro coletas no período chuvoso (janeiro e março de 2008), totalizando sete coletas.

Dentre os principais metais pesados comumente estudados, o Cádmio (Cd) não se encontra listado na Tabela 5, devido aos valores obtidos terem ficado abaixo do limite de detecção da análise (<0,05 mg Cd/L). A Resolução Conama nº 397/08 e a Portaria nº 154/02

Figura 5: Percentual de atendimento aos limites padrão das normas para lançamento de efluentes e as respectivas variáveis.

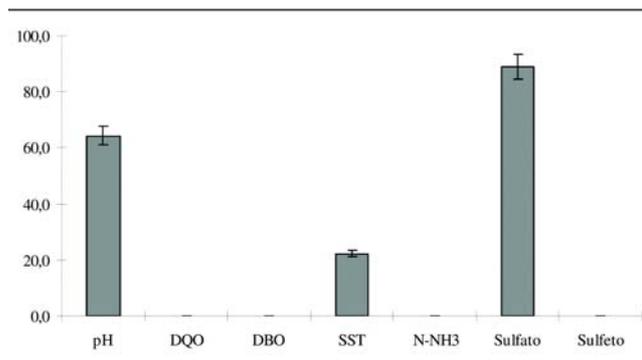


Tabela 4: Valores mínimos, médios e máximos das variáveis determinadas na caracterização do lixiviado efluente às lagoas de estabilização.

Parâmetro	Unidade	Lixiviado Efluente					
		nº	Mín	Máx.	Média	Desv.Pad	Limite SEMACE
pH	-	14	7	10	9	±0,6	9
DQO <sub>total</sub>	mg O <sub>2</sub> /L	14	670	9.327	2.431	±2352,5	200
DBO	mg O <sub>2</sub> /L	10	86	761	435	±239,3	60
DBO/DQO	mg/L	10	0	1	0	±0,3	-
Sódios Susp	mg/L	9	112	447	213	±103,6	150
Amônia	mgNH <sub>3</sub> /L	12	6	88	42	±29,9	5*
Sulfato	mgSO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> /L	9	23	1.418	284	±443,2	500
Sulfeto	mgS <sup>-2</sup> /L	5	133	411	232	±105,2	1

A resolução do Conama 397/08 define como limite padrão 20 mgN/L.

**Tabela 5: Concentrações de metais no lixiviado efluente ao sistema de tratamento do ASMOC**

Elemento (mg/L)	Lixiviado Efluente				Limite de descarte
	Média	Min.	Máx.	Desv.Pad	
Fe	1,20	0,20	2,60	0,80	15,00
Ba	0,70	0,30	1,40	0,40	5,00
Cr <sub>total</sub>	0,10	0,05	0,11	0,02	0,5 / 5,00***
Ni <sub>total</sub>	0,96	0,12	4,82	0,96	2,00
Sn <sub>total</sub>	1,40	0,16	3,98	1,50	4,00
Se <sub>total</sub>	5,50	0,37	11,97	4,00	0,30 / 0,05***
Pb	2,21	0,01	5,47	2,30	0,50
Cu	0,05	0,01	0,10	0,04	1,00
Zn	1,00	0,20	2,05	0,90	5,00
B	1,70	0,75	3,61	1,10	5,00
Mn	0,59	0,08	1,73	0,60	1,00

Desv.Pad = desvio padrão; \* CONAMA 397/08; \*\* CONAMA 357/05; \*\*\* SEMACE 154/02

da Semace estabelecem o limite máximo de 0,2 mg Cd /L, para lançamento de efluentes. Assim, com relação ao cádmio, o lixiviado, no período analisado, apresentou valores bem abaixo do que preconizam as normas ambientais.

Analisando-se os valores médios obtidos para metais que possuem padrões definidos, observa-se que o elemento selênio (Se) apresentou valores superiores aos máximos permissíveis para lançamento de efluentes diferenciados. Na Resolução nº 397/08 do Conama, o valor é 0,30 mg/L e na Portaria nº 154/02 da Semace o limite é mais restrito, de 0,05 mg/L. Assim, a média dos valores determinados para o selênio apresentou-se acima desses limites aproximadamente 18 vezes, em relação à Resolução nº 397/08 do Conama, e 110 vezes, quanto à Portaria nº 154/02 da Semace.

O valor máximo permitido para chumbo (Pb) é 0,50 mg/L, para lançamento de efluentes. Portanto, o teor de chumbo no lixiviado foi, em termos de valores médios, mais de 4 vezes superior ao referido valor padrão.

Em relação ao percentual de atendimento definido nas resoluções do Conam 397/08 e 357/05, bem como na Portaria nº 154/02 da Semace, verificou-se que a maioria dos teores dos elementos analisados no lixiviado atendeu aos limites estabelecidos, exceto o do selênio (Se), que não atendeu o limite de descarte em nenhuma das análises. Os níveis dos metais níquel (Ni) e manganês (Mn), apesar de, em termos médios, terem atendido aos limites de descarte, em algumas análises, principalmente no período de estiagem, ultrapassaram os limites.

### 3.3. Estudo de pós-tratamento do lixiviado pelo Processo de Oxidação Avançado: UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

#### 3.3.1. Estudos iniciais com o Fotorreator A

A eficiência dos ensaios foi avaliada em termos de DQO<sub>total</sub> e turbidez, conforme Tabela 6. O sistema sem agitação mecânica apresentou melhores resultados de eficiência em termos de DQO, sendo que a partir de 180 minutos não houve diferenças. Por sua vez, no sistema com agitação mecânica, ocorreram suaves de-

créscimos com o passar do tempo, sendo o melhor resultado alcançado com 60 minutos (75,89%). Provavelmente, o sistema de agitação contribuiu para a evaporação do H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> antes do processo de geração dos radicais hidroxila.

Em termos de turbidez, os resultados não foram tão satisfatórios. Esse fato possivelmente foi decorrente da baixa intensidade da lâmpada utilizada (8 W), aliada à presença de compostos que impediram a passagem da radiação UV na solução. Segundo BILOTTA (2006), a intensidade com que a radiação é assimilada dependerá, em grande parte, de certas características do meio, tais como: concentração de material particulado, espessura da camada líquida percorrida, temperatura e a própria eficiência de emissão da lâmpada.

SHU *et al.* (2006) avaliaram a influência da intensidade UV na remoção de DQO e cor de lixiviados e verificaram que a melhor eficiência do sistema UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> foi obtida quando aplicaram a capacidade máxima de 144 W de lâmpadas UV de baixa pressão. Nessa condição, provavelmente houve maior quantidade de formação de radicais hidroxila, visto que, em baixas intensidades, a forte carga e a coloração do lixiviado reduziram a eficiência do sistema. Esses fatores limitantes verificados por esses autores, provavelmente, também interferiram nos resultados finais do fotorreator A.

A Figura 6 apresenta as alíquotas coletadas a cada hora para análises de pH, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> residual, turbidez e DQO. Percebe-se visualmente que houve mudança gradativa na coloração do lixiviado, porém ainda há presença de compostos que contribuem para sua cor, mesmo após 300 minutos de operação do sistema.

#### 3.3.2. Estudos complementares com o Fotorreator B

O efeito da recirculação na remoção de poluentes ambientais baseia-se na condição que quanto mais vezes houver o contato da amostra com luz ultravioleta melhor a eficiência do sistema. Contudo, tal eficiência também depende da concentração de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> residual. KURNIAWAN *et al.* (2006) e SHU *et al.* (2006) afirmam que a radiação UV e H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> isoladamente não são tão eficientes, sendo necessária uma dosagem ótima tanto de radiação quanto de concentração de reagente.

No teste de batelada com recirculação, duas variáveis foram inicialmente avaliadas em relação à remoção de turbidez: tempo de reação e vazão de recirculação, ambos com intensidade de radiação de 105 W (capacidade máxima do sistema), tempo total de 300 minutos e 1% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

Os ensaios com as amostras AM\_1 e AM\_2 foram realizados com vazão de recirculação de 1500 mL/h, sendo que o ensaio AM\_1 foi até 180 minutos. Os ensaios com as amostras AM\_3, AM\_4 e AM\_5 foram

realizados com uma nova amostra de lixiviado, com as vazões de recirculação de 1000 mL/h, 1500 mL/h e 3000 mL/h, respectivamente.

As remoções de turbidez para as amostras de 1 a 5 são mostradas na Figura 7. Observou-se que, a partir de 120 minutos de reação, não há diferenças marcantes de remoção de turbidez. Para 120 minutos, os percentuais de remoção foram: 96% para AM\_1; 94% para AM\_2; 93% para AM\_3; 89% para AM\_4; e 92% para AM\_5.

Como as amostras AM\_3, AM\_4 e AM\_5 foram testadas para diferentes vazões de recirculação, pode-se concluir que, independente da vazão de recirculação, foi possível obter remoções em torno de 90% a partir de 120 minutos de ensaio.

O tempo de exposição da amostra à radiação UV foi determinado a partir da equação 1 (POLEZI E GUIMARÃES, 2003):

$$Tr = Trec/Q * (Vr/ V_{tot})$$

(equação 1)

Onde: Tr = tempo de exposição, Trec= tempo de recirculação (min), Q = vazão (L/min), Vr = o volume útil do reator (L) e Vtot = volume total da solução (L).

Assim, para o tempo de 120 minutos, o tempo de exposição de 1 litro de lixiviado a radiação UV, para as vazões testadas de 1000 mL/h, 1500 mL/h e 3000 mL/h foram, respectivamente, 54,36, 36,24 e 18,12 minutos.

Na Tabela 7 são mostrados os resultados de DQO<sub>medida</sub>, DQO<sub>estimada</sub>, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> e suas respectivas eficiências de remoção durante 300 minutos de ensaio, para as três diferentes vazões de recirculação estudadas.

O H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> residual interfere na análise de DQO, pois o

mesmo reage e consome dicromato de potássio, sendo assim, para eliminar essa interferência adotou-se a equação 2, encontrada por KANG et al. (1999):

$$DQO \text{ (mg/L)} = DQO_m - f [H_2O_2]$$

(equação 2)

Onde: f = 0,4706 - 4,06 x 10<sup>-5</sup>[H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>] e DQO<sub>m</sub> = DQO medida no teste.

KANG et al. (1999) adotaram uma DQO estimada para o H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> presente na amostra com base em estudos com esgoto sintético contendo H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, nos quais observaram, por regressão linear, uma boa correlação (R<sup>2</sup> = 0,9997).

Neste trabalho considerou-se a equação 1 e a correlação linear observada mesmo em altas concentrações de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, para se estimar os valores de DQO nas concentrações residuais de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (Tabela 7).

De acordo com os resultados, observou-se que, nos 30 minutos iniciais, a vazão de 1.500 mL/h apresentou uma remoção aproximada de 90%, o que foi bem diferente para as outras duas vazões testadas de 1.000 e 3.000 mL/h. Comparando as três vazões testadas, na menor vazão, remoções de DQO superiores a 90% só foram obtidas a partir de 180 minutos, enquanto que na vazão de 1.500 mL/h tal eficiência era alcançada em 60 minutos de radiação.

Todavia, os testes nas vazões de 1.000 e 3.000 mL/h apresentaram problemas operacionais, como aquecimento do fotorreator e da bomba pneumática, os quais foram menos intensos para a vazão de 1.500 mL/h, sendo esta escolhida para os próximos testes de concentração de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> e intensidade de radiação UV.

A mudança da coloração do lixiviado foi facilmente perceptível a olho nu.

Não foi possível analisar a cor, sendo observada visualmente a eliminação da coloração do lixiviado a partir de 120 minutos de reação, onde se constatou um lixiviado completamente incolor, conforme Figura 8.

POLEZI e GUIMA-

Tabela 6: Eficiências do fotorreator A com (AM\_Cagit) e sem agitação mecânica (AM\_Sagit)

Tempo de radiação (minutos)	% de Remoção de DQO		% de Remoção de Turbidez	
	AM_Sagit	AM_Cagit	AM_Sagit	AM_Cagit
60	71,63	75,89	(-9,32)	7,06
120	78,29	67,58	(-9,04)	7,91
180	86,16	66,95	6,78	14,41
240	87,57	69,37	7,91	14,69
300	86,59	66,45	9,04	19,49

Tabela 7: Eficiência de remoção de DQO total para as três vazões de recirculação testadas.

Tempo (min)	1.000 mL/h			1.500 mL/h			3.000 mL/h		
	DQO <sub>estimada</sub>			DQO <sub>estimada</sub>			DQO <sub>estimada</sub>		
	DQO <sub>medi</sub> (mg/L)	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (mg/L)	%remoção	DQO <sub>medida</sub> (mg/L)	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (mg/L)	%remoção	DQO <sub>medida</sub> (mg/L)	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (mg/L)	%remoção
0	3177	4503	-	3177	4503	-	3177	4503	-
30	6836	1325	28,3	2062	1266	89,6	7289	1364	22,9
60	1622	670	87,6	1206	712	93,6	1759	965	89,7
120	1780	429	82,4	968	493	93,8	788	493	96,2
180	611	429	97,6	709	363	95,5	639	363	96,4
240	418	397	99,7	636	295	95,6	402	363	99,5
300	415	397	99,8	529	225	96,0	352	295	99,3

RÃES (2003) estudaram a aplicação do processo oxidativo avançado (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV) no efluente doméstico da ETE Jesus Neto, para fins de reúso, e obtiveram uma eficiência de DQO entre 50 e 60% em um experimento com 4 horas de recirculação e concentrações de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> de 40 e 20 mg/L.

O efluente deste trabalho (lixiviado) possui características bem diferentes de um efluente doméstico, como elevada concentração de compostos orgânicos recalcitrantes, elevados valores de pH e turbidez. Contudo, quando comparado à POLEZI e GUIMARÃES (2003), a eficiência de remoção de DQO da presente investigação, no tempo de 4 horas (240 minutos), foi superior a 90%, independente da vazão testada. Provavelmente fatores como: intensidade de radiação, concentração de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, tempo de exposição e volume de solução, contribuíram para obtenção desses bons resultados.

O processo oxidativo é dependente do pH, pois em meio alcalino ocorre a dissociação do H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, o que favorece a formação íon HO<sub>2</sub><sup>-</sup>, que apresenta maior absorvidade molar. Entretanto, a elevação excessiva do pH afeta negativamente o processo, devido ao seqüestro de radicais hidroxila por íons carbonato e bicarbonato (MELO et al., 2009). Essa dependência do pH foi verificada nos estudos com os fotorreatores A e B. O pH do lixiviado inicial dos ensaios foi 9 ± 0,3, sendo que os valores de pH das amostras dos fotorreatores A e B se mantiveram próximas de 8 ± 0,5 e 7 ± 0,2, respectivamente.

Nesta etapa inicial a DQO e a turbidez, foram utilizadas como variáveis representativas da matéria orgânica recalcitrante e dos compostos orgânicos e inorgânicos que impedem a passagem de luz e, conseqüentemente, reduzem a eficiência do POA. Contudo, outras variáveis como: alcalinidade, condutividade, absorvância a 254nm, concentração de íons no efluente final, identificação de compostos por cromatografia gasosa e espectrometria de massa serão monitoradas nos estudos futuros, após a avaliação do efeito do pH, concentração de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> e intensidade de radiação.

### CONCLUSÕES

Com base nos resultados da pesquisa, pode-se concluir que:

- O sistema de lagoas de estabilização do ASMOC não se mostrou capaz de produzir um efluente que atendesse aos padrões ambientais, estadual e federal, necessitando da adição de um pós-tratamento.

- O fotorreator A foi capaz de remover 86,6% de DQO no sistema sem agitação mecânica e 300 minutos, contudo, a baixa intensidade de radiação UV interferiu nos resultados finais de turbidez e na decoloração do lixiviado.

Figura 6: Amostras do ensaio do Fotorreator A

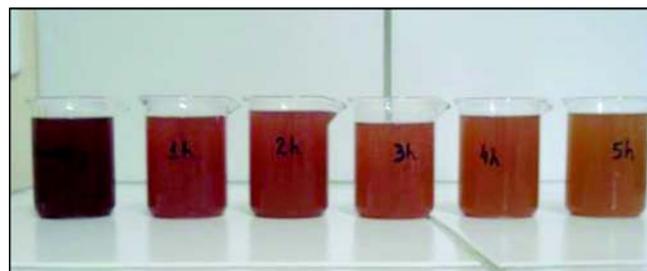


Figura 7: Remoção da Turbidez durante 300 minutos de ensaio.

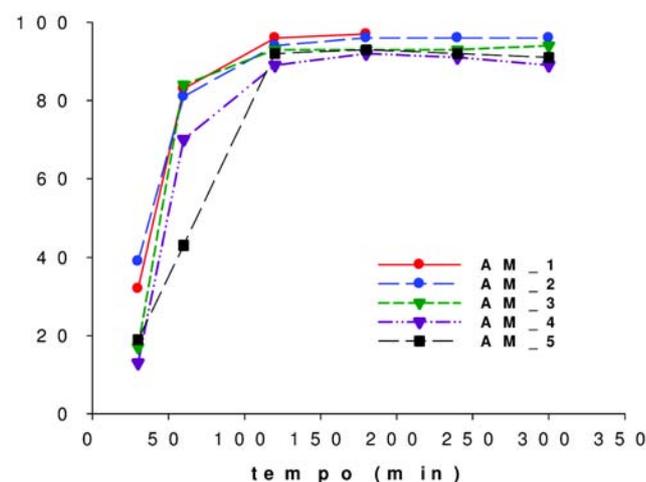


Figura 8: Amostras de lixiviado coletadas nos tempos de recirculação de 30, 60, 120, 180 e 240 minutos.



● No fotorreator B os resultados foram bem melhores, visto que a intensidade das lâmpadas foi aumentada aproximadamente em 13 vezes. Assim, o fotorreator B será o sistema adotado para os próximos testes, operado com a vazão de 1500 mL/h.

● O processo de oxidação avançada mostrou-se eficiente na descoloração e degradação de efluente colorido como o lixiviado. A partir de 120 minutos, a amostra analisada apresentou-se visualmente incolor e a DQO foi superior a 90% para vazão de 1500 mL/h.

● A boa remoção dos constituintes analisados (Turbidez e DQO) configurou o POA de catálise homogênea do tipo  $H_2O_2/UV$  em uma promissora alternativa de pós-tratamento para o lixiviado estudado.

### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Laboratório de Saneamento (Labosan), ao CNPq (Projeto 577000/2008-0) pelo apoio financeiro, assim como à FUNCAP pela concessão da bolsa de doutorado.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APHA – AWWA – WEF (2005). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21th edition. American Public Health association, American Water Works Association and Water Environment Federation.*

BILOTTA, P. *Inativação de indicadores patogênicos em sistemas combinados de tratamento e pré-desinfecção de esgotos sanitários.* 2006. 151 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

CARDOSO, G. B.; VIANA, T.V. de A.; AZEVEDO, B. M. de; SOUZA, V. F. de S.; SOUZA, F. *Determinação da ET de referência pela razão de Bowen com psicrômetros instalados a diferentes alturas.* Revista Ciência Agronômica, Vol. 36, N° 1, jan-abri, 2005: 16-23.p

KANG, Y. W.; CHO, M.; H, K. (1999). Correction of hydrogen peroxide interference on Standard Chemical Oxygen Demand Test. *Wat. Res.* Vol. 33, No. 5, 1247-1251 p.

KURNIAWAN, T. A.; LO, W.; CHAN, G. Y.S. (2006). *Radicals-catalyzed oxidation reactions for degradation of recalcitrant compounds from landfill leachate.* Chemical Engineering Journal, 125. 35-57p.

MELO, S. A. S.; TROVÓ, A. G.; BAUTITZ, I. R.; NOGUEIRA, R. F. P. *Degradação de fármacos residuais por processos oxidativos avançados.* Quim. Nova, Vol. 32, No. 1, 188-197, 2009.

NAGAMORI, M; NARUOKA, T; WATANABE, Y; KURATA, Y; ONO, Y. KAWAMURA, K. (2005) *Chemical characteristics of leachates in landfill sites of municipal solid wastes. Thenth International Waste Management and Landfill Symposium. Italy.*

POLEZI, M.; GUIMARÃES, J. R. (2003). *Aplicação*

*de processo oxidativo avançado (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV) no efluente da ETE Jesus Neto (Sabesp) para fins de reuso.* In: 22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 14 a 19 de Setembro 2003. Joinville-SC. CD rom.

SHU, H.; FAN, H.; CHANG, M.; HSIEH, W. (2006). *Treatment of MSW landfill leachate bu a thin gap annular UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> photoreactor with multi-UV lamps.* *Journal of Hazardous Materials*, B129. 73-79p.

UEHARA, M. Y. (1989). *Operação e manutenção de lagoas anaeróbias e facultativas.* São Paulo. Cetesb, 1989. 91 p. ISSN 0103-2623.

WISZNIOWSKI, J; ROBERT, D; SURMAEZ-GORSKA, J; MIKSCH, K; WEBER, J.V. (2006). *Landfill leachate treatment methods: A review.* *Environ. Chem Lett.* pg 51-61.

# Estimativa do limiar de evasão de clientes Sabesp

## ESTIMATION OF THRESHOLD OF SABESP'S ESCAPING CLIENTS

PhD Denisard Cneio de Oliveira Alves <sup>(1)</sup>

Me. Paula Carvalho Pereda <sup>(2)</sup>

Daniel da Silva Grimaldi <sup>(3)</sup>

Alexsandros Fraga <sup>(4)</sup>

<sup>(1)</sup> PhD Yale University, YU, Estados Unidos, professor titular de Econometria e Economia da Universidade de São Paulo, [dcoalves@usp.br](mailto:dcoalves@usp.br)

<sup>(2)</sup> Doutoranda em Teoria Econômica da Universidade de São Paulo, [pereda@usp.br](mailto:pereda@usp.br)

<sup>(3)</sup> Mestrando em Teoria Econômica da Universidade de São Paulo

<sup>(4)</sup> Mestrando em Teoria Econômica da Universidade de São Paulo

**Endereço:** Av. Professor Luciano Gualberto, 908 – FEA1, Sala C113 - Cidade Universitária, São Paulo, SP. CEP: 05508-010.

**Entrada:** 7/4/2009 **Aprovação:** 16/10/2009

### RESUMO

*O objetivo deste estudo é estimar o limiar do fornecimento de água que, dada a atual estrutura tarifária da Sabesp, leva os grandes clientes a buscarem fontes alternativas de fornecimento de água. Foram utilizados modelos de escolha binária para estimar a probabilidade de evasão destes clientes. A principal conclusão que pode ser tirada deste trabalho foi que os níveis de consumo em que a probabilidade chega próxima ao seu máximo, variaram entre 500m<sup>3</sup> e 1200m<sup>3</sup>, indo ao encontro de evidências encontradas pela Sabesp.*

### ABSTRACT

*This work was carried out to estimate the level of water consumption that, given the Sabesp current price structure, leads the clients to search for alternative water suppliers. Binary choice models were used to estimate the clients' probability to leave SABESP system. The main conclusion of this study was that the monthly water consumption level, whose clients' probabilities achieve the maximum, varies from 500m<sup>3</sup> to 1200m<sup>3</sup>.*

**Palavras-chave:** logit com efeitos fixos; modelos de probabilidade; fornecimento de água.

**Key words:** logit and fixed effects models; binary choice models; water supplying.

### 1. INTRODUÇÃO

O objetivo deste estudo é estimar o limiar do fornecimento de água que, dada a atual estrutura tarifária da Sabesp, leva os grandes clientes a buscarem fontes alternativas de fornecimento de água.

Foi identificada pela Sabesp a recorrência de seus maiores clientes na busca por novas fontes de fornecimento de água, sendo as principais fontes alternativas concorrentes: poços (semi) artesianos; contratação de caminhões-pipa; e transporte de água de municípios vizinhos.

As principais evidências de aumento da concorrência com a Sabesp, ou seja, do crescimento de mercado concorrencial para o fornecimento de água para grandes clientes, são: a perda efetiva de clientes da Sabesp nos últimos anos; e o aumento do número de outorgas concedidas pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) para fontes alternativas.

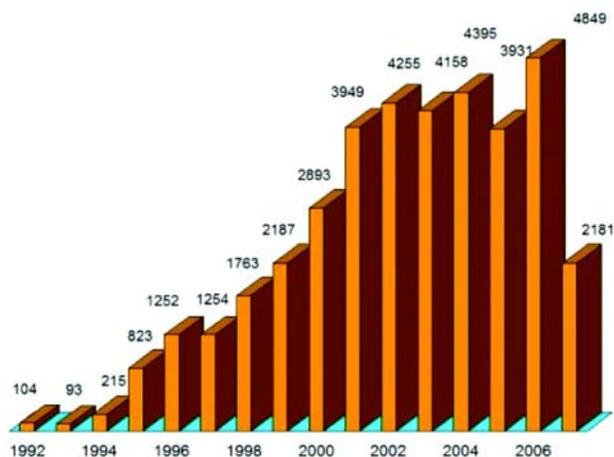
A Sabesp estima que, em decorrência da rigidez tarifária, tenha perdido mais de 100 grandes clientes<sup>1</sup>. Entre os principais clientes perdidos para empresas de soluções locais estão: Saint-Gobain, Volkswagen, Indústrias Anhembi, Shopping Iguatemi, D&D Shopping, Hospital Santa Paula, Hospital Nossa Sra. Da Penha, Liotécnica, Multex Brasil, Osram, Coopers Tools, Jolitec, Cardinal Health.

O Gráfico 1, extraído do site do DAEE<sup>2</sup>, apresenta o crescimento de outorgas expedidas pelo DAEE nos últimos anos até 31/05/2008, evidenciando a migração de clientes para soluções locais em detrimento da utilização da rede pública de abastecimento.

1 O impacto na receita anual da empresa é estimado em mais de R\$ 40 milhões.

2 <http://www.dae.sp.gov.br/cgi-bin/Carrega.exe?arq=/outorgafiscalizacao/outorga06.htm>. Consulta feita em 1/1/2008.

Gráfico 1: Outorgas expedidas pelo DAEE



Fonte: DAEE.

Acredita-se que os principais motivos que levam à evasão de clientes são o diferencial entre as tarifas da Sabesp e preço da água oferecido pelo mercado de fontes alternativas, a presença de condições necessárias para instalação de poços artesianos e a estrutura tarifária progressiva da Sabesp para o consumo de água.

Com base nas evidências apontadas, este estudo pretende estimar os limiares de consumo que fazem com que os clientes da Sabesp busquem outros tipos de fornecimento de água, que não pelo sistema Sabesp. Além desta breve introdução, este artigo está dividido em quatro seções. A segunda discute a base de dados utilizada e os principais critérios empreendidos na análise. A terceira seção revisa os modelos estimados e métodos de estimação para encontrar o nível de consumo em que os grandes clientes se tornam mais sensíveis a preço, seguida da seção com a apresentação dos resultados principais. A seção final contém as considerações finais mais importantes sobre o estudo.

## 2. Base de Dados

O trabalho se apóia em dados, oferecidos diretamente pela Sabesp, a respeito de seus clientes comerciais e industriais. A população de interesse do estudo é uma fração da população total de clientes industriais e comerciais da Sabesp.

Diante desse quadro, optou-se por contabilizar apenas a parcela da população que representava a população de interesse – os grandes clientes –, subdividindo-a em três tipos de clientes, de acordo com o volume de água mensal médio consumido:

- clientes de pequeno porte, cujo consumo médio mensal esteja acima de 50m<sup>3</sup>;
- clientes de médio porte, cujo consumo médio esteja acima de 300m<sup>3</sup>; e
- grandes clientes, cujo consumo médio esteja acima de 1000m<sup>3</sup>.

## 2.1 Organização da Base de Dados

Para cada um dos clientes foram fornecidas pela Sabesp as seguintes informações: registro da ligação de água (denominado RGI); códigos de localidade da ligação; tipo da ligação e de cobrança; endereço; status da ligação; ramo de atividade da empresa; quantidade de economias; consumo médio e faturado mensal dos últimos 61 meses; e status do consumo médio dos últimos 60 meses. O período total de referência da pesquisa, portanto, englobou 61 meses entre julho de 2003 e agosto de 2008.

O número do RGI serviu para definir unicamente cada cliente. O campo denominado *ramo*, que indicava o código do setor de atividade da ligação, foi utilizado para controlar efeitos específicos à atividade fim dos clientes, pois se espera que algumas atividades industriais induzam ao maior ou menor consumo de água.

## 2.2 Critérios para definição da Evasão dos Clientes Sabesp

Na sequência do estudo, pretendeu-se encontrar uma variável que captasse corretamente a evasão de grandes clientes do sistema Sabesp. Técnicos da Sabesp relatam que, na maior parte dos casos, somente por meio de inspeções de equipes de campo é possível identificar consumidores que se retiraram do sistema.

Primeiramente, optou-se por trabalhar sempre com as médias semestrais de consumo, ao invés do consumo mensal, e compará-las com a média de consumo do mesmo período no ano anterior, de maneira a evitar sazonalidades semestrais, como ocorre na indústria de bebidas, por exemplo.

Além disso, foi preciso determinar precisamente o ponto a partir do qual uma queda de consumo faturado deve ser classificada como “incomum”. Em trabalho anterior contratado pela Sabesp<sup>3</sup>, foram elaborados os critérios apresentados no Quadro 1 para classificar as tendências de consumo dos clientes.

Essa classificação, no entanto, se mostrou muito rígida ao definir que somente com consumo zero uma

Quadro 1 – Critério de classificação de cliente

Classificação	Comportamento do consumo
“Normais”	Apresentaram aumento ou redução de consumo a taxas inferiores a 40%
“Esfriados”	Apresentaram uma redução de consumo superior a 40%, mas consumo corrente é superior a zero
“Ex-clientes”	Apresentaram uma redução de consumo superior a 40% e consumo corrente é igual a zero
“Esporádicos”	Clientes não enquadrados em nenhuma das categorias acima

<sup>3</sup> “Perdas de Grandes Clientes” (Agosto de 2008), este trabalho utiliza ferramentas de datamining para definição de critérios.

ligação, ou RGI, poderia ser classificada como um “ex-cliente”. O mais comum entre os clientes que se retiraram do sistema Sabesp é uma queda drástica, mas ainda com a presença de um consumo residual não nulo.

Os clientes industriais e comerciais utilizam um grande volume de água que não requer alta qualidade, sendo essa parcela de consumo substituída. A água utilizada para fins mais nobres permanece sendo demandada junto à Sabesp. Assim, após opiniões de técnicos ligados à companhia, estabeleceu-se como critério para classificação de ex-cliente uma queda de consumo médio semestral igual ou superior a 90%. Tal queda de consumo pode ser fortemente explicada pela retirada do cliente do sistema Sabesp. O Quadro 2 resume os critérios utilizados neste estudo.

**Quadro 2 - Critério definido para o estudo**

Classificação	Comportamento do consumo
“Normais”	Apresentaram aumento ou redução de consumo a taxas inferiores a 40%
“Esfriados”	Apresentaram uma redução no consumo superior a 40%, mas inferior a 90%
“Ex-clientes”	Apresentaram uma redução no consumo superior a 90%
“Aquecidos”	Apresentaram aumento de consumo superior a 40%

### 3. METODOLOGIA

Para estimar o limiar do fornecimento de água que, dada a atual estrutura tarifária da Sabesp, leva os grandes clientes a buscarem fontes alternativas de fornecimento de água, ferramentas econométricas foram utilizadas.

A econometria é uma área da economia que se baseia no desenvolvimento de métodos estatísticos para estimar relações econômicas em uma população, em um país ou em empresas. Para estimar tais relações econômicas, utilizam-se dados observados (amostras) para inferir resultados sobre a população total, cuja totalidade de informações não é observada. Além de trabalhar com amostras, a econometria enfoca problemas inerentes à coleta e à análise de dados econômicos não experimentais (dados observados), devido à dificuldade de se observar dados experimentais em ciências humanas [Wooldridge, 2006].

A dependência entre as variáveis é medida por meio de uma função matemática que determina o tipo da relação entre as variáveis (linear, quadrática, exponencial, entre outras). Uma vez elaborado o modelo matemático das relações entre este mercado, a análise empírica, baseada na técnica econométrica, estima as relações econômicas com base em métodos estatísticos.

Dois métodos distintos foram utilizados para estimar o volume de fornecimento de água a partir do qual a probabilidade de evasão do cliente Sabesp au-

menta, sendo eles:

- 1) Modelo Probit com dados da comparação de 1 período;
- 2) Modelo Logit com efeitos fixos com dados da comparação de 7 períodos.

Ambos os modelos probit e logit são modelos de escolha binária, ou modelos de probabilidade. Segundo Wooldridge (2001), o princípio básico de modelos de probabilidade é o fato de a variável dependente assumir valor 1 para o caso de interesse, e 0 caso contrário. Em um modelo de regressão clássica, o interesse está no efeito marginal (que é o próprio coeficiente da regressão) de alguma variável  $x$  sobre a média condicional da variável dependente,  $y$ . Em modelos de probabilidade, ou modelos de escolha binária, o interesse se concentra em encontrar o efeito que uma variação em  $x$  provoca na probabilidade condicional de  $y|x^4$ . A seguir, ambos os métodos de estimação são apresentados em detalhes, com base em Wooldridge (2001) e Greene (2003).

#### 3.1 Modelo Probit

Uma vez detectada a evasão do cliente é possível estimar o volume de fornecimento de água a partir do qual a probabilidade de evasão do cliente Sabesp cresce. A amostra utilizada no modelo probit foi representativa para os municípios da Grande São Paulo atendidos pela Sabesp.

O modelo probit permite que se explique o efeito do volume de consumo e de outras variáveis intrínsecas dos clientes na probabilidade de os clientes deixarem o sistema de abastecimento da Sabesp e buscarem alternativas para o fornecimento de água. O volume de água consumido, dada a estrutura tarifária constante, ao longo dos cinco últimos anos, é a variável que permitirá ao cliente se ajustar no seu objetivo de minimizar custos. Assim, o volume médio faturado de água entrou na estimação no nível (em termos de  $m^3$ ) e ao quadrado, de maneira a captar a diferença de sensibilidade dos clientes à estrutura tarifária da Sabesp conforme aumenta o consumo médio dos mesmos.

A constatação de efeito estatisticamente significativo do nível de consumo na probabilidade de evasão do sistema pode ser evidência de elasticidade preço da demanda diferente entre os tipos de clientes da Sabesp (pequeno, médio, ou grande).

Para a construção do modelo, definiu-se:

$$Y = \begin{cases} 1, & \text{se o cliente saiu do sistema SABESP} \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$$

A variável  $Y$  assume o valor 1 com base nos critérios definidos na Seção 2.2 deste estudo. Assim, as variáveis de controle são: dummies para ramos de ati-

<sup>4</sup> Lê-se “y dado x”.

vidades<sup>5</sup>; volume de água faturado mensalmente na Sabesp; e volume ao quadrado de água faturado mensalmente na Sabesp. Tais variáveis representadas pela matriz X, com número de colunas igual ao total de variáveis (no de dummies + constante + variáveis de volume de água), com N linhas representando as N observações da amostra.

A partir da comparação entre o consumo mensal médio faturado do primeiro semestre de 2008 e do primeiro semestre de 2004, calculou-se a variável Y. A probabilidade de evasão é dada por  $P(Y=1)$ , que é uma curva na forma de S e expressa uma relação não linear entre Y e as variáveis indicadoras.

A relação funcional representando esta curva é a função Probit. A função Probit está relacionada à função de distribuição da normal padronizada [Wooldridge, 2006]<sup>6</sup>. O modelo estatístico expressa a probabilidade do Y ser igual a 1, ou seja, o cliente saiu do sistema Sabesp, é dado por:

$$p = P[Z \leq \Phi(\beta_1 + \beta_2 \text{setor} + \beta_3(m^3) + \beta_4(m^3)^2)]$$

em que os betas são os parâmetros a serem estimados usando-se as N observações da amostra.

É importante ressaltar que, nestes tipos de modelos, o vetor de parâmetros  $\beta$  não tem a interpretação usual dos modelos de regressão tradicionais, não representando diretamente os efeitos marginais das variáveis explicativas sobre Y.

### 3.1.1 Efeitos Marginais

O impacto da variação de uma unidade em qualquer das variáveis explicativas, no caso em estudo: ramo de atividade;  $m^3$ ; e  $(m^3)^2$ , sobre a probabilidade de o cliente sair do sistema Sabesp pode ser escrito da seguinte maneira:

$$\frac{\partial p}{\partial x} = \frac{\partial \Phi(t)}{\partial t} \frac{\partial t}{\partial x} = \phi(t) \beta_k, \text{ com } k = 2, 3, 4 \text{ e}$$

$$t = \beta_1 + \beta_2 \text{setor} + \beta_3 m^3 + \beta_4 (m^3)^2$$

Assim, para se obter a probabilidade marginal de uma variável – ou seja, o efeito de uma variação de uma variável explicativa na probabilidade de evasão – torna-se necessário avaliar a função densidade de probabilidade em algum ponto  $t$  estimado. Uma vez escolhidos os níveis das variáveis explicativas para  $t$ , multiplica-se a função densidade de probabilidade neste ponto pelo coeficiente estimado da variável (beta) que se deseja obter o efeito marginal.

No caso do volume de consumo em  $m^3$ , a presença do termo quadrático (não-linear) altera o cálculo do

efeito marginal do volume médio de consumo na probabilidade do cliente sair. Assim, tem-se:

$$\frac{\partial p}{\partial m^3} = \frac{\partial \Phi(t)}{\partial t} \frac{\partial t}{\partial m^3} = \phi(t) [\beta_3 + 2\beta_4 m^3],$$

$$\text{em que } t = \beta_1 + \beta_2 \text{setor} + \beta_3 m^3 + \beta_4 (m^3)^2$$

Uma vez obtidos os coeficientes estimados do probit, calcula-se os efeitos marginais com base em alguma unidade das variáveis explicativas. É comum que sejam escolhidas medidas de posição, como média e mediana, para descrever os resultados dos efeitos marginais.

### 3.2 Modelo Logit

O modelo logit, assim como o probit, é um modelo de probabilidade, ou escolha binária. Para definir qual dos modelos é o mais adequado, Greene (2003) afirma que as duas distribuições (Normal e Logística) são muito parecidas, exceto nas caudas, onde a distribuição logística apresenta-se mais densa. Entretanto, as duas distribuições tendem a gerar resultados semelhantes.

Ainda de acordo com Greene (2003), embora existam razões práticas para favorecer o uso de um modelo em detrimento de outro por conveniências matemáticas, é muito difícil encontrar justificativas fundamentadas teoricamente para esta escolha, pois ambos os modelos são substitutos. Entretanto, o modelo logit apresenta vantagens sobre o modelo probit quando se tem base de dados em painel e, assim, a presença de efeitos específicos, pois o primeiro não exige que sejam feitas hipóteses sobre a relação do efeito específico não observado e as variáveis independentes do modelo.

Antes de se entrar nos detalhes do modelo logit com efeitos fixos, para facilitar o entendimento do modelo, decidiu-se acrescentar uma introdução sobre o Método de Efeitos Fixos. Os textos a seguir foram escritos com base em Wooldridge (2001).

#### 3.2.1 Modelo de Efeitos Fixos

A utilização do Método de Efeitos Fixos, no caso deste estudo, deve-se à possibilidade de transformar a base de dados oferecida em um painel de dados<sup>7</sup>. Essa transformação oferece diversas vantagens na estimação, uma vez que elimina alguns problemas inerentes aos dados em cross-section e o problema da falta de controles na regressão que explica a evasão de clientes da Sabesp. Dados em painel requerem o emprego de modelos econométricos adequados. Um modelo básico de dados em painel pode ser representado por:

$$y_{it} = x'_{it} \beta + z'_i \alpha + \varepsilon_{it}$$

7 Dados em painel envolvem a dimensão de cross-section, neste caso os clientes da Sabesp, identificados pelos RGIs acompanhados ao longo do tempo, neste caso o consumo ao longo dos 61 meses de análise.

5 *Dummies* são variáveis binárias que têm valor unitário quando ocorre o comportamento que se pretende medir e valor nulo caso contrário.

6 Se Z for uma variável aleatória normal padronizada, a sua função densidade de probabilidade é dada por:

por:  $\phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-0.5z^2}$ . A função Probit é, então, dada por:  $\Phi(z) = P(Z \leq z) = \int_{-\infty}^z \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-0.5z^2} dz$ .

O termo  $x'_{it}$  possui  $K$  regressores (matriz de variáveis explicativas do modelo), incluindo o vetor de 1's (para a constante). Na equação acima, o efeito individual, ou heterogeneidade, é representado por  $z'_i \alpha_i$ , onde  $z_i$  contém um conjunto de variáveis específicas para cada cliente, que podem ser observados ou não, e se mantém constantes ao longo do tempo. O modelo a ser empregado depende do tipo de heterogeneidade assumida.

Se  $z_i$  é não observado, mas correlacionado com  $x_{it}$ , então o estimador de Mínimos Quadrados Ordinários<sup>8</sup> é viesado e inconsistente<sup>9</sup>, como consequência de uma variável relevante omitida. Neste caso, o modelo pode ser formulado por:

$$y_{it} = x'_{it} \beta + \alpha_i + \varepsilon_{it}$$

Nesta equação,  $\alpha_i = z'_i \alpha$  engloba os efeitos não observados, e constantes no tempo, que afetam  $y_{it}$ . Esta abordagem é chamada de efeito fixo exatamente por assumir que  $\alpha_i$  é um termo constante específico de cada indivíduo que não varia ao longo do tempo.

Para cada  $i$ , pode-se tirar a média da equação:

$$\bar{y}_{it} = x'_{it} \beta + \alpha_i + \bar{\varepsilon}_{it}$$

Como o termo  $\alpha_i$  é constante no tempo, ele aparecerá em ambas as equações. Subtraindo a equação de sua média, temos:

$$y_{it} - \bar{y}_i = (x_{it} - \bar{x}_i)' \beta + (\varepsilon_{it} - \bar{\varepsilon}_i) \text{ ou } \bar{y}_i = \bar{x}_i \beta + \bar{\varepsilon}_i$$

em que  $\bar{y}_i = y_{it} - \bar{y}_i$ ;  $\bar{x}_i = x_{it} - \bar{x}_i$  e  $\bar{\varepsilon}_i = \varepsilon_{it} - \bar{\varepsilon}_i$ .

É importante notar que o efeito individual,  $\alpha_i$ , desaparece, o que sugere que esta equação pode ser estimada por Mínimos Quadrados Ordinários. Os estimadores obtidos por este procedimento são chamados de estimadores de efeitos fixos ou estimadores *within*. O intuito da formulação por efeitos fixos é eliminar  $\alpha_i$ , ou seja, todos os efeitos não observados que são constantes no tempo<sup>10,11</sup>.

### 3.2.2 Modelo Logit com Efeitos Fixos

O modelo logit apresenta vantagens sobre o modelo probit quando há efeitos fixos, desta forma, utiliza-se tal modelagem na estimação do efeito do tamanho do cliente (volume) na probabilidade de sair do sistema de abastecimento da Sabesp. De acordo com Wooldridge (2002), o modelo pode ser definido por:

8 O Método dos Mínimos Quadrados Ordinários é um dos mais utilizados em análises multivariadas e consiste em uma técnica de otimização matemática que minimiza a soma dos quadrados das diferenças entre a curva ajustada e os dados.  
9 Um parâmetro estimado é considerado viesado quando, em média, não acerta o valor verdadeiro.

10 Não se podem incluir variáveis constantes no tempo na estimação de Efeitos Fixos, pois estas seriam perfeitamente colineares à variável  $\alpha_i$  (não atende a hipótese de multicolinearidade perfeita).

11 O modelo de EF perde  $N$  graus de liberdade para estimar, pois é preciso calcular as médias para cada observação no tempo, assim o total de graus de liberdade é  $N.T - N = N(T-1)$ .

$$P(y_{it} = 1 / x_{it}, \alpha_i, 0 \leq n_i \leq 7) = \Lambda(x_{it} \beta + \alpha_i)$$

$$P(y_{it} = 0 / x_{it}, \alpha_i, 0 \leq n_i \leq 7) = 1 - \Lambda(x_{it} \beta + \alpha_i)$$

em que  $\Lambda(\cdot)$  é a função logística,  $x_{it}$  é a matriz de controles,  $\beta$  é o vetor de coeficientes,  $\alpha_i$  o efeito não observado e  $n_i = \sum_{t=1}^T y_{it}$ .

Similarmente ao modelo probit, o volume médio faturado de água entrou nesta estimação no nível (em termos de  $m^3$ ) e ao quadrado, de maneira a captar a diferença de sensibilidade dos clientes à estrutura tarifária da Sabesp, conforme aumenta o consumo médio dos mesmos. Outros controles como: localização do RGI; ramo de atividade do cliente; entre outras características da ligação, tiveram seus impactos capturados pelo efeito específico não observado, o chamado 'efeito fixo'.

Para a construção deste modelo, definiu-se:

$$Y = \begin{cases} 1, & \text{se o cliente saiu do sistema SABESP} \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$$

A variável  $Y$  assume o valor 1 com base nos seguintes critérios estipulados na Seção 2.2. Os dados foram organizados em painel da seguinte maneira: definiu-se, em cada semestre, a variável dependente para o cliente, que mensurou a saída ou permanência do cliente na Sabesp; A variável de consumo médio (variável independente) considerada para cada período é igual ao consumo no semestre de comparação anterior, ou seja, se  $Y$  foi definido a partir da comparação do 1º semestre de 2005 com o 1º semestre de 2004, a média do consumo faturado utilizada como controle foi a do 1º semestre de 2004<sup>12</sup>.

O modelo logit com efeitos fixos depende da hipótese de exogeneidade estrita condicional a para a consistência de seus estimadores, logo:

$$P(y_{it} = 1 / x_{it}, \alpha_i) = P(y_{it} = 1 / x_{it}, \alpha_i) = \Lambda(x_{it} \beta + \alpha_i).$$

Neste modelo, o que se faz é encontrar a distribuição conjunta de  $y_i \equiv (y_{i1}, \dots, y_{iT})'$  condicional a  $x_i, \alpha_i, n_i$ . Esta distribuição condicional não dependerá de  $\alpha_i$ , sendo a distribuição de  $y_i \equiv (y_{i1}, \dots, y_{iT})'$  condicional a  $x_i, n_i$ <sup>13</sup>.

O método utilizado para estimar os coeficientes ( $\beta$ ) é o de Máxima Verossimilhança Condicional, que gera estimadores logit de efeitos fixos. A maneira de derivar os efeitos marginais é equivalente ao modelo probit, com exceção à suposição que deve ser feita para o efeito fixo.

No logit com efeitos fixos, para que se encontre o  $t$  estimado (combinação linear das variáveis explicativas + efeito fixo), que entra na função densidade de probabilidade para o cálculo dos efeitos marginais, deve-se supor algum valor para o efeito fixo ou considerá-lo zero. Esta segunda alternativa é mais prudente.

12 Para os valores extremos de  $n$ , 0 e 7, a distribuição condicional é dita não informativa para os parâmetros do modelo (betas), sendo estas observações excluídas da modelagem.

13  $P(y_{it} = y_{i1}, \dots, y_{iT} = y_{iT} | x_i, \alpha_i, n_i = n) = P(y_{it} = y_{i1}, \dots, y_{iT} = y_{iT} | x_i, \alpha_i) / P(n_i = n | x_i, \alpha_i)$

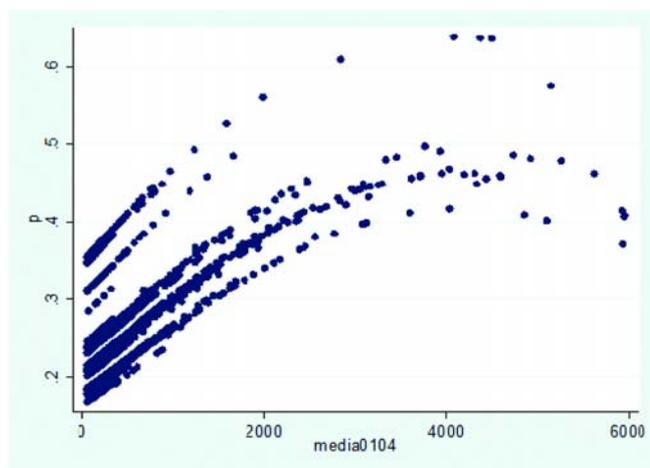
te de acordo com Wooldridge (2002) e menos arbitrária, logo foram considerados nulos os efeitos fixos.

## 4. RESULTADOS DAS ESTIMAÇÕES

### 4.1 Resultados do Probit

Como foi visto na seção anterior, as estimações do modelo probit utilizaram dados em *cross-section* das ligações (clientes) da Sabesp para a Grande São Paulo. A amostra consiste dos clientes cujo consumo faturado médio do 1º semestre de 2004 foi acima de 50m<sup>3</sup>14. O Gráfico 2 apresenta os resultados do modelo, sendo o consumo mensal médio inicial (*media0104*), ou seja, para o primeiro semestre de 2004, representado pelo eixo x e a probabilidade de evasão expressa no eixo y.

Gráfico 2: Probabilidade de evasão por nível de consumo



O Gráfico 2 indica que a probabilidade de evasão da Sabesp é crescente conforme aumenta o nível de consumo dos RGIs15; observou-se uma redução na probabilidade de evasão a partir do consumo médio 3000-4000m<sup>3</sup>, o que corrobora a importância do programa *Sabesp Soluções Ambientais*, que garante contratos com estrutura tarifária diferenciada para clientes cujo consumo seja igual ou superior a 3.000m<sup>3</sup>/mês.

As diferenças de patamar verificadas nos gráficos das probabilidades devem-se à inclusão de *dummies* para os ramos de atividade de cada cliente. As atividades dos clientes que apresentaram maiores probabilidade de evasão, em média, foram: construção civil; P&D; eletricidade e saneamento; extrativismo; telecom; e transporte. Em contrapartida, os setores de atividade com menores probabilidades médias de evasão foram: educação e saúde; atividades imobiliárias; financeiras; e petroquímica.

### 4.2 Resultados do Modelo Logit com Efeitos Fixos

Como foi visto na seção anterior, as estimações do modelo probit utilizaram dados em *cross-section* das ligações (clientes) da Sabesp para a Grande São Paulo. Foram estimados três modelos, utilizando os diversos

critérios de seleção de amostra (cortes no consumo médio)16. Os Gráficos 3 e 4 apresentam os resultados estimados, sendo o consumo mensal médio representado pelo eixo x e a probabilidade de evasão expressa no eixo y. A interpretação dos resultados está resumida na seqüência17.

Gráfico 3: Efeito marginal do consumo

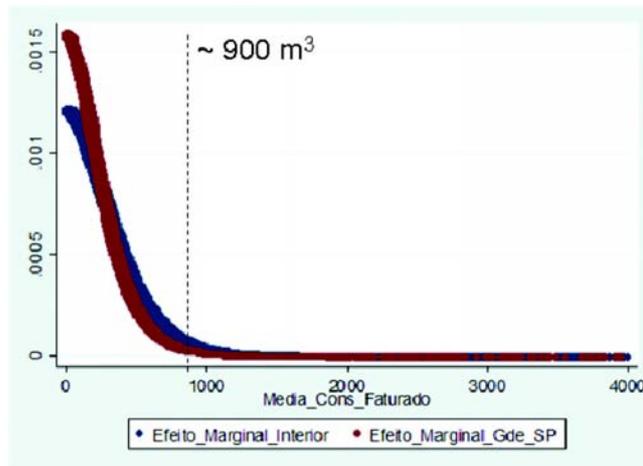
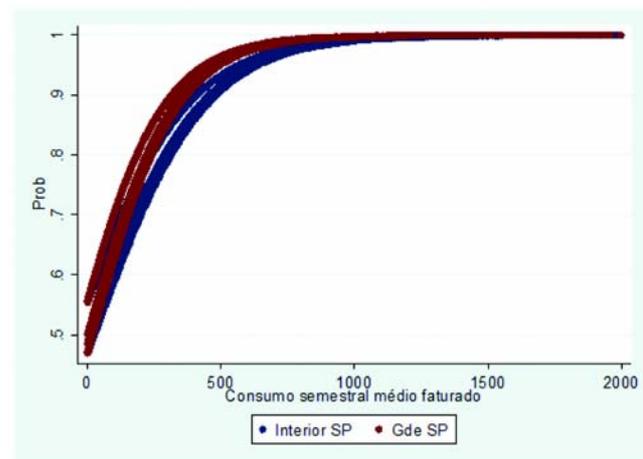


Gráfico 4: Probabilidade de evasão por nível de consumo



Pela análise dos resultados é possível observar que as curvas de efeito marginal são não-crescentes para todas as faixas de consumo estimadas. A contrapartida direta desse fato é que a probabilidade de evasão apresenta comportamento crescente com respeito ao nível de consumo faturado – corroborando a hipótese de que grandes clientes apresentam maior probabilidade de buscar fontes de água alternativas.

Pode-se notar que o efeito marginal converge para valores muito próximos de zero a partir de 900m<sup>3</sup> de consumo médio semestral faturado.

Deve-se ressaltar também que o efeito de localidade não se mostrou muito relevante, pois, independente do critério utilizado, as curvas de probabilidade de evasão estimadas para clientes da grande São Paulo estiveram sempre muito próximas daquelas estimadas para clientes do interior do estado.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A hipótese que se pretendia testar era a de que a atual estrutura tarifária da Sabesp leva grandes clientes a buscarem fontes alternativas de fornecimento de água. As principais conclusões que podem ser tiradas deste trabalho são:

- há evidências a favor da crença de que empresas de distintos setores de atividade possuem diferentes tendências de sair ou não do sistema de abastecimento da Sabesp;

- há poucas evidências de grandes diferenças entre as sensibilidades de grandes clientes da Grande São Paulo e do Interior de São Paulo;

- a probabilidade de evasão dos clientes Sabesp aumenta conforme cresce o nível de consumo médio dos mesmos;

- os níveis de consumo que estabilizam a probabilidade de evasão – ou seja, níveis em que a probabilidade chega próxima ao seu máximo – variaram entre 500m<sup>3</sup> e 1200m<sup>3</sup>, indo ao encontro de evidências encontradas pela Sabesp.

Com base neste estudo, pode-se concluir que o limite mínimo imposto pelo programa *Sabesp Soluções Ambientais*, que garante contratos com estrutura tarifária diferenciada para clientes cujo consumo seja igual ou superior a 3.000m<sup>3</sup>/mês, deveria ser revisto, uma vez que clientes de grande porte com consumos médios abaixo deste patamar estão saindo do sistema de abastecimento da Sabesp em busca de reduções de custos no mercado concorrencial. A revisão do limite mínimo deste programa acirraria a concorrência entre os fornecedores de água, trazendo benefícios aos utilitários deste insumo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

GREENE, W. H. *Econometric Analysis*. New Jersey: Prentice Hall, 5a ed, 2003.

SUPERINTENDÊNCIA DE MARKETING DA SABESP. *Perda de grandes clientes*. São Paulo: Estudo disponibilizado pela SABESP, 2008.

WOOLDRIDGE, J. M. *Econometrics Analysis of Cross Section and Panel Data*. Londres: The Massachusetts Institute of Technology Press, 1a ed., 2001.

WOOLDRIDGE, J. M. *Introdução à Econometria: Uma abordagem moderna*. São Paulo: Thomson Learning, 1a ed., 2006.

# Remoção de trihalometanos (THM) em águas de abastecimento por tratamento convencional e adsorção em carvão ativado em pó (CAP)

## TRIHALOMETHANES (THM) REMOTION IN TREATED WATER USING CONVENTIONAL TREATMENT AND POWDERED ACTIVATED CARBON (PAC)

Carlos Renato Marmo<sup>(1)</sup>

Bruno Vicente de Azevedo Pereira dos Santos<sup>(2)</sup>

Ruben Bresaola Júnior<sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup>Eng. Civil da Área de Desenvolvimento Urbano da Caixa Econômica Federal (GIDUR-Rio Branco - AC). Eng. Civil pela Universidade Estadual Paulista (UNESP), Ilha Solteira/SP. Mestre em Saneamento e Ambiente pela Universidade Estadual de Campinas/SP (UNICAMP).

<sup>(2)</sup>Engenheiro Civil e Mestre em Saneamento e Ambiente pela Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas/SP (UNICAMP).

<sup>(3)</sup>Engenheiro Civil, Mestre e Doutor pela Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo (EESC/USP). Professor Doutor do Dep. de Saneamento e Ambiente da Faculdade de Eng. Civil, Arquit. e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas/SP (UNICAMP).

**Endereço:** Rua Tapajós, 264, Condomínio Monterrei, Bloco 2, Apto. 304 – Bairro Estação Experimental. Rio Branco (AC) – Brasil. CEP: 69.907-520. Tel: +55 (68) 2106-3200, Fax: +55 (68) 2106-3200 - e-mail: [renatomarmo@yahoo.com.br](mailto:renatomarmo@yahoo.com.br)

**Entrada:** 13/11/2009 **Aprovação:** 25/11/2009

### RESUMO

O trabalho de pesquisa avaliou, em escala de laboratório, a remoção de trihalometanos (THM) por processos de adsorção em carvão ativado em pó (CAP), seguido de tratamento físico-químico de coagulação, floculação, sedimentação e filtração. As moléculas de THM foram formadas em reações de oxidação de águas oriundas de poço freático na adição de ácidos húmicos, usando cloro livre como oxidante durante 24 horas. Os processos físico-químicos de coagulação-floculação foram efetuados em reatores estáticos de "jar-test", utilizando sulfato de alumínio como coagulante. Em uma primeira etapa foram realizados ensaios que investigaram as melhores condições de dosagem de coagulante e pH

de coagulação, para a remoção de cor aparente e turbidez da mistura água do poço, CAP, oxidante e precursor. A partir das condições ideais, foram conduzidos ensaios de avaliação da concentração de THM antes e após os procedimentos de tratamento (adsorção, sob diferentes tempos de contato; seguidos de tratamento físico-químico). A avaliação dos THM deu-se através de duas técnicas analíticas diferenciadas: cromatografia gasosa e espectrofotometria. Os ensaios demonstraram ser efetivos nas dosagens de CAP utilizadas, com remoções de THM de até 69,6%, quando feitas determinações por espectrofotometria. Por cromatografia gasosa, as porcentagens de remoção variaram até 88,9%. O tempo de contato entre as amostras e o adsorvente demonstrou ser importante, já que os resultados foram otimizados, quando se alternou o período das reações de adsorção de 60 para 120 minutos. O aumento na concentração de CAP de 10 até 150 mg/L, e do tempo de contato, de 60 até 120 minutos, resultou em melhores percentuais de remoção de THM.

### ABSTRACT

The present research evaluated, in laboratory scale, the trihalomethanes (THM) remotion using adsorption with powdered activated carbon (PAC), followed by conventional processes of water treatment. THM molecule were produced in oxidation reactions with water samples with humic acids, using free chlorine during 24 hours in static reactors. In a first step, the experiments were conducted to discover the pH value and aluminum sulphate concentration to remove apparent color and turbidity from the mixture (water + humic acid + PAC + oxidant). Using the optimized conditions, it was measured THM concentration before and after the treatment process proposed. THM detection was comparatively investigated through two analytical techniques. The procedure of PAC adsorption,

followed by conventional processes of water treatment were effective, showing THM removal from the samples of up to 88,9%. The increase in PAC concentration from 10 to 150 mg/L, and adsorption reaction time from 60 to 120 minutes, resulted in the best performances.

**Palavras-chave:** Trialometanos; cromatografia; processos oxidativos; cloração; carvão ativado em pó. Trihalomethanes; chromatography; oxidation processes; chlorination; powdered activated carbon

## INTRODUÇÃO

As reações de oxidação e desinfecção têm apresentado, recentemente, aspectos considerados negativos, principalmente no que se refere à produção de compostos e subprodutos indesejáveis, provenientes das reações entre a matéria orgânica natural (substâncias húmicas) e oxidantes utilizados, em processos de tratamento de águas de abastecimento. Em 1974, pesquisadores holandeses e americanos (ROOK, 1974 e BELLAR *et al.*, 1974) foram os pioneiros em detectar a presença de subprodutos halogenados, após processos de desinfecção final de águas para abastecimento público. Resultados de diferentes trabalhos de pesquisa recentes corroboram com estes pesquisadores, indicando que o uso do cloro como oxidante promove a formação de subprodutos da desinfecção (SPD). As principais classes desses compostos são representadas pelos trialometanos (THM), ácidos haloacéticos (HAA), haloacetônitrilos (HAN), entre outros (SERODES *et al.*, 2003; YOON *et al.*, 2003; WHITE *et al.*, 2003 e KIM *et al.*, 2002).

A presente pesquisa avaliou a remoção de trialometanos através de processo de adsorção em carvão ativado em pó (CAP), seguido de tratamento convencional, em reatores estáticos de "jar test", de coagulação, floculação, sedimentação seguido de filtração em papel 0,45 µm e filtração. Os ensaios permitiram inferir considerações a respeito das concentrações adequadas do adsorvente, dosagens de coagulante e valores de pH de coagulação, assim como foram monitorados os parâmetros físico-químicos (cor aparente, turbidez e cloro residual) de controle da qualidade da água, após o tratamento.

## METODOLOGIA

O trabalho prático de pesquisa foi realizado nas dependências do Laboratório de Saneamento (LABSAN) e do Laboratório de Protótipos Aplicados ao Tratamento de Água e Efluentes (LABPRO) da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Unicamp. Foram utilizados os seguintes reagentes: hipoclorito de sódio PA (4 a 6%) da Vetec, como oxidante; e ácido húmico PA da Aldrich, como precursor. A detecção de trialometanos por cromatografia utilizou um cromato-

tógrafo a gás (HP 6890-5973; coluna capilar Supelco 2-4154, diâmetro nominal 250 µm e comprimento de 60,0 m) acoplado a um espectrômetro de massas (HP 5973), injetor automático, Purge and Trap CDC 6000. As análises de trialometanos por colorimetria foram realizadas com um espectrofotômetro DR 2500 da Hach, utilizando o kit de reagentes THM Plus<sup>®</sup> e conforme procedimentos padrões constantes do manual de utilização do equipamento (HACK, 2001).

A água bruta foi retirada de um poço freático, situado nas dependências da Unicamp, sendo adicionados, posteriormente, ácidos húmicos na dosagem de

**Tabela 1: Valores de dosagens de produtos químicos e de pH iniciais, avaliados de acordo com o número dos ensaios para a primeira fase.**

Fase	Ensaio	Dosagens de CAP (mg/L)	Dosagens de Sulfato de Alumínio (mg/L)	Valores de pH iniciais avaliados (Jarros 1 a 6)					
				1	2	3	4	5	6
1ª	1	10,0	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0
	2		15,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0
	3		25,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0
	4		40,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0
	5	20,0	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0
	6		15,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0
	7		25,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0
	8		40,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0
	9	30,0	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0
	10		15,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0
	11		25,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0
	12		40,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0
	13	50,0	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0
	14		15,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0
	15		25,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0
	16		40,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0
	17	100,00	15,0	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5
	18		25,0	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5
	19		40,0	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5
	20		60,0	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5
	21	150,00	15,0	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5
	22		25,0	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5
	23		40,0	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5
	24		60,0	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5
25	50,0	25,0	9,0	10,0	-	-	-	-	
	100,0	40,0	-	-	10,0	11,0	-	-	
	150,0	40,0	-	-	-	-	10,0	11,0	
26	50,0	40,0	9,0	9,5	10,0	-	-	-	
	100,0	60,0	-	-	-	9,0	10,0	-	
	150,0	60,0	-	-	-	-	-	9,0	
27 (branco)	10,0 a 150,0 (J1 a J6)	---	---						

5,0 mg/L. A coleta da mesma foi realizada em bombonas de plástico, com 50 litros de capacidade, previamente lavadas com uma solução de ácido nítrico a 10% (Synth), mantidas por 2 horas e sendo, posteriormente, enxaguadas abundantemente com água oriunda da rede de abastecimento da Universidade. Antes das coletas, as bombonas foram condicionadas, diversas vezes, com a água do poço a fim de eliminar qualquer resíduo de ácido, que tenha permanecido aderido à superfície do plástico.

Para os ensaios de "jar test" foi utilizado um equipamento de agitação mecânica fabricado pela Nova Ética Equipamentos Científicos S.A, modelo 218/LDB. O aparelho possuía um sistema que permite a utilização de até 6 reatores, simultaneamente, com ajustes de rotação de 0 a 500 rpm e conseqüentemente, gradientes de velocidade variáveis de 0 a 800 s<sup>-1</sup> (MENDES, 1990). Os seis reatores em acrílico, que integram o conjunto, têm individualmente volume útil de 2 litros. Os mesmos possuem seção quadrada, em planta, medindo 11,5 cm de lado, altura total de 21 cm e parede com espessura de 5 mm. O agitador é constituído de um eixo vertical de 5 mm de diâmetro e rotor tipo turbina, confeccionado com paleta de aço inox, medindo 7,0 cm x 2,5 cm. Os ensaios de adsorção em carvão ativado em pó e o tratamento convencional com sulfato de alumínio visaram a remoção de trialometanos formados durante as reações de oxidação. Os parâmetros dos ensaios de formação de THM, para a reação de oxidação, foram: (a) dosagem de cloro livre: 10,0 mg/L; (b) concentração de ácidos húmicos: 5,0 mg/L e (c) tempo de contato do oxidante com a matéria orgânica: 24 horas.

A simulação do tratamento convencional em condições de laboratório, utilizando o "jar test" foi efetuada em duas fases. A primeira fase teve como função avaliar as dosagens de sulfato de alumínio e respectivos valores de pH de coagulação, que fornecessem os melhores resultados de remoções de cor aparente e

turbidez das soluções de ácidos húmicos, cloro livre e carvão ativado em pó. Nesta fase não foram efetuados ensaios de detecção de THM, pois o objetivo principal foi verificar as condições otimizadas de coagulação, floculação e sedimentação para cada dosagem de CAP, a ser utilizada na fase de remoção de organoclorados.

A segunda fase caracterizou-se por utilizar os dados otimizados da primeira na remoção efetiva de THM, avaliando desta forma, a eficiência da adsorção em CAP e do tratamento convencional com sulfato de alumínio. Os ensaios de adsorção em carvão ativado em pó foram realizados em dois diferentes tempos de contato (60 e 120 minutos), seguido de tratamento físico-químico de coagulação, floculação, sedimentação e posterior filtração, nas condições otimizadas obtidas na primeira fase. Os valores dos produtos químicos e de pH iniciais, assim como os parâmetros dos ensaios de "jar test", para a pesquisa, são apresentados nas tabelas 1 e 2, respectivamente.

Foram monitorados os parâmetros turbidez e cor aparente residual, de modo a serem verificados as dosagens ideais de sulfato de alumínio e do valor de pH de coagulação, para cada dosagem de carvão ativado em pó. Com base nestes parâmetros otimizados, foram realizados os ensaios da segunda fase, sendo monitoradas as concentrações de THM inicial e residual, de modo a ser determinado a porcentagem de remoção, este último após os processos de adsorção em CAP e tratamento físico-químico.

As amostras para as análises de trialometanos por cromatografia gasosa foram preservadas conforme preconizado pelo método SM 6010 B, para determinação de compostos orgânicos voláteis e pela EPA 524.2 (AWWA, 1998; EPA, 1995).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tabela 3 apresenta dados otimizados dos experimentos da primeira fase (ensaios 1 a 27). Nela estão contidas as dosagens de coagulante e os valores de pH escolhidos em função das concentrações de CAP que promoveram as menores dosagens de sulfato de alumínio e melhores reduções de cor aparente e turbidez.

Desta forma, são indicados, para cada dosagem de CAP, a concentração de sulfato de alumínio e o valor do pH inicial, do jarro, a serem utilizados nos procedimentos de remoção de trialometanos das amostras.

Os resultados dos valores obtidos dos experimentos de adsorção, seguidos dos processos físico-químicos para a remoção de trialometanos, referentes aos ensaios 28 e 29, são apresentados nas tabelas 4 e 5, respectivamente. No ensaio 28 o tempo de contato entre o adsorvente e a mistura água do poço, ácidos húmicos, cloro livre

Tabela 2: Parâmetros utilizados nos ensaios de "jar test" da primeira e segunda fase.

Procedimento	Valores		
	Rotação (rpm)	Gradiente de velocidade (s <sup>-1</sup> )	Tempo
<i>Ensaios 1 a 26, 28 e 29</i>			
Mistura rápida	300	585	15 s
Floculação	80, 58 e 32	80, 50 e 20	10 min (cada)
Sedimentação (Vs = 1 cm/min)	---	---	7 min
Filtração	Papel de filtro SS nº 589 – 2 (faixa branca)		
<i>Ensaio 27 (branco)</i>			
Mistura rápida	---	---	---
Floculação	---	---	---
Sedimentação (Vs = 1 cm/min)	---	---	---
Filtração	Papel de filtro SS nº 589 – 2 (faixa branca)		

e CAP foi de 60 minutos, enquanto no ensaio 29 adotou-se um tempo de contato de 120 minutos.

Os resultados da adsorção de trialometanos, medidos pelos processos espectrofotométrico e cromatográfico, em função da dosagem de carvão ativado em pó, indicaram remoções graduais, de acordo com o aumento do adsorvente e do tempo de contato do mesmo com as amostras. Utilizando 60 minutos como tempo de contato (ensaio 28), a concentração de THM, medida por espectrofotometria, inicialmente igual a 125 µg/L, foi reduzida gradualmente para o valor de 38 µg/L, indicando uma remoção de aproximadamente 69,6 %. Para o tempo de contato de 120 minutos (ensaio 29) os valores obtidos para a concentração inicial e final de THM foram iguais a 135 µg/L e 42 µg/L, respectivamente,

com porcentagem de remoção da ordem de 68,9 % para a mesma.

Apesar do valor final de concentração de THM no jarro 2, medido por espectrofotometria, para o tempo de contato de 120 minutos, apresentar-se superior ao do tempo anterior, os valores intermediários indicaram melhores índices de adsorção, com exceção da dosagem de CAP igual a 20 mg/L. De acordo com a margem de erro de + 6 µg/L, estabelecida pelo método de detecção de trialometanos por espectrofotometria, os valores poderiam estar em um intervalo de variação que indicaria que a remoção de THM, para as dosagens de 20,0 e 150,0 mg/L de CAP no tempo de contato de 120 minutos, foi maior se comparada ao tempo de 60 minutos.

As figuras 1 a 3 indicam aspectos relacionados às metodologias de detecção de trialometanos:



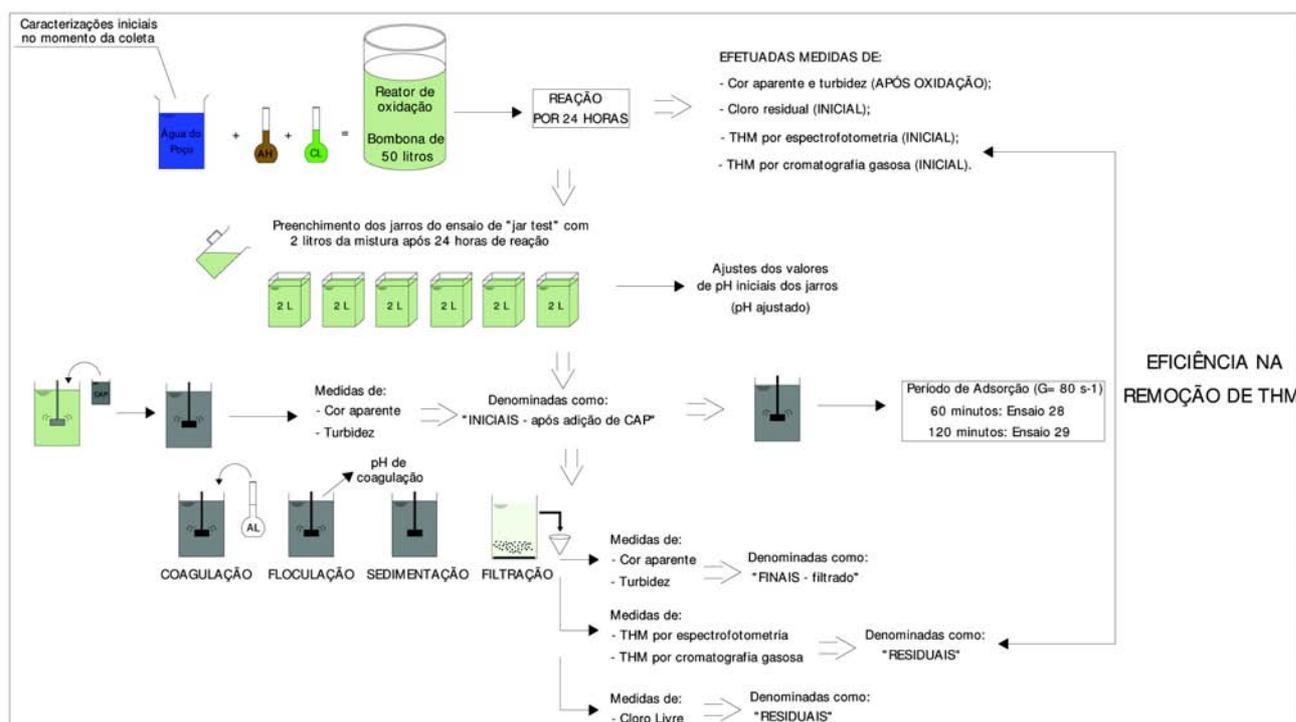
Fig. 1: Frascos (“vials”) de 40 mL para coleta de amostras nas análises cromatográficas

Fig. 2: Cubetas denominadas amostra e branco, para as análises espectrofotométricas

Fig. 3: Espectrofotômetro DR 2500 Hach

A figura 4 apresenta o fluxograma dos procedimentos adotados para a etapa de adsorção de THM.

Figura 4: Fluxograma dos procedimentos para adsorção de THM.



Os resultados das análises de THM total final, medida por processo cromatográfico, para o ensaio com tempo de contato de 60 minutos indicaram concentrações iniciais de 192 µg/L, sendo reduzida em 70,3% no primeiro jarro (10,0 mg/L de CAP) e 89,1% no último (150,0 mg/L de CAP), com concentrações de, respectivamente, 57 e 21 µg/L de trialometanos total. No ensaio 29, com tempo de contato de 120 minutos entre os compostos e o CAP, foi obtida uma concentração de THM inicial de 63 µg/L, muito abaixo do valor obtido no ensaio 28 (192 µg/L). Teoricamente, as concentrações iniciais de THM deveriam ser muito próximas numericamente, tendo em vista que as condições de oxidação foram idênticas. Desta forma, os valores das concentrações obtidas para as amostras nos jarros pós-tratamento, do ensaio 29 estão, numericamente, inferiores ao obtido com o tempo de contato de 60 minutos. Entretanto, as porcentagens de remoção ficaram aproximadamente dentro da mesma ordem de grandeza, com exceção do jarro nº 2 (ensaio 29), cuja concentração final de THM foi de 1 µg/L.

Com os dados das tabelas 4 e 5, que sintetizam os resultados dos ensaios 28 e 29 foram construídos os gráficos da figura 5 que indicam o comportamento dos parâmetros THM residual medido por espectrofotometria (a) e cromatografia gasosa (b).

## CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos e as análises realizadas, o estudo permitiu obter as seguintes conclusões.

- para cada concentração de carvão ativado em pó aplicada existe um ponto, relativamente otimizado, para compatibilização da dosagem de coagulante e do valor de pH inicial de coagulação, na procura do menor valor de cor aparente e turbidez residuais;

- os ensaios de adsorção de trialometanos por carvão ativado em pó, seguidos de ensaios simulando o tratamento convencional de água, obtiveram resultados de remoção de THM variando de 4,8 a 69,6%, por espectrofotometria. Por cromatografia gasosa, as porcentagens de remoção situaram-se entre 54,0 e 88,9%;

- ocorreram incrementos na remoção de THM conforme foi variada a dosagem de CAP de 10,0 para 150,0 mg/L, quando aplicadas ambas as técnicas utilizadas;

- a avaliação da influência do tempo de contato entre as amostras e o adsorvente indicou que ocorreram diferenças entre as medidas por cromatografia e espectrofotometria. Nas amostras avaliadas por espectrofotometria, a variação do tempo de contato de 60 para 120 minutos apresentou percentuais maiores de remoção de THM;

- nas análises por cromatografia gasosa das mesmas amostras submetidas à espectrofotometria, a influência do aumento do tempo de contato não pode ser detectada, tendo em vista que os percentuais atingiram valores muito semelhantes.

## REFERÊNCIAS

1. AWWA; APHA; WEF. *Standard methods for the examination of water and waste water. 20th ed.* Baltimore, Maryland: [s.n.], 1998.
2. BELLAR, T. A.; LICHTENBERG, J. J.; KRONER, R. C. *The occurrence of organohalides in chlorinated drinking waters.* **Journal of American Water Works Association**, v. 66, n. 12, p. 703-706, 1974.
3. BUDD, G. C.; HESS, A. F.; SHORNEY-DARBY, H.; NEEMANN, J. J.; SPENCER, C. M.; BELLAMY, J. D.; HARGETTE, P. H. *Coagulation applications for new treatment goals.* **Journal of American Water Works Association**, v. 96, n. 2, p. 102-113, 2004.

Tabela 3: Dosagens otimizadas de sulfato de alumínio e valores de pH iniciais e de coagulação, em função de cada dosagem de carvão ativado em pó adotados para a segunda fase.

Dosagem de CAP (mg/L)	Dosagem de Coagulante (mg/L)	pH inicial	pH de coagulação	Cor aparente final obtida na 1ª fase (uC)	Turbidez final obtida na 1ª fase (uT)
10,0	40	7,45	6,72	2	0,17
20,0	25	6,54	6,35	5	0,30
30,0	40	6,49	6,02	8	0,19
50,0	40	7,03	6,34	10	0,24
100,0	40	5,99	5,48	9	0,33
150,0	60	7,48	6,48	1	0,23

Obs.: pH de coagulação é o valor medido após a adição do coagulante. Para águas com alta alcalinidade, a tendência de queda do valor do pH é menor do que para baixa alcalinidade (BUDD et al, 2004).

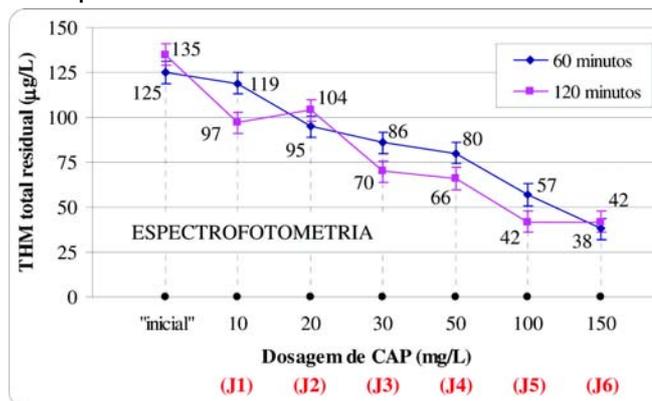
Tabela 4: Resultados dos experimentos de adsorção, seguido dos processos de coagulação, floculação, sedimentação e filtração para remoção de trialometanos e cloro residual no ensaio 28, com tempo de contato entre o CAP e amostra igual a 60 minutos.

PARÂMETROS	JARROS					
	1	2	3	4	5	6
Dosagem de sulfato de alumínio (mg/L)	40,0	25,0	40,0	40,0	40,0	60,0
Dosagem de carvão ativado em pó (mg/L)	10,0	20,0	30,0	50,0	100,0	150,0
pH de coagulação	6,75	6,46	6,3	6,68	5,74	6,62
<i>THM total inicial: espectrofotometria = 125 µg/L e cromatografia = 192 µg/L</i>						
<i>Cloro inicial = 5,87 mg/L</i>						
THM total residual - espectrofotometria (µg/L)	119	95	86	80	57	38
% remoção	4,8%	24,0%	31,2%	36,0%	54,4%	69,6%
THM total residual - cromatografia gasosa (µg/L)	57	63	48	37	24	21
% remoção	70,3%	67,2%	75,0%	80,7%	87,5%	89,1%
Cloro residual (mg/L)	2,5	0,78	0,15	0,04	0	0,02
% remoção	57,4%	86,7%	97,4%	99,3%	100,0%	99,7%

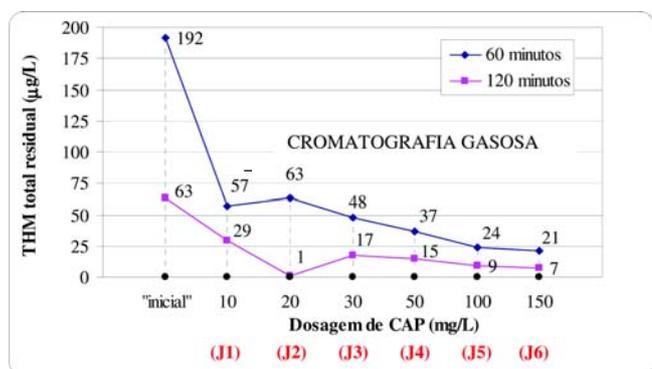
Tabela 5: Resultados dos experimentos de adsorção, seguido dos processos de coagulação, floculação, sedimentação e filtração para remoção de trialometanos e cloro residual no ensaio 29, com tempo de contato entre o CAP e amostra igual a 120 minutos.

PARÂMETROS	JARROS					
	1	2	3	4	5	6
Dosagem de sulfato de alumínio (mg/L)	40,0	25,0	40,0	40,0	40,0	60,0
Dosagem de carvão ativado em pó (mg/L)	10,0	20,0	30,0	50,0	100,0	150,0
pH de coagulação	6,74	6,60	6,41	6,75	5,86	6,63
<i>THM total inicial: espectrofotometria = 135 µg/L e cromatografia = 63 µg/L</i>						
<i>Cloro inicial = 5,92 mg/L</i>						
THM total residual - espectrofotometria (µg/L)	97	104	70	66	42	42
% remoção	28,1%	23,0%	48,1%	51,1%	68,9%	68,9%
THM total residual - cromatografia gasosa (µg/L)	29	1	17	15	9	7
% remoção	54,0%	98,4%	73,0%	76,2%	85,7%	88,9%
Cloro residual (mg/L)	1,99	0,34	0,03	0,03	0,02	0,02
% remoção	66,4%	94,3%	99,5%	99,5%	99,7%	99,7%

Figura 5: Variação de THM residual para as amostras dos ensaios 28 e 29, determinados por espectrofotometria (a) e cromatografia gasosa (b) em função da dosagem de CAP para os tempos de contato de 60 e 120 minutos.



(a)



(b)

Figura 6: Jarros preenchidos com a amostra no momento do acerto dos valores de pH; e após a adição de CAP, respectivamente.



4. EPA. Method 524.2 - *Measurement of Purgeable Organic Compounds in Water by Capillary Column Gas Chromatography/Mass Spectrometry*. [S.I.]: United States Environmental Protection Agency, 1995.

5. HACH. *Odyssey DR 2500 Spectrophotometer procedure manual*. Loveland, Colorado: Hach Company Word Headquarters, 2001.

6. KIM, J.; CHUNG, Y.; SHIN, D.; KIM, M.; LEE, Y.; LIM, Y.; LEE, D. *Chlorination by-products in surface water treatment process*. *Desalination*, v. 15, p. 1-9, 2002.

7. MENDES, C. G. N. *Estudo da coagulação e floculação de águas sintéticas e naturais com turbidez e cor variáveis*. São Carlos: 1990. (Tese de Doutorado), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1990.

8. ROOK, J. J. *Formation of haloforms during chlorination of natural waters*. *Water Treatment and Examination*, v. 23, p. 234-243, 1974.

9. SERODES, J.; RODRIGUEZ, M.; LI, H.; BOUCHARD, C. *Occurrence of THMs and HAAs in experimental chlorinated waters of the Quebec City Area (Canada)*. *Chemosphere*, v. 51, n. 4, p. 253-263, 2003.

10. WHITE, D. M.; GARLAND, D. S.; NARR, J.; WOOLARD, C. R. *Natural organic matter and DBP formation potential in Alaskan water supplies*. *Water Research*, v. 37, n. 4, p. 939-947, 2003.

11. YOON, J.; CHOI, Y.; CHO, S.; LEE, D. *Low trihalomethane formation in Korean drinking water*. *Science of Total Environment*, n. 302, p. 157-166, 2003.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), pelo apoio à realização do trabalho; à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pelo financiamento da parte experimental da pesquisa (Processo 03/14036-5); à Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão das bolsas de mestrado.

O download completo e o aprofundamento do presente trabalho, na forma de Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) em 2005, poderá ser obtido no endereço: <http://libdigi.unicamp.br/document/?code=vtls000375369>, ou através de contato direto com os autores.

# Resíduos sólidos industriais da cidade de Teresina

## INDUSTRIAL SOLID WASTE OF THE CITY OF TERESINA

Anna Kelly Moreira da Silva <sup>(1)</sup>

José Machado Moita Neto <sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup>Graduação em Tecnologia em Meio Ambiente pelo Centro Federal de Educação Tecnológica do Piauí (2003), pós-graduação Lato Sensu em Ciências Ambientais pela Universidade Federal do Piauí (2005), pós-graduação Lato Sensu em Gerenciamento de Recursos Ambientais pelo Centro Federal de Educação Tecnológica do Piauí (2006). É Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente pela Universidade Federal do Piauí (2008). Atualmente é Doutoranda em Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Ceará.

<sup>(2)</sup>Graduação em Licenciatura Plena em Ciências - Hab. em Química pela Universidade Federal do Piauí (1982), graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Piauí (1989), graduação em Licenciatura em Filosofia pela Universidade Federal do Piauí (2004), mestrado em Química pela Universidade Estadual de Campinas (1987) e doutorado em Química pela Universidade Estadual de Campinas (1994).

**Endereço:** Quadra 40, casa 31, Setor A, Macambinho I - Teresina - Piauí - CEP 64010-100

**Entrada:** 19/2/2009 Aprovação: 31/10/2009

### RESUMO

*Este trabalho teve como objetivo avaliar a situação dos Resíduos Sólidos Industriais da Cidade de Teresina. O presente estudo traz um panorama qualitativo e quantitativo dos resíduos sólidos industriais. O trabalho abrangeu 72 indústrias, incluindo indústrias de grande, médio e pequeno portes. As indústrias foram visitadas e os dados foram colhidos usando formulários específicos. As indústrias inventariadas são responsáveis pela geração de aproximadamente 33.883 toneladas de resíduos por ano, sendo que 32.327 t/ano de resíduos são reutilizadas/reaproveitados, e 1.556 t/ano são descartados como "lixo" encaminhados ao aterro municipal. Observou-se que houve uma maior geração nos resíduos de classe II A. As indústrias de grande porte, em geral, conseguem tratar de modo adequado seus resíduos. O mesmo não acontece com as indústrias de pequeno porte.*

**Palavras-chave:** Resíduos Sólidos; Resíduos Industriais; Inventário.

### ABSTRACT

*This study aims to assess the situation of the Solid Waste Industrial of the city of Teresina. This study provides a qualitative and quantitative overview of the solid waste industry. The study covered 72 industries, including large, medium and small industries. These industries have been visited and the data were collected through special forms. The industries surveyed are responsible for the generation of approximately 33,883 tons of waste per year, of which 32,327 tons / year of waste is reused / reprocessed and 1,556 t / year are discharged as "garbage" at the municipal landfill. It was observed on the waste inventory that there was a greater production of class II A waste type. Large industries, in general, can adequately deal with their waste. This is not the case of small industries.*

**Keywords:** Solid waste; Industrial wastes; Inventory.

### INTRODUÇÃO

A questão ambiental vem sendo cada vez mais considerada de fundamental importância com relação ao bem estar das atuais e futuras gerações, e está inserida nos compromissos dos partidos políticos, nos programas de governo, nos interesses das organizações populares e no planejamento empresarial.

A atividade industrial, ao transformar cada vez mais a matéria-prima em produtos acabados, é uma das fontes mais representativas como causadora de impacto ambiental, devido a geração de quantidades cada vez mais significativas de resíduos e carga poluidoras (CETESB, 1993).

Entretanto, este cenário vem mudando, impulsionado pela pressão da globalização do mercado cada vez mais competitivo e exigente na questão da preservação ambiental, principalmente no que se refere ao tratamento de resíduos líquidos e gasosos.

Com relação ao panorama da situação dos resíduos sólidos industriais (RSI) no país, observa-se grande carência de informações sobre os aspectos quantitativos e qualitativos dos resíduos gerados, o tipo de armazenamento utilizado, coleta e transporte, as formas de reutilização e reciclagem, e os tipos de tratamento e destinação final (FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE, 2004).

O objetivo deste trabalho foi avaliar a situação dos Resíduos Sólidos Industriais da Cidade de Teresina,

contribuindo assim com a identificação das fontes potenciais de poluição, bem como na elaboração de diretrizes para o controle dos resíduos gerados, e para um planejamento de um desenvolvimento industrial sustentado.

A ausência de informação precisa sobre a quantidade, os tipos e os destinos dos resíduos sólidos gerados no parque industrial de Teresina, justificam a proposta deste trabalho, principalmente porque esses resíduos podem apresentar características prejudiciais à saúde humana e ao meio ambiente. Além disso, há uma necessidade da elaboração de Programas Estaduais e do Plano Nacional para Gerenciamento de Resíduos Sólidos Industriais, de modo que o Inventário de RSI de Teresina pode subsidiar uma política de gestão voltada para minimização da geração, reutilização, reciclagem, tratamento e adequada destinação final dos resíduos.

## **METODOLOGIA**

### **Área de Estudo**

A cidade de Teresina, capital do estado do Piauí, área dessa pesquisa, é localizada sob as coordenadas geográficas latitude 05°05'2" S e longitude 42°48'07" W, a uma altitude de 72 m, possui uma área de 1.756 km<sup>2</sup>, com uma densidade demográfica de 441,7 hab./km<sup>2</sup>, e uma população de aproximadamente 779.939 habitantes; nesta cidade, se concentra a maioria das indústrias do estado (IBGE, 2007).

No presente trabalho foram desenvolvidas as seguintes etapas: Levantamento bibliográfico e documental por meio de consulta a livros, periódicos, textos, meios eletrônicos, legislação vigente e documentos institucionais; Visita técnica (in loco) nas indústrias para aplicação de formulários específicos; Localização das indústrias no mapa de Teresina.

### **Amostragem**

A composição da amostra para aplicação do formulário nas indústrias foi dimensionada utilizando-se como base a Resolução CONAMA 313, de 29 de outubro de 2002, que estabelece as tipologias industriais que deverão apresentar informações sobre seus resíduos sólidos, tais como, indústrias metalúrgicas, confecções, gráficas, móveis, dentre outras.

Foram realizadas pesquisas diretas junto a várias entidades, como Federação das Indústrias do Estado do Piauí (Guia Industrial do Piauí), Junta Comercial do Estado do Piauí, Associação Industrial do Piauí, Secretaria de Indústria e Comércio do Piauí, Prefeitura Municipal de Teresina, Secretaria Municipal de Desenvolvimento Econômico, Conselho Regional de Química e foi constatado um total de 369 indústrias na cidade de Teresina, sendo que 246 indústrias são referentes aos ramos citados pela resolução CONAMA 313/02, estratificadas em doze amostras, conforme apre-

sentado na Tabela 1:

**Tabela 1: Quantidade de Indústrias por tipologia industrial em Teresina, Piauí. 2007.**

<b>Tipologia</b>	<b>Número de Indústrias</b>
Química	26
Cerâmica	10
Marmoraria	13
Metalúrgica	49
Gráfica	73
Confecções	25
Móveis	17
Alimentícia	16
Bebidas	05
Calçados	06
Recauchutagem	05
Bicicletas	01

Organizou-se então uma listagem de indústrias para o trabalho de levantamento dos dados. A relação proporcionou a consolidação do quadro de empresas de "pequeno", "médio" e "grande" portes, embasado no critério do número de empregados de acordo com a classificação do IBGE: pequeno porte - 0 a 100 empregados; médio porte - 101 a 500 empregados; grande porte - acima de 500 empregados.

As indústrias foram visitadas e nelas aplicados formulários de perguntas abertas e fechadas, visando identificar os objetivos da pesquisa. O formulário utilizado foi também baseado na Resolução CONAMA 313/02, sendo adaptado à realidade local, mediante a aplicação de pré-formulários.

As perguntas contidas no formulário foram basicamente: a razão social da indústria; o seu endereço; a atividade principal da indústria e o seu período de produção; bem como informações sobre o processo de produção da indústria; das matérias-primas e insumos utilizados e sua quantidade atual por ano e capacidade máxima também por ano; os produtos fabricados e quantidade atual e capacidade máxima por ano; as etapas do processo de produção da indústria e os resíduos gerados; a descrição e destino desses resíduos; o tipo de armazenamento e tratamento; a quantidade – tonelada/ano e dados pertinentes sobre a indústria e aos recursos ambientais utilizados pelo empreendimento (Anexo).

Para a localização das indústrias no mapa de Teresina, foram determinadas as coordenadas das indústrias usando Sistema de Posicionamento Global (GPS), Garmim Etrex. Fez-se o descarregamento dos pontos no programa TrackMaker e o processamento dos mesmos com o aplicativo CAD, obtendo-se as coordenadas definidoras de cada ponto expressa em forma plana Universal Transversa de Mercator (UTM).

Foi utilizada a imagem de Satélite do programa Goo-

gle Earth e o mapa de Teresina cedido pela Secretaria Municipal de Planejamento da Prefeitura de Teresina, para o processamento dos pontos.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO**

De acordo com a pesquisa bibliográfica e as informações obtidas com os formulários, foram diagnosticadas as atividades industriais da cidade, observando a atividade industrial desde a entrada de matéria-prima até a expedição do produto final.

Determinaram-se todas as entradas para a operação e suas respectivas saídas, que no caso são os resíduos sólidos gerados. Os resíduos sólidos foram analisados quanto à sua origem (operação geradora) e quanto ao fator gerador (ação ou característica da matéria-prima, do equipamento e/ou ferramenta que contribuam para sua geração).

Utilizando-se da entrada e saída de cada processo e da informação dos volumes gerados, conseguiu-se identificar as áreas que eram geradoras de resíduos e se estas possuíam ou não controle sobre os mesmos.

**Localização das Indústrias**

As indústrias visitadas compreendem tanto a zona urbana como a zona rural de Teresina. Visualiza-se na Figura 1 a localização das indústrias, representadas por pontos.

O trabalho abrangeu 72 indústrias. Destas, 15 indústrias estavam desativadas e em 14 não foi autorizada a pesquisa. Portanto, só foram inventariadas 43, sendo 14 de grande porte, 11 de médio e 18 de pequeno. Contudo, foi possível obter a caracterização das indústrias (matéria-prima utilizada, identificação do produto e produção industrial), informações sobre geração, manejo e destinação dos resíduos sólidos industriais, e a localização das fontes geradoras de resíduos industriais que apresentam risco à população e ao meio ambiente.

Na Tabela 2 apresenta-se a listagem dos tipos de resíduos gerados nos processos produtivos:

As indústrias inventariadas são responsáveis pela geração de aproximadamente 33.883 toneladas de resíduos por ano, sendo que 32.327 t/ano de resíduos são reutilizadas/reaproveitados, e 1.556 t/ano descartadas como “lixo” e encaminhados ao aterro municipal.

Dividindo o total de resíduos gerados pelo número de indústrias pesquisadas tem-se 916 t/ano/indústria. Esta geração pode ser considerada alta, se comparada às outras cidades já inventariadas, tais como Fortaleza, com 811 t/ano/indústria (SEMACE, 2004), Recife, com 900 t/ano/ indústria (CPRH/GTZ, 2000), Campina Grande, com 138 t/ano/ indústria (SUDEMA, 2004). Contudo, dividindo-se somente a quantidade de resíduos que são descartados como lixo, pelo número de indústrias pesquisadas tem-se 42,05 t/ano/indústria.

Esta quantidade é considerada baixa, comparada às cidades supracitadas.

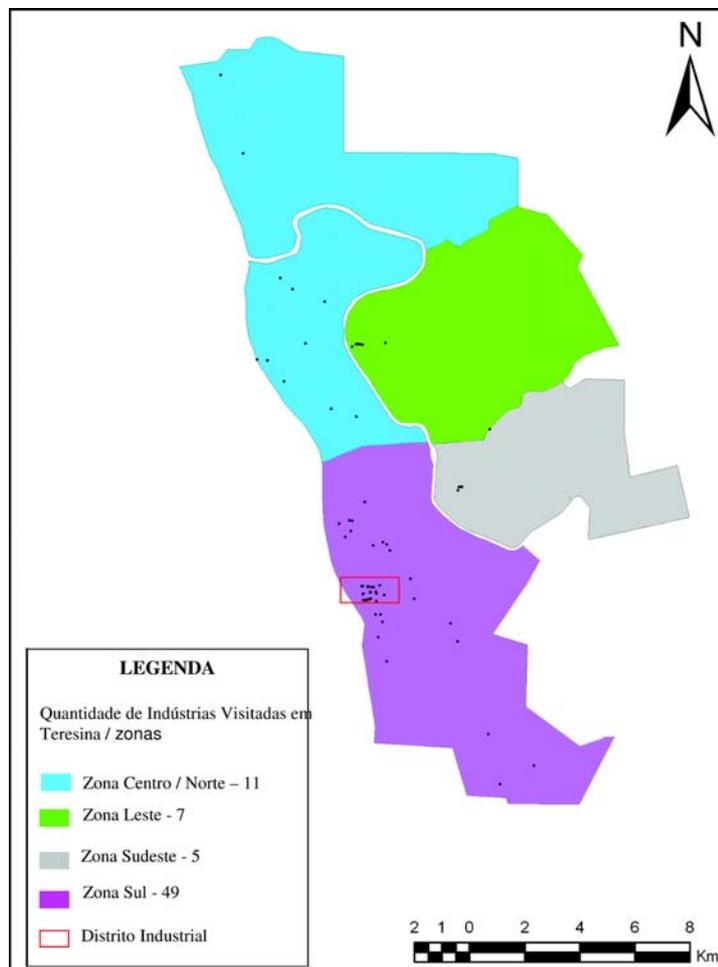
Porém, estima-se que a quantidade de resíduo descartado como “lixo” é bem maior, pois muitas indústrias que não reaproveitam seus resíduos, não informaram a quantidade de resíduos que produzem e descartam, por não terem o controle, ou por se recusarem a dar essas informações.

Pôde-se obter melhor informação sobre os resíduos que são reaproveitados/reutilizados, pois, como são reaproveitados, as indústrias têm um melhor controle sobre os mesmos.

Dos resíduos inventariados observou-se que houve uma maior geração nos resíduos de classe II A (Norma Brasileira NBR 10.004/04), conforme apresentado na Tabela 3. A Indústria de Bebidas foi a maior geradora de resíduos. Do mesmo modo, esta atividade também foi a mais representativa na geração de resíduo de classe II B. Com base nas tipologias levantadas a indústria de Bicicleta foi a mais representativa quantitativamente em resíduo de classe I.

Os resíduos perigosos, classe I, têm também uma geração concentrada na atividade gráfica, onde não foi possível obter informações referentes à quantidade.

**Figura 1: Distribuição dos pontos coletados. Localização das Indústrias por zonas. Teresina, Piauí. 2007.**



de de resíduos gerados, porém foi possível identificar os tipos de resíduos e avaliar o seu armazenamento e destinação final. Na atividade metalúrgica também não foi possível avaliar quantitativamente os resíduos gerados, porém foi possível também identificar os tipos de resíduos e avaliar a sua destinação final.

### Destinação Final e Armazenamento

Quanto à destinação final dos resíduos, os dados demonstraram que para os resíduos de classe I, a principal forma de destinação final foi o lançamento na sarjeta sem tratamento, com destino ao curso d'água, causando, conseqüentemente, contaminação da água. Dentre as demais atividades adotadas pelas indústri-

**Tabela 2: Tipos dos principais resíduos industriais gerados, Teresina, Piauí. 2007**

Tipologia Industrial	Descrição dos Resíduos
Indústria Química	Borras - pequenas embalagens de plástico
	Sobra de Mármore
	Aparas - Filmes e pequenas embalagens de plástico
	Resíduo de borracha
	Pó da lixa - Pó da Borracha
Indústria Cerâmica	Pó de fibras de vidro
	Resíduo de argila (Tijolos e Telhas "verdes")
	Tijolos e Telhas quebradas
	Cinzas
Indústria de Marmoraria	Retalhos de Pedra
	Pó de mármore
Indústria de Confeções	Retalho/fiapos de tecido
	Papel
	Lodo
	Resíduos químicos
Indústria de Móveis e estofados	Pó da madeira
	Artefatos de madeira
	Flocos
	Tecido
	Plástico
	Borra Tóxica
Indústria de Alimentação	Resíduo de mel
	Casca / bagaço
	Pó de arroz - cuim
	Xerém - arroz quebrado
	Pó de milho
	Fermento
	Aparas de plástico
Indústria de Bebida	Resíduo de leite
	Casca / bagaço do malte
	Resíduo fermento
	Vidro
	Alumínio
	Plástico
	Papelão
	Terra diatomácea
	Carvão ativo
	Lodo
	Cinza
Terra decantada	
Indústria de Calçado	Retalho de couro sintético
	Retalho de borracha
	Retalho de sola da PVC
	Papelão
Indústria de Recauchutagem	Pó de borracha de Pneu
	Plástico
Indústria de Bicicleta	Retalhos de ferro
	Retalhos de alumínio
	Retalhos de aço
	Tinta
	Lodo
Indústria Metalúrgica	Produto Químico
	Sucata de Metais Ferrosos
Indústria Gráfica	Filme impresso errado
	Produtos químicos (Revelador, Fixador, Restauralito)
	Chapa de Alumínio
	Aparas de papel

as, foi observada a queima do resíduo a céu aberto, tal como borra tóxica da atividade de móveis, causando poluição atmosférica e disposição em aterro municipal. Contudo, foi observado em uma pequena parte dos resíduos o tratamento dos mesmos em lagoas de tratamento.

Em relação aos resíduos de classe II A, observou-se que a mais freqüente destinação final foi o reaproveitamento na fabricação de outros produtos, representado em sua maioria, pelos resíduos da atividade de bebidas e alimentação, reaproveitando os resíduos (casca, bagaço do malte, fermento) para fabricação de ração animal, como também a indústria de móveis, que reaproveita os seus resíduos (pó e artefatos de madeira) como lenha.

Foi observado também o reaproveitamento dos resíduos gerados por outras atividades na fabricação do próprio produto, reaproveitando o resíduo da própria matéria-prima para fabricação do produto novamente, como verificado nas indústrias de cerâmicas, que reaproveitam o resíduo da sua matéria-prima (argila) na fabricação de seus produtos (tijolos e telhas).

Considerando os demais setores das atividades mencionadas e as demais atividades, as outras formas de destinação final foram a doação dos resíduos, como aparas de papel, para associações e população, bem como a venda do material para reciclagem, tal como o papelão, e disposição em aterro municipal, tais como o carvão ativo e a terra diatomácea da atividade de bebidas, conforme Tabela 4.

Quanto aos resíduos de classe II B, a principal destinação foi a venda dos resíduos para indústrias de reciclagem, tais como vidros, plásticos e alumínio, representados em sua maioria, pelos resíduos da atividade de bebidas, como também a venda dos resíduos da atividade metalúrgica para sucatas. Outras formas de reaproveitamento eram na fabricação de outros produtos, como o resíduo de borracha da atividade de recauchutagem, que era reaproveitado na indústria química, e na atividade de confeções eram feitas doações de seus resíduos (retalhos e fiapos de tecidos) para serem reaproveitados por associações e pela população. Uma última fração como retalho de couro sintético e retalho de borracha, da indústria de calçados, era destinada ao aterro municipal de acordo com a Tabela 5.

Fazendo uma análise da destinação final por tipologia, pôde-se observar que a indústria de bebidas é a atividade que mais se destaca por reaproveitar os seus resíduos na fabricação de outros produtos, bem como na venda do material para reciclagem e destinação ao aterro municipal. A indústria cerâmica é a que mais reaproveita os seus resíduos na fabricação do próprio produto, bem como faz doação dos seus resíduos para serem reaproveitados pela população, conforme apre-

senta a tabela 6, a qual mostra, também, o tipo de armazenamento utilizado pelas indústrias.

O armazenamento de resíduos sólidos industriais deve atender à legislação Pertinente: Normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), NBR 12.235/92 – Armazenamento de resíduos sólidos perigosos – Procedimento e NBR 1.1174/90 – Armazenamento de resíduos classes II A – não inertes e II B – inertes – Procedimento; Portaria nº 124, do Ministério do Interior (MINTER), de 20 de agosto de 1980, que dispõe sobre o acondicionamento, armazenamento temporário, tratamento, transporte e destino final para resíduos perigosos e industriais.

Num projeto de armazenamento de resíduos sólidos, devem ser observados critérios mínimos para a escolha da sua localização, bem como as seguintes condições de segurança: isolamento, sinalização, controle e operação. Além disso, devem ser consideradas as formas de acondicionamento e segregação dos resíduos dentro da área de armazenamento (BARROS, 1995).

Os resíduos devem ser armazenados de maneira a não possibilitar a alteração de sua classificação e de forma que sejam minimizados os riscos de danos ambientais.

Com relação à proteção ambiental, deve ser verificada a necessidade de adoção de medidas como: impermeabilização inferior da área; colocação de cobertura; instalação de sistema de drenagem de águas pluviais, de líquidos percolados e derramamentos acidentais; construção de bacias de contenção e de poços de monitoramento da qualidade das águas subterrâneas, etc (SCHALCH, 1999).

Nenhum tipo de resíduo pode ser armazenado (nem de forma temporária) diretamente no solo. O resíduo tem de ser colocado em embalagem impermeável (para os sólidos), com tampa, em pallet's (para ficar elevado do piso), com identificação externa, e em tanques de contenção (para os líquidos), devidamente protegidos da chuva para não prejudicar as características do resíduo (SCHALCH, 1999).

Foi observado na pesquisa que parte das indústrias visitadas armazena de forma inadequada os seus resíduos.

Constatou-se que as indústrias que mais impactam o meio ambiente estão dentro do setor de confecções e da atividade gráfica, pois lançam seus resíduos químicos, sem tratamento, em cursos d' água. O setor de bebidas pode ser caracterizado como de impacto ambiental intermediário, e sendo o setor de bicicleta de menor impacto ambiental.

### Impacto Ambiental e Porte Industrial

As empresas que mais “poluem”, de uma forma geral, são as de pequeno porte, pois não reaproveitam os seus resíduos, não tendo o controle dos mesmos, os

Tabela 3: Geração total dos resíduos por classe e tipologia industrial. Teresina, Piauí. 2007.

CLASSE	TIPOLOGIA	QUANTIDADE (t/ano)
I	Indústria de Confecções	40,0
I	Indústria de Bicicleta	52,0
I	Indústria Gráfica	-
I	Indústria de Móveis	-
II A	Indústria Química	0,136
II A	Indústria Cerâmica	1.183,4
II A	Indústria de Marmoraria	69,6
II A	Indústria de Confecções	30,2
II A	Indústria de Móveis	20,2
II A	Indústria Alimentícia	935,2
II A	Indústria de Bebidas	25.663,0
II B	Indústria Química	524,2
II B	Indústria Cerâmica	1.434,4
II B	Indústria de Marmoraria	33,6
II B	Indústria de Confecções	204,0
II B	Indústria de Móveis	7,2
II B	Indústria Alimentícia	15,0
II B	Indústria de Bebidas	3.588,0
II B	Indústria de Calçados	3,96
II B	Indústria de Recauchutagem	27,36
II B	Indústria de Bicicletas	51,12
II B	Indústria Metalúrgica	-
II B	Indústria Gráfica	-

Tabela 4: Destinação final do resíduo Classe II A. Teresina, Piauí. 2007.

Destinação final do resíduo	QTD (t/ano)
Reaproveitamento em outro produto	24.852,0
Reaproveitamento no próprio produto	1.183,4
Doação para associação e população	230,0
Vendido para reciclagem	218,6
Aterro Municipal	1.418,0

Tabela 5: Destinação final do resíduo Classe II B. Teresina, Piauí. 2007.

Destinação final do resíduo	QTD (t/ano)
Vendido para reciclagem	3.596,0
Vendido para sucatas	52,12
Reaproveitamento no próprio produto	152,4
Reaproveitamento em outro produto	1.983,2
Doação para associações e população	60,0
Aterro Municipal	45,96

Tabela 6: Formas de destinação final e armazenamento do resíduo por tipologia industrial. Teresina, Piauí. 2007.

Tipologia	Armazenamento do resíduo	Destinação final do resíduo	QTD (t/ano)
Química	Utilização imediata	Reaproveitamento no próprio produto	152,4
	Sacos de rafia em piso impermeável, área coberta	Reaproveitamento em outro produto	371,8
	A granel em solo descoberto	Aterro Municipal	0,136
Cerâmica	A granel em solo descoberto	Reaproveitamento no próprio produto	1.183,4
	A granel em solo descoberto	Reaproveitamento em outro produto	1.434,4
	A granel em solo descoberto	Doação para população	230,0
Marmoraria	A granel em solo descoberto	Reaproveitamento em outro produto	55,2
	A granel em solo descoberto	Aterro Municipal	48,0
Confecções	Caixotes de madeira, de plástico e tambores metálicos em piso impermeável, área coberta	Doação para associação e população	68
	Caixotes de madeira em piso impermeável, área coberta	Vendido para reciclagem	19,2
	Tambores de plástico em piso impermeável, área coberta; A granel em solo descoberto	Aterro Municipal	67
	Lagoa sem impermeabilização	Lançamento na sarjeta	-
Móveis	Sacos plásticos; caixotes de madeira em piso impermeável, área coberta	Reaproveitamento em outro produto	20,0
	Sacos plásticos em piso impermeável, área coberta	Vendido para reciclagem	7,2
	A granel em solo descoberto	Queima a céu aberto	0,09
Alimentícia	Tambores metálicos em piso impermeável, área coberta	Reaproveitamento em outro produto	935,22
	Sacos plásticos em piso impermeável, área coberta	Aterro Municipal	15,0
Bebidas	Silos fechados	Reaproveitamento em outro produto	24.074
	A granel em área coberta, caçamba	Vendido para reciclagem	3.807,0
	Silos de estocagem	Aterro Municipal	1.370
Calçados	Sacos de rafia em piso impermeável, área coberta	Aterro Municipal	3,96
Recauchutagem	A granel em solo coberto	Reaproveitamento em outro produto	23,4
	Tambores metálicos em piso impermeável, área coberta	Vendido para reciclagem	0,36
Bicicleta	Caixões de ferro em piso impermeável, área coberta	Vendido para reciclagem	51,12
	A granel em solo descoberto	Aterro Municipal	52
	Lagoa com impermeabilização	Tratamento	-
Metalúrgica	A granel em solo coberto	Vendido para sucatas	-
Gráfica	Sacos plásticos em piso impermeável, área coberta	Doação para população	-
	A granel em solo coberto	Aterro Municipal	-
	Tambores de plástico em piso impermeável, área coberta	Lançamento na sarjeta	-

quais são descartados como lixo. Tal fato se deve pela falta de fiscalização ambiental e por “pensar” que reaproveitar o resíduo aumenta os custos.

Porém, foi observado na pesquisa que, para reaproveitar o resíduo, o custo é ainda menor que armazenar e/ou transportar ao aterro de Teresina. Portanto, constatou-se que os pequenos empresários não revelaram conscientização quanto ao reaproveitamento de seus resíduos, que resulta em vantagens sociais, econômicas e ambientais.

As estratégias de proteção ambiental executadas nas indústrias de pequeno porte ainda são ineficientes, sobrepondo o aspecto econômico às questões ambientais.

Já as indústrias de grande porte demonstraram uma preocupação maior em reaproveitar os resíduos. Este fato se deve, provavelmente, por terem uma fiscalização ambiental maior e por terem consciência que os custos são menores.

Porém, as indústrias de grande porte se preocupam somente com os resíduos sólidos, deixando a desejar, quanto a um tratamento mais correto dos resíduos líquidos.

Observou-se que a maioria das indústrias não desenvolve nenhum programa de responsabilidade socioambiental e nem certificação ambiental e localiza-se em zona residencial de Teresina, o que agrava mais ainda as consequências de suas práticas inadequadas.

## **CONCLUSÃO**

A quantidade total de resíduos gerados pelas indústrias de Teresina é considerada alta, havendo a necessidade da gestão e do gerenciamento efetivo, por parte das empresas, principalmente as de pequeno porte.

A maior geração nos resíduos de classe II A, é da indústria de bebidas. Do mesmo modo, esta atividade também foi a mais representativa na geração de resíduo de classe II B, e a indústria de bicicleta a mais representativa quantitativamente em resíduo de classe I, tendo também representatividade a atividade gráfica.

Constatou-se que as indústrias que mais impactam o meio ambiente estão contidas no setor de confecções e atividade gráfica, pois lançam seus resíduos químicos sem tratamento em cursos d’ água. O setor de bebidas pode ser caracterizado como causador de impacto ambiental intermediário e o de bicicleta como de baixo impacto ambiental, tratando de forma adequada os seus resíduos.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Resíduos Sólidos. NBR – 10.004. Rio de Janeiro (RJ), 2004.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Armazenamento de resíduos sólidos peri-

gos – procedimento. NBR 12235. Rio de Janeiro, 1992.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Armazenamento de resíduos classe II - não inertes e III- inertes – procedimento. NBR 11174. Rio de Janeiro, 1990.

BARROS, Raphael T. de V. et alii. Saneamento. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, 1995. (Manual de Saneamento e Proteção Ambiental para os Municípios, 2).

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 313, de 29 de outubro de 2002. Brasília: Diário oficial da União, edição de 22 de novembro de 2002.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Resíduos Sólidos Industriais. São Paulo: CETESB, 1993.

CPRH/GTZ - Agência Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Inventário dos Resíduos Sólidos Industriais no Estado de Pernambuco. Recife: CPRH/GTZ, 2000.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DO PIAUÍ. Guia Industrial do Piauí. Teresina: FIEPI, 2000.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. Manual de Saneamento. 3. ed.- Brasília: Ministério da Saúde: Fundação Nacional de Saúde, 2004.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro: 2007. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/contagem2007/>. Acesso em: 23 de julho de 2009.

SCHALCH, V. Estudo da geração, acondicionamento, coleta e tratamento dos resíduos sólidos urbanos e industriais. Curso de Especialização em Engenharia Sanitária e Ambiental (apostila). Sergipe: UFS, 1999.

SEMACE - Superintendência Estadual do Meio Ambiente. Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Industriais. Fortaleza: SEMACE; MMA/FNMA, 2004.

SUDEMA - Superintendência de Administração do Meio Ambiente. Inventário de Resíduos Sólidos Industriais do Estado da Paraíba – Brasil. João Pessoa: SUDEMA, 2004.

<b>Informações Gerais da Indústria</b>
--

**I – Razão Social da Indústria**

<b>Nome Fantasia</b>	
----------------------	--

**II – Endereço**

<b>Logradouro/n.º</b>			
<b>Bairro/Distrito</b>		<b>Município</b>	
<b>Estado</b>		<b>CEP</b>	<b>CNPJ</b>

**III – Contato Técnico**

<b>Nome</b>	<b>Cargo</b>	
<b>E-mail</b>	<b>Telefone</b>	

**IV – Características da atividade industrial**

<b>1. Atividade principal da indústria</b>					
<b>2. Período de produção</b>					
<b>Horas por dia</b>		<b>Dias por semana</b>		<b>Meses por ano</b>	
<b>3. Área útil total (m²)</b>					
<b>4. Coordenadas Geográficas da unidade industrial</b>					
<b>Latitude</b>	<b>Graus</b>		<b>Minutos</b>		<b>Segundos</b>
<b>Longitude</b>	<b>Graus</b>		<b>Minutos</b>		<b>Segundos</b>

<b>Informações sobre o Processo de Produção da indústria</b>
--

**V – Matérias-primas e insumos utilizados**

Matérias-primas e Insumos	Quantidade Atual (por ano)	Capacidade Máxima (por ano)	Unidade de Medida

**VI – Produtos fabricados**

Produtos	Quantidade Atual (por ano)	Capacidade Máxima (por ano)	Unidade de Medida

<b>Etapas do Processo de Produção da Indústria</b>
--

Nome da Etapa	Descrição	Resíduos Gerados	Destino do resíduo
			<b>1-</b> Sem destino definido ( ) <b>2-</b> Com destino para a própria Indústria ( ) <b>3-</b> Com destino para fora da Indústria ( )

**1- Informações sobre os resíduos sólidos SEM DESTINO DEFINIDO****Resíduo:**

Descrição do Resíduo	Classe	Estado Físico

**Tipo de Armazenamento:**

Descrição do Tipo de Armazenamento:	Quantidade (tonelada/ano)

**2- Informações sobre os resíduos sólidos COM DESTINO PARA A PRÓPRIA INDÚSTRIA****Resíduo:**

Descrição do Resíduo	Classe	Estado Físico

**Tipo de Armazenamento:**

Descrição Armazenamento:	Quantidade (ton/ano)

**Tratamento, Reutilização, Reciclagem:**

Descrição:	Quantidade (ton/ano)

**3- Informações sobre os resíduos sólidos COM DESTINO PARA FORA DA INDÚSTRIA****Resíduo:**

Descrição do Resíduo	Classe	Estado Físico

**Tipo de Armazenamento:**

Descrição Armazenamento:	Quantidade (ton/ano):

**Destino:****Razão Social do Destino:****Endereço do Destino:****Bairro:****Município:****Estado:****Tratamento, Reutilização, Reciclagem:**

Descrição:	Quantidade (ton/ano):

**Dados pertinentes sobre a Indústria****Porte da Atividade (Nº de Funcionários)**

Grande	Médio	Pequeno

**Programa - Responsabilidade Sócio-Ambiental (certificação)** Sim - Especificar:  Não**Certificação**  Sim – Especificar  Não**Que tipo de energia é utilizada na empresa?**

Elétrica	Lenha	Caldeira

**Óleo:** **Gasto de Energia em termos de KW:****Caracterização do ecossistema no entorno da atividade****Especificar:**

# P&D, necessidade contínua no saneamento

A motivação para a Pesquisa e Desenvolvimento do setor de saneamento no Brasil certamente surgiu dentro das instituições responsáveis pela provisão dos seus serviços, inclusive para atendimento das suas próprias necessidades. Esses organismos só ganharam impulso a partir dos anos 70, porque, antes disso, mais da metade dos cerca de 93 milhões de habitantes da época moravam no campo. Portanto, a prática não tem meio século. Antecedendo a esse período, um dos poucos registros de atuação de emprego de técnicas apropriadas ao abastecimento de água e ao esgotamento sanitário ficou reservado para o então Departamento Nacional de Endemias Rurais (DNERu), que depois foi incorporado pela Fundação Nacional da Saúde (FNS).

O cenário mudou bastante na década de 70 com a forte migração da população para as grandes cidades, impondo a necessidade de uma estrutura mínima de urbanização. Também surgiu o Plano Nacional de Saneamento (Planasa), neste período, que deu origem às Companhias Estaduais de Saneamento Básico (CESBs) e com elas novos arranjos financeiros, políticos e institucionais, que contribuíram para a evolução do setor e a necessidade de estudos para a sua expansão.

Uma consistência maior em inovação e organização de pesquisa,

Sérgio Lapastina  
Maria Lucia Andrade

contudo, só veio ganhar alguma projeção a partir da década de 1980 nas universidades, com o início dos cursos de pós graduação, estruturação de laboratórios e elaboração de projetos. Ainda é na universidade, com maior incidência nas públicas, que está concentrada a maioria das iniciativas voltadas à pesquisa e ao desenvolvimento do setor.

## Especulações em torno do fim do Prosab

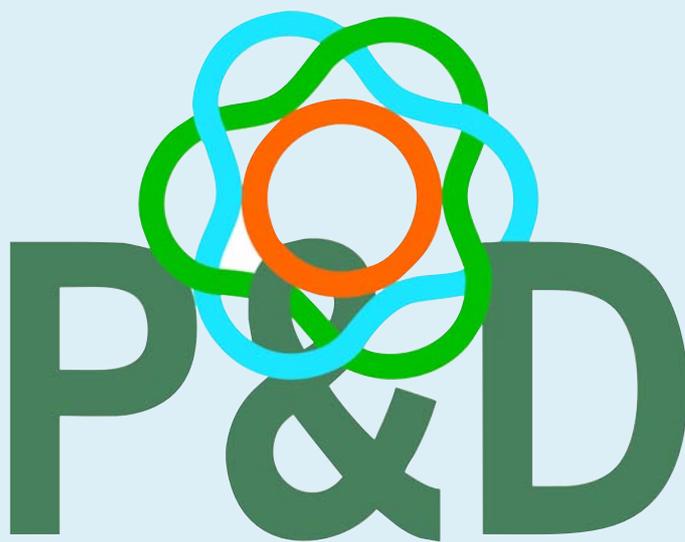
Posteriormente, nas décadas de 1990 e 2000, as pesquisas em saneamento no País ganharam

O objetivo difundido pelo programa é apoiar o desenvolvimento de pesquisas e o aperfeiçoamento de tecnologias nas áreas de águas de abastecimento, águas residuárias e resíduos sólidos que sejam de fácil aplicabilidade, baixo custo de instalação, operação e manutenção e que resultem na melhoria das condições de vida da população brasileira, especialmente as menos favorecidas. Entretanto há rumores que ele está em fase de desintegração.

Perguntada sobre a veracidade desta hipótese, a atual coordenadora do Prosab, Celia Maria Poppe de Figueiredo, não desmentiu e nem confirmou, sob a alegação de quem poderia responder pela questão era a Financiadora de Estudos e Projetos (Finep), órgão que incorpora o programa, ligado ao Ministério da Ciência e Tecnologia.

Um dos acadêmicos que em suas explanações cita a vulnerabilidade atual do programa é o professor de engenharia ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo, Ricardo Franci Gonçalves. Sua experiência na

área de engenharia sanitária abrange os sistemas de coleta e transporte de esgoto sanitário, tratamento de águas residuárias, reúso de águas, aproveitamento de fontes alternativas de água, racionalização do uso da água em edificações, gerenciamento de lodos do



mais incentivos, com programas específicos, como o Programa de Pesquisas em Saneamento Básico (Prosab), que, de acordo com a comunidade científica do setor, seria o mais consistente e contínuo programa de apoio induzido à pesquisa e desenvolvimento na área.

saneamento e controle de odores em estações de tratamento de águas residuárias.

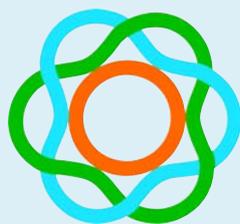
Franci Gonçalves afirma que se o Prosab não está sendo encaminhado para a extinção, ao menos está perdendo a sua identidade, uma vez que o seu atendimento não está sendo dirigido especificamente ao saneamento, como foi concebido. De acordo com suas alegações, outras vertentes, como o setor da habitação, que tem suas características e necessidades próprias, estão sendo contempladas pela atuação desse programa.

Em artigo intitulado "Será o fim do Prosab?", veiculado em outubro de 2009 (*Revista Engenharia Sanitária e Ambiental* / ABES - RJ), o professor da Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro e vice-presidente da Abes, Eduardo Pacheco Jordão, lembra que "criado há mais de 12 anos, o Prosab apresentava a característica inovadora de desenvolver seus trabalhos por meio de redes de pesquisa, em que universidades – tanto as mais experientes no setor, como os centros acadêmicos emergentes - e empresas de saneamento se uniram com o objetivo de trocar experiências, informações, metodologias, e trabalhar de forma complementar, assegurando uma fantástica cooperação e evitando superposições e lacunas temáticas entre os diferentes projetos beneficiados".

Contudo, continua o professor, "uma descontinuidade no desenvolvimento do programa já é observada, tendo-se passado mais de



**Ricardo Franci Gonçalves,** professor da Universidade Federal do Espírito Santo  
*"Se o Prosab não está sendo encaminhado para a extinção, ao menos está perdendo sua identidade"*



dez meses desde o encerramento dos últimos projetos, sem que um novo e esperado edital tenha sido lançado. Sem dúvida já se verificam consequências negativas no planejamento de ensino e pesquisa, perda de jovens pesquisadores e, certamente, impactos indesejados no setor".

Consultados sobre se teriam conhecimento de editais ou chamadas públicas atuais vindas por meio do Finep, pesquisadores docentes de universidades públicas de São Paulo, alegaram que não e também não sabem como está o andamento dessa questão.

A coordenadora Célia Poppe, por sua vez, destacou que o Prosab é um Programa de Pesquisa em Saneamento Básico que financia instituições de pesquisa, preferencialmente com estreita parceria com empresas prestadoras de serviços de saneamento, para o desenvolvimento de pesquisas em redes cooperativas em temas previamente determinados por um Grupo Coordenador multinstitucional. Essas instituições são selecionadas para apresentar projetos sobre esses temas por Chamadas Públicas. E ainda fez questão de deixar claro que o programa não atua na aplicação dessas tecnologias, só as oferece, por meio de livros e ma-

nuais publicados após cada Chamada. Então, esse material é distribuído gratuitamente para pesquisadores, bibliotecas e instituições que atuam na área de saneamento básico e estão disponíveis para cópia no sítio do Programa.

Com relação às contribuições do Prosab para o desenvolvimento e aperfeiçoamento de tecnologias de saneamento mais adequadas à realidade brasileira, a coordenadora destaca a recuperação do tratamento anaeróbico de esgotos sanitários, que resultou numa revisão das normas da ABNT para projetos hidráulico-sanitários de esgotos domésticos, e cuja utilização está cada dia mais se tornando realidade, inclusive em ETEs de grande porte, cujo projeto incluem um pré-tratamento anaeróbico.

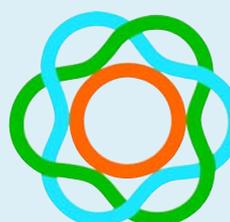
O Prosab também tem sua contribuição registrada na área de reúso de água, tratamento e utilização de lodo de esgoto e o desenvolvimento de alternativas de aterros sanitários sustentáveis

para comunidades de pequeno porte, como também na remoção de microorganismos emergentes e contaminantes orgânicos no tratamento de água.

Ainda de acordo com Célia Poppe, essa evolução de resultados se deve ao fato de existir um grupo coordenador que a cada nova chamada pública lançava temas que complementavam as tecnologias desenvolvidas na fase anterior. Por exemplo, na área de águas residuárias o primeiro edital estudou os reatores anaeróbios; no segundo, o pós-trata-



**Celia Maria Poppe de Figueiredo,** coordenadora do Prosab, destaca a recuperação do tratamento anaeróbico de esgotos sanitários, que resultou numa revisão das normas da ABNT.



mento dos efluentes desses reatores, no terceiro a desinfecção do esgoto tratado, no quarto o reúso desse esgoto, e assim por diante. Muito se falou, então, da importância que a continuidade do programa permitiu no passado, mas ninguém acena uma sequência de planejamentos para o futuro.

### O atendimento à população proporcionado pela P&D

A relevância da Pesquisa e Desenvolvimento para o setor de saneamento está inserida no desenvolvimento do próprio País. Existe um reconhecimento consensual de tal prioridade, bem como da contestação quando há carências no atendimento populacional. A coordenadora do Prosab acredita que quando se faz uma alteração numa ETE que reduz muito o consumo de energia, a população só vai perceber se houver uma diminuição de tarifa. Já quando se começa a tratar o esgoto de uma comunidade, que o tinha a céu aberto, ela vai perceber a alteração não só ambiental, como na sua condição de saúde. O mesmo se aplica quando se opera a substituição de um lixão por um aterro sanitário sustentável, ou áreas de alagamento e inundações por áreas urbanizadas através de um manejo adequado das águas pluviais.

Contudo, a despeito dos impactos captados pelas comunidades, de acordo com suas características, a perspectivas aventadas pelas construções de obras e instalações de saneamento, sempre são voltadas aos benefícios que trarão à população. A responsabilidade do setor, dentro desse contexto, envolve tanto as soluções de problemas técnicos como a validação e emprego das experiências comprovadas pelo campo da

pesquisa e do desenvolvimento, que assume um papel essencial no atendimento às expectativas de qualidade de vida.

As ações de saneamento no País, desde a formulação das políticas mais gerais até as ações operacionais mais específicas, tem uma cartilha de conquistas com tópicos continuamente perseguidos, como a universalização; a equivalência dos serviços para todas as regiões; a integralidade no conjunto de ações ao menos básicas, como o abastecimento de água e o esgotamento sanitário; a qualidade dos serviços, que resulta na regularidade: continuidade, eficiência e segurança. E o acesso para todos esses tópicos vem da pesquisa segmentada de cada região, que geralmente serve de base para a compatibilização de uma política de atuação para o desenvolvimento de cada necessidade.

### Em São Paulo, Sabesp e Fapesp juntas para a inovação

Com uma operação em saneamento que serve de referência para os demais estados do País, São Paulo ganha destaque em investimentos na pesquisa e desenvolvimento do setor. Em maio de 2009, a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp) e a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp) assinaram um acordo prevendo um investimento de até R\$ 50 milhões, voltados para

o financiamento de projetos propostos por pesquisadores de universidades e institutos de pesquisa paulistas e da empresa de saneamento. Cada instituição se comprometeu a arcar com a metade do aporte financeiro, ao longo de cinco anos.

O acordo foi firmado em sete temas de pesquisa: "Tecnologia de membranas filtrantes nas estações de tratamento de água e de esgoto"; "Alternativas de tratamento, disposição e utilização de lodo de

estações de tratamento de água e estações de tratamento de esgotos"; "Novas tecnologias para implantação, operação e manutenção de sistemas de distribuição de água e coleta de esgoto"; "Novas tecnologias para melhorias dos processos de operações unitárias"; "Monitoramento da qualidade da água"; "Eficiência energética"; e "Economia do saneamento".

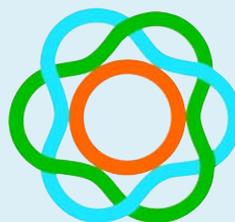
Segundo o presidente da Fapesp, Celso Lafer,

o desafio da melhoria nos processos de tratamento de água e esgoto, a fim de melhorar o bem-estar da população, tem abrangência global e deve ser visto como prioritário. O diretor científico da Fundação, Carlos Henrique de Brito Cruz, afirmou que o formato do acordo de cooperação, que também terá chamadas para propostas de pesquisa, permite que todos os pesquisadores possam ter



**Celso Lafer, presidente da Fapesp**

*"O desafio da melhoria nos processos de tratamento da água e esgoto tem abrangência global e deve ser visto como prioritário"*



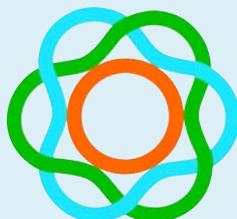
seus projetos avaliados. Do ponto de vista do avanço da ciência isso é importante, pois aumenta a chance de se encontrar boas ideias. Brito Cruz explica ainda que o acordo de cooperação se insere nas formas de apoio da Fapesp voltadas para as pesquisas que visam a aplicação – o que corresponde a cerca de 16% de seu orçamento.

Para o presidente da Sabesp, Gesner Oliveira, o grande objetivo desse acordo é a inovação, que gera o motor do crescimento. “Vivemos um momento do saneamento em que a inovação é particularmente importante, por três razões: há um aumento das demandas ambientais, a regulação está mais rigorosa graças à atuação do Estado e há um ambiente mais competitivo, já que a Sabesp não atua como monopólio. Essas três circunstâncias mudaram o quadro e exigem um salto que só poderá ser efetuado com proatividade”, disse. Oliveira ainda sustentou que a empresa está dedicada a promover a proatividade em suas 17 unidades que atendem a 336 municípios. “Para isso, estamos investindo nas parcerias com municípios, com instituições como a Fapesp e com universidades e institutos de pesquisas”, argumentou e admitiu que a Sabesp é a quinta maior empresa do mundo da área de saneamento e tem apenas 0,05% de seu faturamento aplicado em pesquisa e desenvolvimento e pretende aumentar essa proporção. As maiores empresas, como a Veolia e a GDF-Suez, gastam respectivamente

0,46% e 0,22% de seus orçamentos com atividades voltadas à inovação.



**Carlos Henrique de Brito Cruz, diretor científico da Fapesp**  
*“O formato do acordo com a Sabesp permite que todos os pesquisadores possam ter seus projetos avaliados”*



## Dois novos centros de desenvolvimento

Aliás, o Estado de São Paulo continua a se configurar como um dos principais pólos de oferta de oportunidades para o mercado de P&D. Recentemente o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) anunciou que, até o final de 2010 terá o mais moderno centro de pesquisas em bionanotecnologia do Brasil. Um investimento de R\$ 46 milhões será o responsável por um novo prédio de 8 mil metros quadrados para pesquisas em biotecnologia, tecnologia de partículas, micromanufatura de equipamentos e metrologia.

Segundo a Agência Fapesp, a nova edificação, que faz parte do projeto maior de modernização do IPT, terá custo de R\$ 21 milhões. Outros R\$ 25 milhões estão previstos para os equipamentos. Esses recursos são oriundos do governo do Estado de São Paulo, pois o IPT é ligado à Secretaria de Estado de Desenvolvimento de São Paulo.

“De acordo com o IPT, o projeto arquitetônico da nova unidade foi criado a partir de duas premissas: que a obra fosse a mais racional possível e que levasse em consideração a sensibilidade dos laboratórios a serem instalados no edifício – em relação ao conforto térmico, vibrações e instalações especiais. Os arquitetos projetaram, por exemplo, a fachada envidraçada voltada para o sul para

que a alta incidência de energia solar não atrapalhe o conforto térmico dos laboratórios”, relata a Fapesp.

O Estado também comemora o lançamento do edital de convocação de médias, pequenas e microempresas de base tecnológica interessadas em se instalar no Centro Empresarial I, localizado nas dependências do Parque Tecnológico de São José dos Campos, ligado à Secretaria de Desenvolvimento do Estado de São Paulo.

Com capacidade para abrigar 50 empresas, o Centro Empresarial I terá mais de 5 mil metros quadrados de área útil, divididos em espaços de até 300 metros quadrados que serão colocados à disposição das empresas selecionadas. Os empreendimentos pagarão a quantia de R\$ 10 por metro quadrado ocupado a título de contribuição associativa mensal.

A previsão é que, a partir de 1º de março de 2010, as empresas comecem a ser instaladas. A secretaria estima que sejam gerados cerca de 300 empregos de alta qualificação.

O mercado de saneamento, chega-se à conclusão, muito se enriqueceu nos últimos anos. Contudo é preciso que se assegurem fontes claras de financiamento para a geração de conhecimento, para a inovação, para que os esforços empreendidos em Pesquisa e Desenvolvimento não sejam relegados a segundo plano ou até mesmo perdido, frente a outros interesses que não o do aprimoramento de um serviço que, em qualquer sentido, é sinônimo de qualidade de vida. A Sabesp, aliás, é uma das empresas que já faz parte do Centro de Pesquisas de Recursos Hídricos, do Parque Tecnológico de São José dos Campos. Neste, o centro da empresa será o de trabalhar os recursos para a engenha-

ria de operação do saneamento, em especial sistemas de monitoramento remoto.

Recursos hídricos, captação e tratamento de água, tratamento de esgotos, qualidade da distribuição e redução de perdas são alguns dos índices criados e que podem ser monitorados no sistema que opera em ambiente de produção.

Segundo o engenheiro Fernando Lourenço Oliveira, do departamento de Gestão e desenvolvimento Operacional da Unidade de Negócios Vale do Paraíba, da Sabesp, "os resultados serão fruto das informações captadas por meio de um *software* que trabalha os dados e permite a criação dos mais variados índices de acompanhamento. As unidades monitoradas terão um retrato on line das ações que devem ser implementadas para a operação, com as soluções possíveis, sugeridas a partir da análise dos resultados".

Para Oto Elias Pinto, superintendente da unidade, "trata-se de uma forte inovação no setor de saneamento ambiental, criando outros paradigmas que aumentem a eficácia operacional e potencializam resultados, favorecendo a sustentabilidade. Acredito também que cooperaremos para enriquecer o currículo dos cursos voltados ao saneamento básico e ambiental, preparando técnicos para o grande desafio que é a universalização da prestação dos serviços no Estado de São Paulo e no Brasil".

A Sabesp irá atuar por meio de convênios com diversas entidades como Fapesp, Unifesp, Universidade de São Paulo e Instituto de Pesquisas Tecnológicas, entre outros, para disseminar o conheci-

mento e possibilitar a formação de profissionais especializados na operação dos sistemas de saneamento.

Fica uma dúvida: frente ao novo ambiente regulatório do saneamento básico brasileiro, como fica a questão de pesquisa e desenvolvimento tecnológico?

Movimentos e frentes com o Prosab, estariam assegurados? Seja em sua essência e em sua continuidade? Estariam livres de ingerências políticas que comprometeriam sua continuidade? Haverá mais atuação na questão da qualificação dos profissionais e sua inserção no mercado de trabalho?

Na recente coletânea "Lei Nacional de Saneamento Básico - Perspectivas para as políticas e a gestão dos serviços públicos" - Livro 1, a engenheira e consultora Berenice de Souza Cordeiro, coloca em seu artigo "Capacitação em saneamento - conteúdos para uma nova agenda":

"É preciso sensibilizar e motivar, principalmente, os gestores e o corpo técnico que cuidam do Saneamento Básico em nossas cidades

para que se empenhem em estudar as leis com o objetivo de extrair deste novo ambiente as oportunidades que se abrem, bem como as necessidades de mudança de postura pública, dos processos de trabalho e da forma como se concebe, planeja e presta serviços públicos de Saneamento Básico em nosso País".

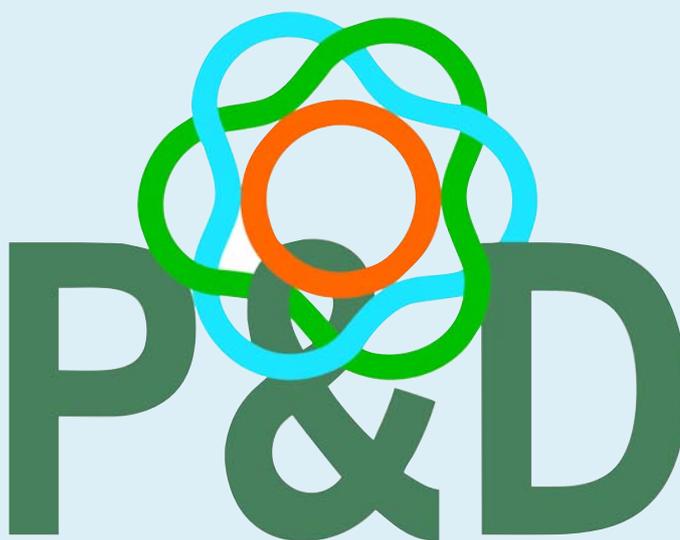
A regulação, além de uma grande novidade, que exige mesmo estudo e novas formas de atuação por parte de todos os públicos envolvidos no ciclo da prestação dos serviços de saneamento básico, deve assegurar o desenvolvimento e a estruturação de novas frentes de pesquisa. O Prosab sem dúvida alguma apresentou-se como

um modelo de excelência, mas o que se vê na atualidade é que enfrenta problemas na sua continuidade e na sua caracterização.

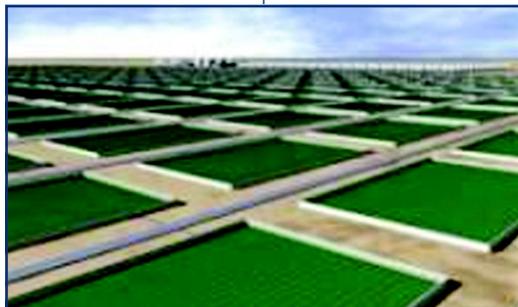
A regulação deve observar princípios de segurança de continuidade para esse aspecto. Se as políticas até hoje alocadas para esse fim não lograram êxito em se configurar como modelos de incentivo ao desenvolvimento, a regulação do setor, como coloca o prof. Carlos Augusto de Lemos Chernicharo, em "Lei Nacional de Saneamento Básico - Perspectivas para as políticas e a gestão dos serviços públicos" - Livro 3, é de que a elaboração de um plano diretor de pesquisas em saneamento, forneça as bases e respalde um futuro política de pesquisas na área.



**Gesner Oliveira,**  
presidente da  
Sabesp  
*"Esta empresa  
não atua como  
monopólio.  
Existe um ambiente  
mais competitivo."*



# /// Notas



Assim ficarão os tanques de produção de algas verde-azuladas.

## Em marcha, o etanol das algas

A empresa mexicana BioFields vai produzir em grande escala, a partir de 2014, biocombustível a partir de algas, em uma fábrica localizada a 300 quilômetros de distância dos Estados Unidos, que será seu principal cliente. A empresa espera revolucionar o mercado de biocombustíveis. “O grande êxito desta tecnologia é que encontramos uma alga que secreta o etanol naturalmente, economizando dois processos industriais: fermentação e síntese em etanol. Isso faz com que cada microorganismo seja uma minifábrica”, afirmou Ramírez.

Para que as algas cresçam e se reproduzam, elas serão colocadas em tanques com sacos plásticos cheios de água salgada, que será bombeada do Mar de Cortés, distante alguns metros da fábrica, explicou. As algas se alimentarão de radiação solar, nitratos e dióxido de carbono lançado por uma das termoelétricas mais poluentes do México, localizada em Puerto Libertad. Para absorver esse dióxido de carbono, a fábrica-piloto será construída em um terreno de 1,5 hectare dentro da termoelétrica, propriedade da Comissão Federal de Eletricidade (CFE), entidade geradora paraestatal do México.

**Fonte:** Este artigo é parte integrante de uma série produzida pela IPS (Inter Press Service) e pela IFEJ (Federação Internacional de Jornalistas Ambientais) para a Aliança de Comunicadores para o Desenvolvimento Sustentável (<http://www.complusalliance.org>).

## Sucção e filtragem eliminam vapor de combustíveis do solo

O solo de terrenos que abrigaram postos de gasolina pode conter vapores de combustíveis que apresentam alto teor de explosividade. Na Escola Politécnica (Poli) da USP, uma pesquisa analisou uma área contaminada e verificou a eficiência das técnicas de sucção e filtragem dos vapores como parte da estratégia de remediação do solo. A remoção dos gases é necessária por causa do risco de focos de explosões caso o solo seja escavado e os vapores cheguem a atmosfera. Os vapores de combustíveis foram removidos por meio de uma técnica conhecida como Soil Vapor Extraction. “O método consiste na instalação de drenos no solo para realizar a sucção dos vapores”, explica a pesquisadora. “O material removido passa por um filtro de carvão ativado, que retém as substâncias perigosas”. Após a retirada dos vapores, são necessárias outras medidas para a completa descontaminação da área. “Também é necessário fazer tratamentos específicos para as águas subterrâneas e o solo na região afetada”, destaca a Eng<sup>a</sup>Vivian Leme Sanches e explica que durante a pesquisa procurou associar os aspectos científicos e na avaliação e reabilitação de terrenos. O trabalho de mestrado da engenheira foi orientado pelo professor Roberto La Laina, do Departamento de Engenharia Civil da Poli, e teve co-orientação da professora Maria Eugênia Boscov, também da Poli.



Solo com vapor de combustível pode ter focos de explosões

Mais informações: [sanchesvivian@hotmail.com](mailto:sanchesvivian@hotmail.com)

Fonte: Agência USP de notícias <http://www.usp.br/agen/?p=11274>

## Documento traz impacto da pecuária no meio ambiente

Cientistas do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (Cena) e da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (Esalq) da USP, em Piracicaba, liderados pelo professor Carlos Clemente Cerri, acabaram de publicar a revisão intitulada "Emissões de gases do efeito estufa do Brasil: Importância da agricultura e pastagem". O artigo está disponível no volume 66, número 6, da revista científica Scientia Agricola, da Esalq. A revisão apresenta cálculos feitos com base em cinco fontes de emissão – energia, processos industriais, agricultura, mudança de uso da terra e resíduos – bem como de suas sub-fontes, com muito detalhamento, além de oferecer um quadro inédito de emissões do Brasil. Segundo o documento, a pecuária é o setor que merece maior atenção, pois ela tem um papel muito importante nas emissões do território brasileiro.

Mais informações: (19) 3429-4727, com o professor Carlos Clemente Cerri

Fonte: <http://www4.usp.br/index.php/meio-ambiente/17917-artigo-da-scientia-agricola-relata-impactos-da-pecuaria-ao-meio-ambiente>.



## /// Publicações

### A Economia do Saneamento

**Organizadores: Gesner Oliveira e Pedro Scazufca**

**Editora Singular**

"A Economia do Saneamento no Brasil", dos organizadores Gesner Oliveira e Pedro Scazufca, traz contribuições valiosas sobre os impactos do marco regulatório no setor de saneamento e os desafios para ampliar os serviços e os índices de atendimento. Com prefácio de Dilma Pena, Secretária de Saneamento e Energia, o livro conta com 17 colaboradores e explora as alterações do saneamento trazidas pelas mudanças ocorridas no marco regulatório. Os artigos foram divididos em três partes: o marco regulatório do saneamento, dimensões da concorrência no setor e os impactos multisetoriais e externalidades.



### Cultivo do palmito-juçara (*Euterpe edulis Mart.*) - Produção de palmito e restauração florestal

**Sebastião Venâncio Martins, do Departamento de Engenharia Florestal da UFV, e Maurício Novaes Souza, do IF SEMG Sudeste de Minas, campus São João del-Rei**

**Editora Aprenda Fácil (31 3899 - 7080, Grupo CPT, [www.cpt.com.br](http://www.cpt.com.br)).**

O livro reúne informações a respeito da palmeira nativa Juçara, de forma mais acessível aos estudantes de Engenharia Florestal, Biologia, Agronomia e outras, Técnicos, Produtores Rurais e demais interessados em sua conservação e em seu cultivo para fins comerciais e como alternativas para auxiliar na restauração florestal da Mata Atlântica.



## Meio Ambiente, Saneamento e Engenharia no Império e na Primeira República



**Simone Fadel**  
Editora Garamond

Um histórico das ações de um grupo de engenheiros que, no início do século XX, formou a Comissão Federal de Saneamento da Baixada Fluminense entre 1910 e 1916. Na época, sanear era “nacionalizar”, no sentido de tornar pertencente à nação. Foi uma

iniciativa que se utilizou de recursos orçamentários públicos para traçar caminhos de intervenção técnica no meio ambiente, especificamente nas bacias hidrográficas que tornavam a Baixada Fluminense um espaço social marcadamente insalubre e desvalorizado.

A obra é centrada na figura do engenheiro-chefe da Comissão, o “bacharel em ciências físicas e matemáticas” Fábio Hostílio de Moraes Rego (1849-1917), maranhense que se fez engenheiro civil na prática profissional ainda nas décadas finais do Império e que, com e como tantos outros colegas, construiu e procurou pôr em prática uma agenda de mudanças sociais e de progresso técnico para o país.

## Desvendando Questões Ambientais com Isótopos Estáveis



**Luiza Martinelli**  
Editora Oficina de Textos

Apresentação da metodologia do uso dos isótopos estáveis dos elementos mais comumente utilizados, como carbono, nitrogênio, oxigênio e hidrogênio, e seus campos de aplicação. Uma ferramenta investigativa.

## Lei Nacional de Saneamento Básico: Perspectivas para as políticas e a gestão dos serviços públicos

Essa coletânea vem atender à necessidade de consolidação de um conjunto amplo, articulado e sistematizado com diferentes pontos de vista e reflexões acerca dos desafios e oportunidades para o aperfeiçoamento da gestão e da condução das políticas públicas para o saneamento básico, traduzido

sob a luz do novo ordenamento jurídico advindo da Lei 11.445 de 05 de Janeiro de 2007.



## Saneamento básico Estudos e pareceres à luz da Lei nº 11.445/2007

**Organizado por  
Juliana Picinin**

O objetivo do livro é suprir a necessidade dos operadores do Direito quanto à falta de obras específicas sobre saneamento Básico. O trabalho aborda os principais temas advindos da lei e outras normas de saneamento. Nesse sentido, são examinados temas como princípios fundamentais dos serviços públicos de saneamento, gestão associada à execução desses serviços, competência para a sua prestação e natureza



da remuneração advinda dessa prestação, aspectos essenciais dos contratos de concessão, planejamento municipal dos serviços, bem como a atividade regulatória exercida sobre os mesmos.

# /// Calendário de eventos

## Janeiro 2010

### 7th EverythingAboutWater Expo 2010



**Data e local:** 7 a 9 de janeiro  
Chennai Trade Centre, Chennai - Tamil Nadu - Índia  
[www.biztradeshows.com/everything-about-water/](http://www.biztradeshows.com/everything-about-water/)

### 1st MENA Water Resource World



**Data e local:** 19 a 20 de janeiro  
Radisson Blu Hotel, Dubai Deira Creek - Plaza 2, 20th Floor Dubai Índia  
[www.emtevents.com/?ev=100104](http://www.emtevents.com/?ev=100104)

## Fevereiro 2010

### The Utility Management Conference 2010



**Data e local:** 21 a 24 de fevereiro  
Radisson Blu Hotel, Dubai Deira Creek - Plaza 2, 20th Floor- San Francisco - Califórnia - USA  
[www.wef.org/UtilityManagement/](http://www.wef.org/UtilityManagement/)

## Março 2010

### II Latinosan - Conferência Latino-Americana de Saneamento



**Data e local:** 14 a 18 de março  
Hotel Rafain Palace  
Foz do Iguaçu / PR Brasil  
[www.aidis.org.br/PDF/FolderLatinosan2010.pdf](http://www.aidis.org.br/PDF/FolderLatinosan2010.pdf)

### Curso de Cargas Difusas



**Data e local:** 2 a 4 de março  
Sede da ABES - Seção São Paulo - Rua Eugênio de Medeiros, 242 - Pinheiros / SP Brasil  
[www.abes.org.br/novosite/inicio/programacao\\_cargas\\_Difusas.doc](http://www.abes.org.br/novosite/inicio/programacao_cargas_Difusas.doc)

### Decentralized Wastewater Treatment Solutions in Developing Countries and Exhibition



**Data e local:** 23 a 25 de março  
The Sheraton Surabaya Hotel & Towers  
Jalan Embong Malang 25-31 Surabaya 60261- Indonésia  
tel: 62-21-5468000  
[www.starwoodhotels.com/sheraton/property/overview/index.html?propertyID-164](http://www.starwoodhotels.com/sheraton/property/overview/index.html?propertyID-164)

Surabaya - Indonésia  
[www.dewats-surabaya.com/](http://www.dewats-surabaya.com/)

## 2ND IWA/WEF Wastewater Treatment Modelling Seminar

**Data e local:** 28 a 30 de março

Hôtel de Villégiature et Congrès 500, boulevard du Beau-Pré, Beaupré (Québec) GOA 1EO, Canadá Phone: +1-418=8257-5211/www.chateausa.com/en/

Mont-Sainte-Anne / Québec Canadá

WWTmod2010@model

EAU.org/

**Abril 2010**

## 9TH IWA Specialised Group Conference on Small Water and Wastewater systems & 2nd IWA Specialised Group on Resources Oriented Sanitation



International  
Water Associati~~k~~

**Data e local:** 19 a 22 de abril

Girona Catalonia- Espanha

s2smail2010.udg.edu/iwa/

## Ambiental EXPO 2010 - 2ª Feira Internacional de Equipamentos e Soluções para o Meio Ambiente



**Data e local:** 27 a 29 de abril

Pavilhão de Exposições do Anhembi, São Paulo

São Paulo/SP Brasil

www.ambienteexpo.com.br/

## REVISTA DAE ONLINE

### O PERIÓDICO PODE SER BAIXADO NA INTERNET

A *Revista DAE*, uma publicação científica da Sabesp voltada para a área de saneamento e meio ambiente, voltou a circular no mês de agosto de 2007 através de distribuição gratuita encaminhada exclusivamente para pessoas jurídicas, ONG's, universidades, institutos de pesquisas, enfim, para toda entidade e grupo representativo da área de saneamento e meio ambiente.

Temos uma tiragem limitada e, portanto, não podemos encaminhá-las para pessoas físicas. Mas todo o conteúdo da revista está disponível no nosso site [www.revistadae.com.br](http://www.revistadae.com.br). Há, inclusive, a possibilidade de impressão. O site da DAE foi remodelado para se tornar uma central de informações voltada para a área de saneamento e meio ambiente. Além das revistas, também disponibilizamos a leitura de todos os resumos dos artigos técnicos publicados desde a primeira edição da DAE, em 1936. Para ter acesso ao artigo completo basta fazer uma solicitação no próprio site que o texto completo é encaminhado. Temos muitas novidades para você. Faça-nos uma visita. Será um prazer recebê-lo (a).

**Assine gratuitamente  
o boletim eletrônico.  
É só se cadastrar.**



[www.revistadae.com.br](http://www.revistadae.com.br)

## Parceria com você

A Companhia de Saneamento Básico de São Paulo (Sabesp) tem entre suas prioridades preservar o meio ambiente e garantir a qualidade dos recursos hídricos.

Em 2009, a empresa seguiu sua estratégia para melhorar o sistema de coleta e tratamento de esgotos e despoluir represas, córregos e canais.

Para que esses investimentos continuem tendo sucesso, é fundamental a colaboração de todos. Atitudes simples, como reciclar e jogar o lixo no lugar adequado, evitam poluir a natureza.

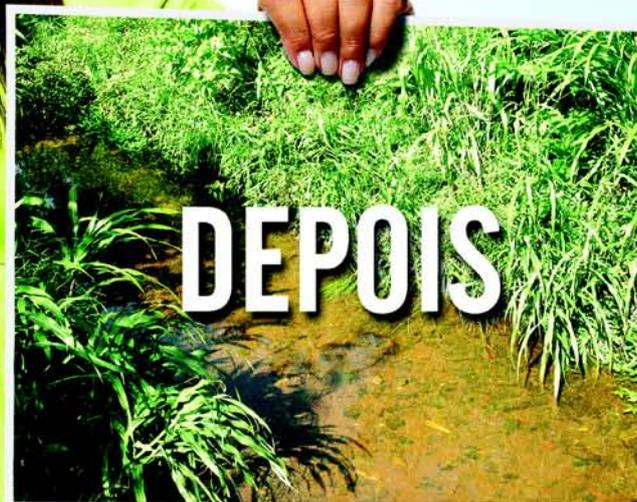
[www.sabesp.com.br](http://www.sabesp.com.br)

Represa do Jaguari  
Sistema Cantareira



**ANTES, TINHA CHEIRO  
DE ESGOTO. AGORA,  
TEM CÓRREGO LIMPO.**

Suzete Luciano – Moradora  
Córrego Caxingui (zona oeste)



- 42 CÓRREGOS JÁ DESPOLUÍDOS
- R\$ 90 MILHÕES INVESTIDOS
- SERÃO 100 CÓRREGOS DESPOLUÍDOS ATÉ 2010
- MAIS DE 800 MIL PESSOAS BENEFICIADAS ATÉ AGORA

O Governo de São Paulo, em parceria com a Prefeitura, já despoluiu 42 córregos da capital com o Programa Córrego Limpo. E serão 100 até 2010. Para diminuir o mau cheiro, as doenças, as enchentes, além de diminuir a poluição dos rios Tietê e Pinheiros. Faça sua parte e não deixe o lixo nem o esgoto voltarem para lá.

