



Fundação Nacional de Saúde

CADERNO DE PESQUISA EM ENGENHARIA DE SAÚDE PÚBLICA

8°

Fundação Nacional de Saúde

**8º Caderno de Pesquisa em
Engenharia de Saúde Pública**

Estudos e Pesquisas

**Funasa
Brasília/DF, 2017**



Esta obra é disponibilizada nos termos da Licença Creative Commons – Atribuição – Não Comercial – Compartilhamento pela mesma licença 4.0 Internacional. É permitida a reprodução parcial ou total desta obra, desde que citada a fonte. A coleção institucional do Ministério da Saúde pode ser acessada, na íntegra, na Biblioteca Virtual em

Saúde do Ministério da Saúde:

Tiragem: 1ª edição – 2017 – 3.000 exemplares

Elaboração, distribuição e informações:

MINISTÉRIO DA SAÚDE

Fundação Nacional de Saúde

Departamento de Engenharia de Saúde Pública (Densp)

Coordenação Geral de Cooperação Técnica (Cgcot)

Coordenação de Desenvolvimento Tecnológico em Engenharia Sanitária (Codet)

SAUS Quadra 4, Bloco N, 6º andar, Ala Sul

CEP: 70.070-040 – Brasília/DF

Tel.: (61) 3314-6278 3314-6518 3314-6233

Home page: <http://www.funasa.gov.br>

Elaboração:

Filomena Kotaka

Alexandra Lima da Costa

Rosa Maria Vahia Terzella

Selma Irene Antonio

Autores das pesquisas:

André Luis Calado Araújo

Bernardo Arantes do Nascimento Teixeira

Pablo Heleno Sezerino e Dirceu Scaratti

José Tavares de Sousa

Luiz Roberto Santos Moraes

Peter Batista Cheung

Editor:

Coordenação de Comunicação Social (Coesc/GabPr/Funasa/MS)

Divisão de Editoração e Mídias de Rede (Diedi)

SAS Quadra 4, Bloco N, 2º andar, Ala Norte

CEP: 70.070-040 – Brasília/DF

Diagramação:

All Type Assessoria Editorial Ltda

Impresso no Brasil/*Printed in Brazil*

Ficha Catalográfica

Brasil. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde.

8º Caderno de pesquisa em Engenharia de Saúde Pública / Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde.– Brasília : Funasa, 2017

240 p.

ISBN: 978-85-7346-053-7

1. Pesquisa em Saneamento. 2. Gestão em saneamento. 3. Saneamento básico. I. Título.
CDU.628

Título para indexação:

Em inglês: 8th Research Book in Public Health Engineering

Em espanhol: 8º Caderno de Investigación de Ingeniería de Salud Pública

Sumário

Apresentação	5
Tecnologia de tratamento de lodo de tanque séptico unifamiliar conjuntamente com resíduos sólidos orgânicos aplicada em municípios de pequeno porte do semiárido paraibano – Tectraloro	7
Avaliação operacional e da eficiência de lagoas de estabilização no Estado do Rio Grande do Norte	39
Adaptação de Parâmetros de Projeto para Lagoas de Estabilização Aplicáveis às Condições Climáticas da Bacia Hidrográfica do Rio do Peixe, Região Meio Oeste do Estado de Santa Catarina/LAGPEIXE	73
Modelos de Gestão dos Serviços de Saneamento no Brasil: Limites e Possibilidades	107
Saneamento Ambiental, Sustentabilidade e Permacultura em Assentamentos Rurais – Samspar	165
Uso associado de técnicas computacionais e de experimentação voltado ao gerenciamento de perdas em sistemas de abastecimento de água	197
Relação das Pesquisas conveniadas/selecionadas pela Funasa Programa de Pesquisa em Saúde e Saneamento	227



Apresentação

O Caderno de Pesquisas nº 8 apresenta os resumos executivos de seis pesquisas financiadas pela Funasa, resultantes do Edital 01/2007 do Programa de Pesquisa em Saúde e Saneamento.

As pesquisas desse Caderno são nas áreas de abastecimento de água, esgotamento sanitário e gestão em engenharia de saúde pública, temas relevantes para o desenvolvimento do saneamento básico no País, contribuindo para a missão da Funasa de “promover a saúde pública e a inclusão social por meio de ações de saneamento e saúde ambiental”.

Na área de abastecimento de água, foi desenvolvida a pesquisa “Uso associado de técnicas computacionais e de experimentação voltado ao gerenciamento de perdas em sistemas de abastecimento de água”, realizada pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Considerando a dificuldade de planos de gestão de perdas de água em municípios pequenos (até 50.000 habitantes), desenvolveu-se uma metodologia para auxiliar a elaboração desses planos usando tecnologias disponíveis no mercado e de fácil acesso.

Na área de esgotamento sanitário foram realizadas três pesquisas, duas na Região Nordeste e uma na Região Sul.

A pesquisa “Avaliação operacional e da eficiência de lagoas de estabilização no Estado do Rio Grande do Norte (RN)” foi realizada pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN) e Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Analisados sistemas de lagoas de estabilização existentes no RN, os resultados mostraram problemas na operação e manutenção das ETEs. Foram recomendadas medidas para a melhoria da eficiência nos sistemas estudados.

A pesquisa “Adaptação de Parâmetros de Projeto para Lagoas de Estabilização Aplicáveis às Condições Climáticas da Bacia Hidrográfica do Rio do Peixe, Região Meio Oeste do Estado de Santa Catarina (SC)” foi realizada pela Universidade do Oeste Catarinense (Unoesc). Monitoradas lagoas de estabilização, foram detectadas incoerências de concepção e dimensionamento quando da implantação das lagoas, tornando-se impraticável a recomendação de parâmetros de projeto.

A pesquisa “Tecnologia de tratamento de lodo de tanque séptico unifamiliar conjuntamente com resíduos sólidos orgânicos aplicada em municípios de pequeno porte do semiárido paraibano” foi desenvolvida pela Universidade Estadual da Paraíba (UEPB). Os resultados apresentam informações básicas sobre compostagem conjugada de resíduos sólidos orgânicos para populações de áreas periurbana e rural que utilizam tanques sépticos nos seus domicílios e que geram lodo e outros resíduos orgânicos putrescíveis que não são tratados adequadamente.

Na área de gestão em engenharia de saúde pública são apresentados os resultados de duas pesquisas.

A pesquisa “Modelos de gestão dos serviços de saneamento no Brasil: limites e possibilidades” foi desenvolvida pela Universidade Federal da Bahia (UFBA). Apresenta análise de dados sobre prestação dos serviços de abastecimento de água, esgotamento sanitário e limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos. Os resultados mostram que a maioria dos municípios da amostra não dispõe ainda de política municipal de saneamento básico, de entidade de planejamento dos serviços e de plano municipal como instrumento de planejamento, de entidades e instrumentos de regulação e de fiscalização e de instâncias de controle social dos serviços públicos de saneamento básico.

A pesquisa “Saneamento ambiental, sustentabilidade e permacultura em assentamentos rurais” foi realizada pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). A pesquisa teve como objetivo estudar alternativas de infraestruturas de saneamento ambiental, capacitando os agentes envolvidos na busca de soluções mais sustentáveis, utilizando técnicas e conceitos da permacultura nos sistemas de saneamento e uso e ocupação adequados dos lotes de um assentamento rural.

Os Cadernos de Pesquisa e os Relatórios Finais completos e concluídos estão disponibilizados na página eletrônica da Funasa <http://www.funasa.gov.br>, no link Publicações/Estudos e Pesquisas.

Tecnologia de tratamento de lodo de tanque séptico unifamiliar conjuntamente com resíduos sólidos orgânicos aplicada em municípios de pequeno porte do semiárido paraibano – Tectraloro

José Tavares de Sousa – Coordenador - Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

Valderi Duarte Leite – Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

Monica Maria Pereira da Silva – Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

Wilton Silva Lopes – Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

Beatriz Susana Ovruski de Ceballos – Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

Resumo

A presente pesquisa tem como objetivo apresentar informações básicas sobre compostagem conjugada de resíduos sólidos orgânicos para populações de áreas periurbana e rural que utilizam tanques sépticos nos seus domicílios e que geram lodo e outros resíduos orgânicos putrescíveis que não são tratados adequadamente. Durante o desenvolvimento do projeto foram realizados encontros e oficinas com a participação da comunidade estudada, buscando trocar experiência com relação à caracterização de lodo de tanques sépticos, de resíduos sólidos orgânicos domiciliares e agrícolas, de processo de compostagem conjugada com vistas a difundir esses conhecimentos e superar preconceito em relação ao uso de adubo orgânico originado de lodo de esgoto. No propósito de contribuir e ampliar o conhecimento junto à comunidade de Malhada da Roça distrito de São João do Cariri, no estado da Paraíba, foram instaladas e monitoradas, em escala piloto, duas pilhas de compostagem: pilha 1, compostando resíduos vegetais (resto de legumes e cascas de frutas), lodo de tanque séptico e folhas de poda; pilha 2, compostando esterco

bovino e lodo de tanque séptico. O processo de compostagem conjugada de ambas as pilhas propiciou significativa eficiência na remoção de ovos de helmintos e coliformes termotolerantes, produzindo portanto composto (biossólidos) de boa qualidade sanitária podendo ser utilizado no solo para a agricultura conforme a Instrução Normativa nº 25, de 23 de julho de 2009, do DAS (BRASIL, 2009). Ao compostar lodo de tanque séptico com resíduos vegetais com teor de umidade em torno de 65%, foi produzido cerca de 11% de biossólidos enquanto a compostagem de lodo com esterco bovino com 63% de umidade a eficiência de produção foi de 70% de composto com grande maioria na forma de pó (82%), espessura de 2 mm e considerável teor de macronutrientes atendendo aos requisitos da legislação (BRASIL, 2009).

Palavras-chave: lodos de tanques sépticos; resíduos sólidos orgânicos; cocompostagem.

Abstract

This study aims to present basic information about the co-composting of organic solid waste from peri-urban and rural populations with sludge from residential septic tanks and other putrefying organic solids that are not treated adequately. During the development of the project meetings and workshops were initiated with the participating “study” community so as to permit the exchange of experiences in relation to the characterization of sludge from the septic tanks, and the domestic and agricultural organic residues of the co-composting process with the objective of overcoming any prejudice associated with the use of compost originating from sewage sludge. With the intention of both contributing to and increasing knowledge within the community of the “Malhada da Roça” district of the town of São João do Cariri in the State of Paraíba, two pilot-scale compost piles were installed and monitored: Pile 1 co-composting vegetable and fruit skins, cutting and septic tank sludge; Pile 2 composting cattle manure and septic tank sludge. The co-composting process in both piles demonstrated efficient removal of helminthes eggs and thermo-tolerant coliform bacteria and the production of humus of good sanitary quality suitable for use in agriculture conforming to the standards set out in Directive No 25, 2009 of the Ministry of Agriculture (Brazil, 2009). The co-composting of septic tank sludge with vegetable residues with a level of humidity of 66% produced in the region of 11% biosolids and the co-composting septic tank sludge with cattle manure with 62% humidity produced 70% compost with the great majority of the material (82%) in the form of granules with a thickness of 2mm, a considerable level of macro-nutrients and meeting legislative requirements (Brazil, 2009).

Keywords: Septic tank sludge, organic residual solids, cocomposting.

1. Introdução

No Brasil os serviços de coleta de esgotos beneficiam apenas 57,4% da população urbana e 5,3% da população rural. Estima-se que 42% dos domicílios, aproximadamente 80 milhões de habitantes: 68 milhões da área urbana e 12 milhões da área rural, têm seus esgotos tratados por Fossas ou por Tanques Sépticos (BRASIL, 2007). O lodo produzido nessas fossas não recebe nenhum tratamento. Grande produção de resíduos orgânicos domiciliares putrescíveis e material vegetal não tem recebido tratamento adequado, são depositados em lixões. Quanto aos resíduos agrícolas, a exemplo de esterco bovino e caprino, são utilizados no solo sem antes ser compostados adequadamente.

Com base nos dados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios – PNAD e da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico – PNSB do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (BRASIL, 2007 & BRASIL, 2008), estima-se que no estado da Paraíba existam cerca de 230 mil domicílios que utilizam fossas rudimentares ou tanques sépticos, correspondendo a aproximadamente 690 mil habitantes. Considerando-se um coeficiente de redução de volume de 0,25 o lodo digerido produzido em base úmida, o volume é cerca de 170 m³ por dia, aproximadamente 62.000 m³ por ano. O destino final desse lodo acaba sendo um grande problema que ainda não foi adequadamente resolvido.

Tratar conjuntamente lodo de esgoto doméstico com resíduos sólidos orgânicos vem sendo indicado na literatura, como alternativa tecnológica sustentável para inviabilizar e remover ovos de helmintos, permitir a estabilização da matéria orgânica, resultando em composto adequado ao uso agrícola e isento de organismos patógenos. No entanto, codispor lodo de esgoto doméstico com outros tipos de resíduos implica superar o preconceito da sociedade em utilizar produtos resultantes de esgoto, fundamentalmente quando um dos objetivos corresponde à utilização em culturas agrícolas.

A alternativa de juntar lodo de esgoto sanitário com resíduos sólidos orgânicos através do processo de compostagem, além de corresponder à tecnologia de baixo custo e fácil operacionalização, promove a superação das limitações encontradas para a compostagem de lodo isolado, que apresenta baixa relação Carbono Nitrogênio (C/N), alta umidade, correção do pH, baixa diversidade de organismos e granulometria. Essas limitações dificultam a ação dos organismos no processo de estabilização e não permite o aumento da temperatura, impedindo a destruição de organismos patógenos, especialmente de ovos de helmintos.

O presente trabalho buscou desenvolver alternativas tecnológicas direcionadas para mitigar impactos ambientais e sociais decorrentes da disposição incorreta de lodo de esgoto doméstico e resíduos sólidos orgânicos com o propósito de efetuar a difusão da tecnologia às comunidades residentes nos municípios de pequeno porte. A qualidade do composto final atendeu aos requisitos da Norma nº 25/2009 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento do Brasil (BRASIL, 2009), caracterizando tal composto como fertilizante orgânico para uso agrícola.

2. Objetivos

2.1 Geral

Desenvolver e aplicar tecnologia de baixo custo e fácil operacionalização para tratamento e disposição final de lodo proveniente de tratamento de esgotos domésticos em tanque séptico unifamiliar para municípios de pequeno porte, localizados no semiárido paraibano, visando mitigar e/ou prevenir os impactos negativos ao meio ambiente, na saúde humana e produzir biofertilizante de boa qualidade físico-química e sanitária.

2.2 Específicos

- realizar a caracterização física, química e biológica de lodo de esgoto doméstico tratado em tanque séptico unifamiliar no distrito de Malhada da Roça localizado no município de São João do Cariri no semiárido paraibano;
- avaliar a eficiência de remoção de ovos de helmintos por meio de tecnologia de baixo custo, de fácil operacionalização de tratamento e disposição final de lodo proveniente de tratamento de esgoto por tanque séptico unifamiliar;
- estudar e apontar soluções ambientalmente sustentáveis para tratamento e disposição final de lodo de tanque séptico unifamiliar;
- contribuir para a minimização de impactos ambientais e sociais decorrentes da disposição inadequada de lodo de tanque séptico coletivo;
- mitigar riscos à saúde humana, decorrente da disposição final de lodo de tanque séptico unifamiliar em solos do semiárido paraibano sem tratamento prévio; e

- possibilitar e avaliar o aproveitamento de lodo oriundo de tratamento de esgoto em tanque séptico unifamiliar em culturas agrícolas.

3. Metodologia

3.1 Definição do município e visitas de reconhecimento da área, objeto de estudo

O presente trabalho foi realizado no município de São João do Cariri, localizado no semiárido paraibano. Os critérios de escolha corresponderam: ao número de habitantes igual ou inferior a 10 mil, localização com quantidade significativa de fossas sépticas unifamiliares.

O município de São João do Cariri está localizado na microrregião do Cariri oriental e na mesorregião da Borborema, na bacia hidrográfica do Rio Taperoá. Com área de 702 Km², população de 4.715 habitantes. A sede do município localiza-se nas coordenadas 07° 23' 27" de Latitude Sul e 36° 31' 58" de Longitude Oeste. A região apresenta clima seco semiárido quente, com máximas e mínimas de 29 e 24°C e uma média pluviométrica de 379,2 mm/ano. Os solos são rasos, subsolo do embasamento cristalino, vegetação de caatinga, relevo ondulado e altitude variando entre 450 m a 550 m acima do nível do mar.

3.2 Apresentação do projeto aos líderes comunitários

O projeto foi apresentado aos líderes comunitários com a finalidade de iniciar o processo de sensibilização, formação e da transferência e difusão da tecnologia, como também motivar a participação efetiva dos líderes comunitários.

Para a identificação do perfil do público foram aplicadas duas estratégias:

- 1) Cadastro das famílias: durante as reuniões de apresentação do projeto à comunidade, foram cadastradas e definidas as famílias que iriam participar diretamente do trabalho, as que iam disponibilizar os tanques sépticos para as coletas do lodo e resíduos sólidos orgânicos, domiciliares. O critério adotado correspondeu à existência de tanque séptico na respectiva residência e aceitação em participar do projeto.

- 2) Visitas às famílias: a partir do cadastro foram realizadas visitas, domiciliares, às famílias, com o objetivo de aplicar o questionário com perguntas de múltipla escolha e realizar a observação direta da localização e estrutura dos tanques sépticos, bem como do acondicionamento, coleta e destinação final dos resíduos sólidos orgânicos domiciliares produzidos pelas famílias.

3.3 Caracterização de lodo e resíduos sólidos orgânicos

Foram caracterizados lodos gerados em 20 tanques sépticos unifamiliares, localizados na comunidade Malhada da Roça no município de São João do Cariri, estado da Paraíba.

Para a caracterização qualitativa de lodo, coletou-se uma amostra composta de lodo de dez pontos distintos em cada tanque séptico. Para a coleta das amostras compostas de lodo, utilizou-se uma bomba de sucção construída de cano PVC com 40 mm de diâmetro e 2,30 m de comprimento com um êmbolo (20 mm de diâmetro) contendo uma borracha de formato esférico na parte inferior, conforme Figura 1.

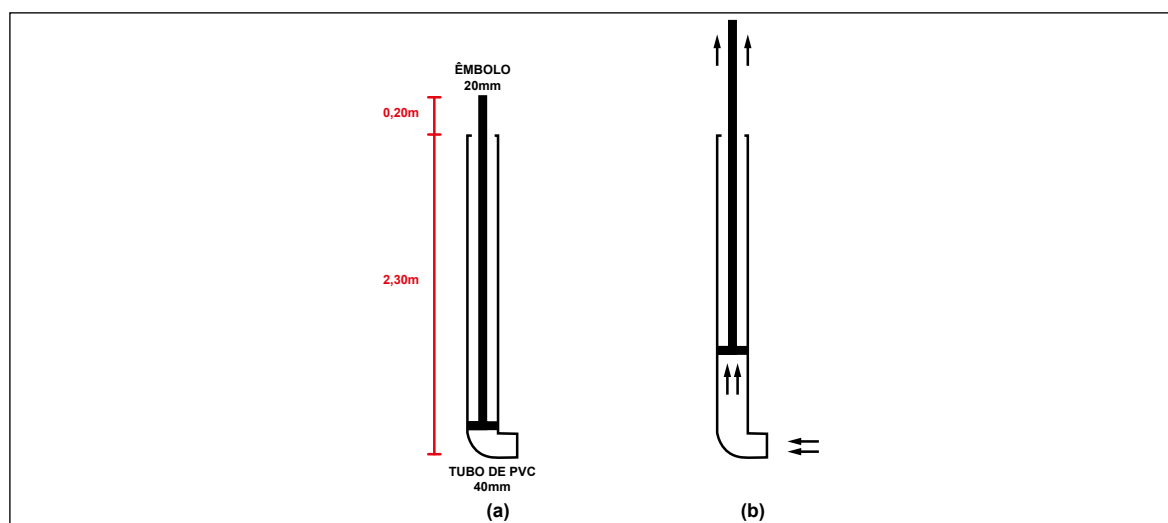


Figura 1 – Bomba de Sucção Manual para a coleta de lodo de tanque séptico

(a): Dimensionamento da bomba; (b): Bomba em funcionamento.

A metodologia para caracterização dos resíduos sólidos domiciliares foi ancorada basicamente nas seguintes operações: coleta, acondicionamento, pesagem e separação. Diariamente, o resíduo era pesado em sua totalidade e depois segregado nas seguintes frações: papel, plástico, metal, matéria orgânica e outros e em seguida determinado o percentual relativo de cada fração.

3.4 Descrição da metodologia utilizada na determinação das análises físico-químicas

- **Peso Específico:** está inserido dentro das propriedades físicas dos resíduos e relaciona o peso com o volume correspondente (Equação 1). Nesse trabalho o peso específico dos resíduos foi determinado utilizando-se um recipiente de volume conhecido e uma balança analítica.

$$\delta = W/V \quad \text{(Equação 1)}$$

δ : peso específico;
W: peso do resíduo mais recipiente;
V: volume do recipiente.

- **Teor umidade:** foi obtida segundo *American Public Health Association* (APHA, 1998). A umidade percentual era obtida pela diferença em peso, conforme mostra a Equação 2.

$$\% \text{ Umidade} = \frac{(P_1 - P_2)}{P_1} \times 100 \quad \text{(Equação 2)}$$

P_1 : Massa da cápsula seca;
 P_2 : Massa do substrato seco a 105°C.

- **Sólidos Totais e suas frações:** foram determinados de acordo com os métodos preconizados pelo *American Public Health Association* (APHA, 1998).
- **Potencial Hidrogeniônico (pH):** colocou-se 10 cm³ da amostra em béquer de 100 mL; adicionar 25 mL de água destilada, agitou-se a mistura com bastão individual e deixou-se em repouso por uma hora; agitou-se novamente cada mistura com bastão de vidro, mergulhou-se o eletrodo na suspensão homogeneizada e efetuou-se a leitura do pH no próprio aparelho, previamente calibrado.
- **Carbono Total:** seguiu-se as recomendações do *American Public Health Association* (APHA, 1992), em que o método consiste em dividir o percentual de matéria orgânica total ou sólidos totais voláteis por 1,8, conforme mostrada a Equação 3.

$$\% \text{ CT} = \frac{\text{STV}}{1,8} \quad \text{(Equação 3)}$$

STV: Sólidos Totais Voláteis.

- **Nitrogênio Total Kjeldahl:** foi determinado pelo método clássico de Kjeldahl, utilizando o aparelho “*Tecnal TE 036/1*” e seguindo as recomendações (APHA, 1992; Ohlweiler, 1981).

3.5 Descrição da metodologia utilizada na determinação de ovos de helmintos

Para a determinação de ovos de helmintos, utilizou-se a metodologia proposta por Meyer (1978) modificada. Que tem como princípio básico a recuperação de ovos de helmintos através de lavagem, sedimentação por centrifugação, flotação e filtração. As modificações referem-se à preparação da amostra: que consiste previamente em pesar (25 g) e lavar a amostra com solução de água sanitária a 50%.

Para análise de resíduos orgânicos e dos substratos adotou-se a filtração dupla por filtro de nylon, para garantir o máximo de recuperação de ovos de helmintos. As análises dos resíduos retidos no filtro de nylon mostraram que após a segunda filtração, não são encontrados ovos de helmintos.

A análise da viabilidade de ovos de helmintos foi executada através da técnica de coloração rápida, utilizando-se solução de safranina a 0,1%. Essa técnica baseia-se no uso de corante biológico para detectar as trocas de permeabilidade da membrana vitelina dos ovos. Um ovo viável é impermeável a certos tipos de corantes, o que impossibilita a coloração (NEVES, 2005).

3.6 Descrição do sistema experimental

No propósito de transferir e difundir o conhecimento da tecnologia de compostagem de lodo gerado em tanque séptico conjuntamente com outros resíduos orgânicos junto à comunidade do distrito de Malhada da Roça, em São João do Cariri – PB, foram montadas e monitoradas no pátio (Figura 2) duas pilhas de compostagem: pilha 1, compostando resíduos vegetais (resto de legumes e cascas de fruta), lodo de tanque séptico e folhas de poda de árvore (Figura 4); pilha 2, compostando esterco bovino e lodo de tanque séptico (Figura 5).

Conforme esquema apresentado na Figura 2, o pátio de compostagem era cercado com arame farpado com 15x15 m de dimensões, composto por dois sistemas para compostagem dos resíduos, construído em alvenaria de 4,0 x 2,5 m (10 m²) e oito leitos de secagem simplificados. Esse é um dispositivo construído de tijolos e cimento de formato retangular de 80 X 120 cm com uma declividade de 2% (para cada metro de

comprimento é dada uma declividade de 2 cm), inclinação suficiente para o líquido percolado ser colhido em garrafa pet de 2 litros de capacidade, conforme Figura 3. Entende-se Leito de secagem simplificado, por ser um dispositivo desprovido de fundo falso e camada de brita e areia para drenagem do percolado.

Na Figura 3, está apresentado esquema da configuração do leito de secagem simplificado, no qual ocorre a secagem por evaporação e percolação, o lodo mantém ainda uma certa umidade suficiente para manter percentual ideal na compostagem conjugada com outro resíduo orgânico com alto teor de sólidos totais.

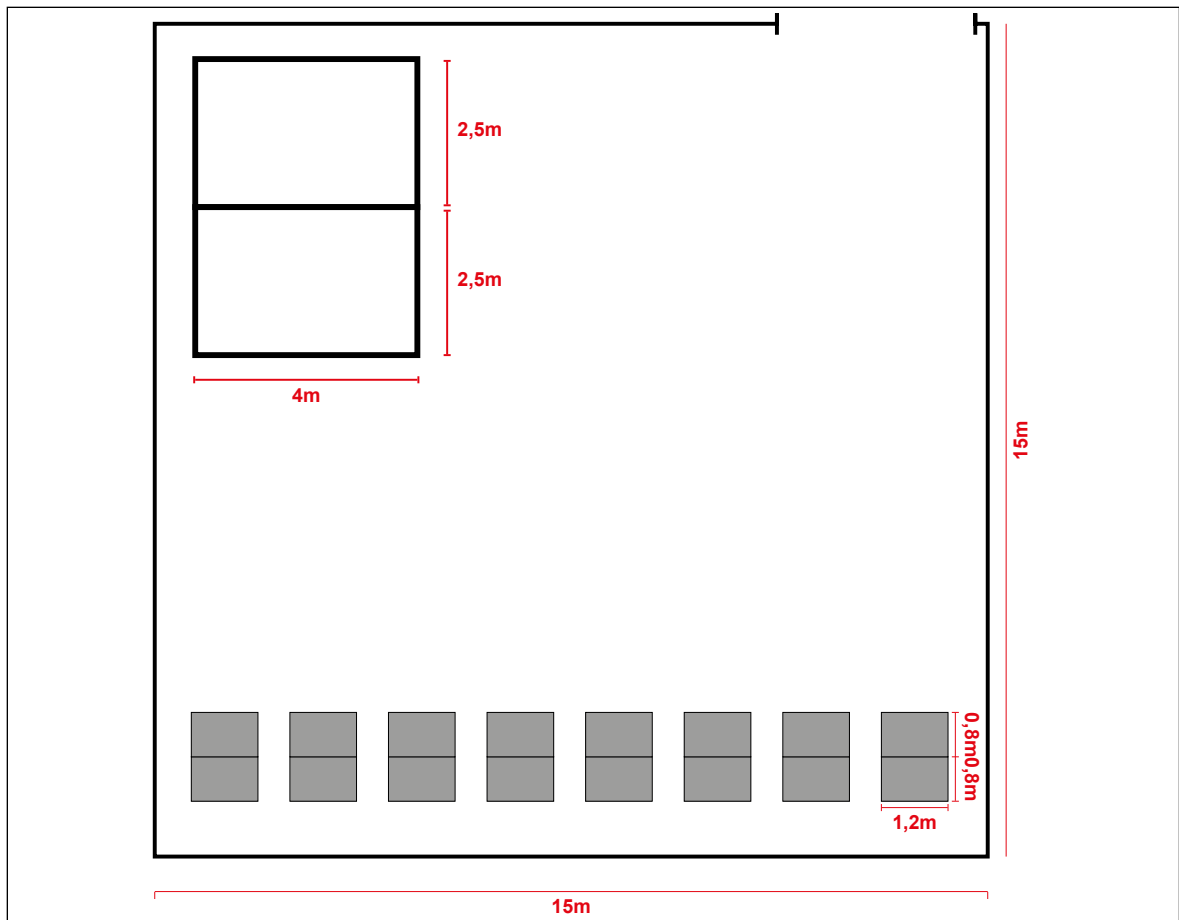


Figura 2 – Esquema do Pátio de Compostagem

Nas Figuras 4 e 5, estão apresentadas ilustrações representando a mistura e montagem, respectivamente da pilha 1 (compostagem de lodo com resíduos vegetais e folha de poda) e pilha 2 (compostagem de lodo juntamente com esterco bovino).



Figura 3 – Leito de Secagem Simplificado



Figura 4 – Pilha de compostagem (lodo de tanque séptico mais restos vegetais e folhas de poda)



Figura 5 – Pilha de compostagem (lodo de fossa e esterco bovino)

4. Resultados alcançados frente aos objetivos propostos e discussão

4.1 Características dos lodos de tanque séptico unifamiliar

A análise da composição física e química do lodo de Tanque Séptico é fundamental para o planejamento e sugestões de possibilidades de tratamento e destinação correta dos resíduos. Nesse sentido, foram analisadas 20 amostras de lodos de Tanques Sépticos, expostas na Tabela 1.

Algumas amostras apresentaram comportamento divergente (amostras 07 e 14), as quais não apresentaram aspecto de lodo anaeróbio, pois, o teor de sólidos e suas frações num lodo anaeróbio revelam seu grau de estabilização orgânica, mostrando a possibilidade do lodo entrar com uma parcela de participação na adição de matéria orgânica no processo de cocompostagem. Um lodo que contenha grande ou pequena quantidade de sólidos orgânicos pode participar no processo de cocompostagem, desde que haja um equilíbrio com a parcela de insumo que venha enriquecer o sistema, seja com matéria orgânica ou nutrientes.

Os referidos Tanques Sépticos apresentavam-se assoreados e, apesar de as amostras não se caracterizarem como Lodo Anaeróbio, as mesmas correspondem à realidade. Na Tabela 1 são apresentados os dados advindos da caracterização físico-química dos lodos de tanques sépticos unifamiliares estudados nesse trabalho.

Tabela 1 – Dados da caracterização físico-química dos Lodos de Tanques Sépticos

Amostras	Umidade (%)	ST (%)	STV (%)	STF (%)	pH	COT (%ST)	NTK (%ST)	P (%ST)
01	84,32	15,68	33,51	66,49	7,37	18,61	1,23	1,55
02	86,69	13,31	32,65	67,35	8,15	18,14	1,67	1,65
03	88,57	11,43	52,57	47,43	7,70	29,21	2,50	1,41
04	86,10	13,90	39,14	60,86	8,17	21,75	1,47	1,47
05	73,60	26,40	23,16	76,84	7,64	12,86	0,72	1,31
06	89,15	10,85	36,19	63,81	7,57	20,10	1,10	0,79
07	36,35	63,65	8,47	91,53	7,19	4,71	0,00	0,17
08	82,75	17,25	32,74	67,26	7,70	18,19	1,22	1,24

continua

continuação

Amostras	Umidade (%)	ST (%)	STV (%)	STF (%)	pH	COT (%ST)	NTK (%ST)	P (%ST)
09	80,13	19,87	38,14	61,86	7,94	21,19	1,42	1,61
10	77,84	22,16	27,26	72,74	7,61	15,14	2,15	1,30
11	89,60	10,40	42,42	57,58	7,59	23,57	0,42	1,35
12	83,32	16,68	33,87	66,13	7,94	18,82	0,85	1,40
13	57,24	42,76	12,64	87,36	7,51	7,02	0,40	0,59
14	38,56	61,44	2,69	97,31	7,29	1,49	0,00	0,22
15	83,44	16,56	34,54	65,46	8,35	19,19	0,96	1,82
16	70,25	29,75	14,73	85,27	7,81	8,18	0,18	1,02
17	86,87	13,13	38,32	61,68	7,74	21,29	1,32	1,64
18	79,92	20,08	21,16	78,84	7,48	11,75	0,94	1,53
19	84,44	15,56	36,10	63,90	7,84	20,05	1,23	1,90
20	84,85	15,15	25,76	74,24	8,05	14,31	0,84	1,70
Média	77,20	22,80	29,30	70,70	-	16,28	1,03	1,03
Desvio Padrão	15,55	15,55	12,37	12,37	-	6,87	0,66	0,49

Legenda: ST: Sólidos Totais; STV: Sólidos Totais Voláteis; STF: Sólidos Totais Fixos; COT: Carbono Orgânico Total; NTK: Nitrogênio Total Kjeldahl; P: Fósforo total.

4.2 Monitoramento do sistema experimental

O principal objetivo da compostagem é a produção do composto como fertilizante para solos agrícolas. No entanto, do ponto de vista de sustentabilidade ambiental, a presente pesquisa busca, sobretudo, destinar adequadamente o lodo de tanque ou de fossa séptica gerado pelas populações das áreas periurbanas e das áreas rurais, bem como a matéria orgânica como esterco bovino, caprino e folhas de poda entre outros resíduos sólidos orgânicos domiciliares a exemplo de resto de legumes, frutas, alimentos e verduras.

4.3 Caracterização dos constituintes na compostagem conjugada

Nas tabelas 2 e 3, são apresentados os dados quantitativos dos diferentes tipos de resíduos sólidos e as magnitudes percentuais dos sólidos totais, NTK e COT, da massa de resíduos sólidos utilizados para construção das pilhas de cocompostagem.

Tabela 2 – Caracterização dos componentes de cocompostagem com lodo de tanque séptico, resíduos vegetais e folhas de poda (Pilha 1)

Componentes	%ST	%N	%C	C/N
Lodo de Fossa (26 kg)	48,64	1,64	14,48	8,83
RV (269 kg)	32,89	1,63	48,85	29,97
Folhas de poda (5,0 kg)	93,01	1,5	46,78	31,18

Legenda: RV: Resíduo Vegetal; ST: Sólidos Totais; N: Nitrogênio; C: Carbono; C/N: Relação Carbono Nitrogênio.

Na montagem da pilha 1 foram retirados 26 Kg de lodo de tanque séptico com 48,64% de ST do leito de secagem simplificado, foram adicionados a 269 Kg de resíduos vegetais constituído de resto de frutas e cascas de frutas e verduras mais 5,0 Kg de folha de poda com baixa umidade 93,01% de ST, Tabela 2.

O ajuste da umidade foi feito pela mistura dos componentes. O ideal é manter a umidade em torno dos 60%. Abaixo de 40% inibe a atividade biológica e a acima de 65% favorece a ocupação dos espaços vazios pela água, dificultando a aeração. Como os microrganismos são aeróbios, exigem a presença de oxigênio, sua população poderá diminuir a níveis muito baixos, e a decomposição da matéria orgânica começa sendo feita por fermentação. Portanto, é muito importante para o processo de compostagem que se tenha uma dosagem certa entre a umidade e oxigênio (KIEHL, 1998).

No caso da pilha 1, a umidade da mistura manteve-se inicialmente em torno do limite máximo 64%, mesmo com esse alto percentual de umidade não foi detectado zona de anaerobiose durante o processo da compostagem, muito embora, no início do processo foram inicialmente utilizados três revolvimentos, buscando favorecer a entrada de ar, que é responsável pela diminuição da umidade.

Conforme os dados representados na Tabela 3, foram coletados e transportados para o pátio o lodo de fossa séptica com alto teor de umidade (90,58%) e o esterco bovino com baixo teor de umidade (49,3%), essa discrepância de umidade favorece o equilíbrio do teor de umidade da mistura. Para iniciar o processo, a umidade da mistura foi ajustada em torno de 63%.

Tabela 3 – Caracterização dos componentes de cocompostagem com lodo de tanque séptico e esterco bovino (pilha 2)

Componentes	%ST	%N	%C	C/N
Lodo de tanque séptico (91 kg)	9,42	2,84	15,54	5,47
Esterco Bovino (181 Kg)	50,7	1,13	42,08	37,23

Legenda: ST: Sólidos Totais; N: Nitrogênio; C: Carbono; C/N: Relação Carbono Nitrogênio.

Partículas muito pequenas do material a ser compostado facilitam a compactação do resíduo, dificultando a aeração. No caso do lodo de tanque séptico que tem essa propriedade, a compostagem deve ser conjugada com material estruturante, a exemplo de palha, folhagem de poda e esterco animal.

A composição do material a ser compostado (relação C/N) é importante para a velocidade do processo, para o início da compostagem a relação ideal é 25 a 30 partes de carbono para um de nitrogênio (OGUNWANDE *et al*, 2008). Quando a relação for muito baixa, é necessário colocar materiais ricos em carbono para manter a relação equilibrada.

Observa-se na Tabela 3 que a baixa relação C/N (5,47/1) do lodo de tanque séptico foi balanceada pela presença do esterco bovino (C/N = 37,32), mantendo uma relação de C/N, em torno de 27/1. Essa condição de fonte de carbono juntamente com a umidade de 63% favoreceram a ação dos organismos autóctones permitindo o sucesso do processo de compostagem.

Teor de Umidade: após o reviramento e retirada da amostra, era realizado o procedimento de regulação da umidade da pilha, com adição de água tratada e dessalinizada. O controle era feito manualmente com regador. A pilha era distribuída sobre a lona com auxílio de instrumentos (pá e enxada). Durante a regulação da umidade, a pilha era revolvida e, ao final da adição de água, retornava ao formato de pilha.

O critério utilizado era a aparência e o comportamento do composto umedecido (quando manuseado). Fatores climáticos também influenciaram nas quantidades de água utilizadas, a exemplo da incidência de chuvas.

O manuseio do composto indicava se a umidade estava satisfatória, para tanto apertava-se uma quantidade de composto na mão, em seguida observava-se sua consistência, caso ocorresse a liberação de água era indicativo de excesso de umidade.

O teor de umidade é um fator limitante para o avanço dos estágios de compostagem, exigindo cuidados que visem seu controle. Seu excesso causa formação de zonas de anaerobiose, devido a passagem de ar ser prejudicada, tendo em vista que os espaços vazios ficarão preenchidos pela água e sua escassez promove o retardo das atividades biológicas.

A umidade no início da compostagem de lodo de tanque séptico conjuntamente com composto vegetal (pilha 1) era de quase 65%, decaindo bruscamente para 42% nos 15 primeiros dias, mantendo-se na média de 48% durante o restante do período de compostagem. Quando o processo não é iniciado dentro da faixa ótima de umidade, ocorre o atraso de transição da fase mesófila para termófila, não dependendo somente da umidade, como também da aeração e de outros fatores. O monitoramento periódico, seguido de aeração e correção de umidade, colaboram para o bom desempenho do processo.

O comportamento da umidade durante a compostagem de lodo de tanque séptico conjuntamente com esterco bovino (pilha 2) foi estável, iniciou na faixa ideal 63% e manteve-se na média de 50% de umidade durante todo o processo. Essa constatação justifica a sustentabilidade da compostagem conjugada, lodo mais esterco animal.

Monitoração das Pilhas de Cocompostagem: esse monitoramento é fundamental para que se produza composto nos padrões recomendados pelas normas vigentes. A propósito, serão apresentadas duas recomendações:

- 1) Correta operação para produção de composto com boa qualidade sanitária: na monitoração de uma pilha de cocompostagem, a elevação da temperatura é necessária para a eliminação de organismos patogênicos. A compostagem acontece em três fases: na primeira fase, à medida que ocorre a biodegradação da fração de matéria orgânica ocorre a liberação de calor, dependendo de uma aeração adequada a temperatura vai se elevando, depois de iniciada a fase termófila (em torno de 45°C), podendo atingir valores superiores a 70°C, o ideal é controlar a temperatura entre 55 e 65°C, faixa que favorece a máxima intensidade de atividade microbiológica.

Na segunda fase, por ação de bactérias, actinomicetos e fungos ocorre a bioestabilização do material orgânico e a temperatura permanece entre os 30 e 45°C.

Na fase de humificação a atividade biológica e o consumo de oxigênio diminuem acontecendo o decaimento de temperatura, o processo passa a ser mais químico, ocorrendo polimerização de moléculas orgânicas em húmus.

A resolução do Conama nº 380/2006 (BRASIL, 2006a) recomenda que “durante o processo de compostagem a temperatura deve ser mantida acima de 40°C por pelo menos 14 dias. A temperatura média durante esse período deve ser maior que 45°C”.

2) Monitoramento da Umidade: o teor de umidade é um fator limitante para o avanço dos estágios de compostagem, exigindo cuidados que visem seu controle.

É natural a diminuição de umidade no decorrer do processo, causadas tanto pelo aumento de temperatura do sistema quanto pela aeração. É preferível que a correção da umidade seja feita durante todo o processo, desde que se respeite à umidade final máxima do material.

Para monitorar a umidade ideal em torno de 60% manuseava-se o composto, para tanto, apertava-se uma quantidade de composto na mão, em seguida observava-se sua consistência, caso ocorresse a liberação de água era indicativo de excesso de umidade.

Para monitorar com mais precisão seguiu-se a Equação 4:

$$V_{\text{água}} = M_{\text{base úmida}} \left(\frac{\%ST_{\text{determinado}}}{\%ST_{\text{desejado}}} - 1 \right) \quad (\text{Equação 4})$$

$M_{\text{base úmida}}$: Massa do Resíduo, Kg;

$V_{\text{água}}$: Volume de água a ser adicionada para manter umidade desejada, Litro.

Monitoramento da Temperatura: essa finalidade é indispensável para confirmação do funcionamento adequado do sistema. A temperatura é um parâmetro indicativo relevante das atividades de degradação aeróbia da matéria orgânica. A compostagem possui fases distintas com participação de grupos de microrganismos, e cada fase possui temperaturas típicas.

Durante o monitoramento do sistema experimental a temperatura era medida em três níveis de profundidade da pilha: topo (10 cm de profundidade), centro (profundidade mediana) e base (profundidade total). A temperatura ambiente também era aferida. As variações de temperatura registradas nas pilhas 1 e 2 estão representadas nas Figuras 6 e 7.

Ao se observar a temperatura, consegue-se obter uma ideia geral do comportamento do sistema principalmente nas camadas onde a entrada de oxigênio é prejudi-

cada, tendo um comportamento anaeróbico que se reflete em temperaturas mais baixas e na necessidade de aeração periódica.

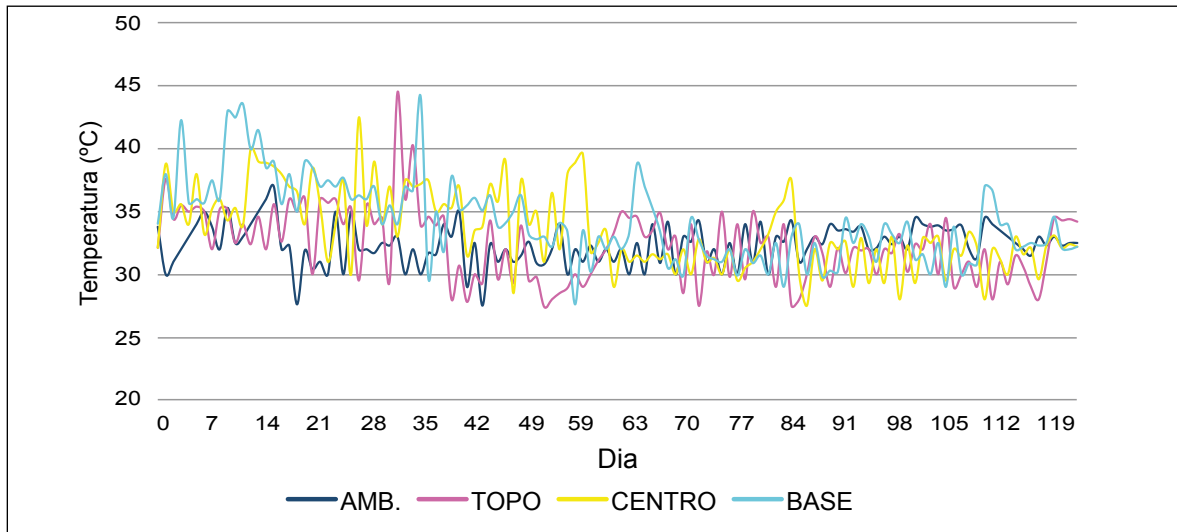


Figura 6 – Comportamento da evolução temporal das temperaturas no topo, centro e base da Pilha 1 e da temperatura ambiente

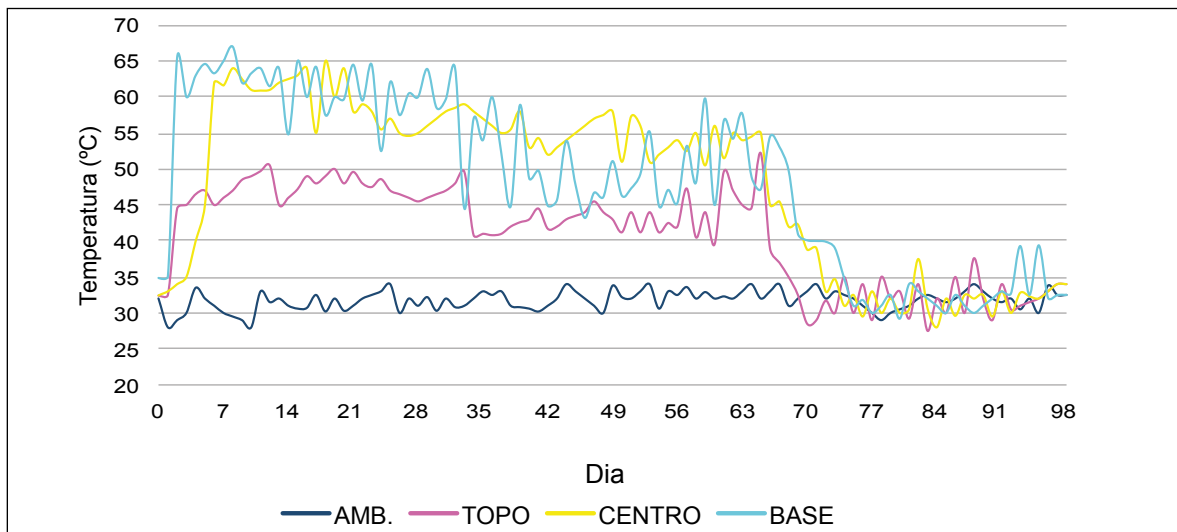


Figura 7 – Comportamento da evolução temporal das temperaturas no topo, centro e base da Pilha 2 e da temperatura ambiente

Conforme as Figuras 6 e 7, nas primeiras 48 horas de monitoramento o aumento da temperatura era confirmado em todas as pilhas, os maiores picos de temperatura foram medidos nos dias posteriores a aeração do sistema.

Os valores refletem diretamente em qual fase o sistema se encontra, seja ela fase de degradação ativa ou de maturação. A pilha 1 (Figura 6) apresentou elevação de temperatura, em relação à temperatura ambiente, nos primeiros 50 dias de monitoramento. Na pilha 2 (Figura 7), a elevação da temperatura se estendeu durante os primeiros 55 dias.

O fato é que durante os 50 dias iniciais do monitoramento da pilha 1, a temperatura permaneceu entre 35 e 43°C, enquanto para a pilha 2, a temperatura manteve-se na média de 60°C, pelo mesmo período de tempo.

Os níveis de temperatura são importantes, pois asseguram que está ocorrendo a degradação da matéria orgânica, juntamente com a extinção de ovos viáveis de helmintos que venham a compor a mistura no início do processo.

Kiehl (1998), afirma que a faixa de temperatura na fase termofílica deve estar no mínimo entre 25°C e 45°C e ótimas entre 50°C e 55°C, e a fase mesofílica no mínimo entre 15°C e 25°C e ótima entre 25°C e 40°C.

Sólidos Totais Voláteis: a estimativa das frações de sólidos totais voláteis é fundamental, visando principalmente à determinação da relação Carbono Nitrogênio que, por conseguinte, é o principal fator que melhor caracteriza o equilíbrio dos substratos.

No início do processo de compostagem do lodo de tanque séptico conjuntamente com resíduos vegetais (pilha 1) o percentual de sólidos totais voláteis manteve-se em torno de 70% decaindo bruscamente para 30% após os 50 dias iniciais. No entanto, no início da compostagem de lodo com esterco bovino (pilha 2), o percentual de sólidos totais voláteis era em torno de 45%, decaindo após duas semanas para menos de 20%.

O consumo de sólidos suspensos voláteis ocorre no início do processo de compostagem, justamente na fase termofílica quando o material orgânico é degradado por processos biológicos caracterizado por uma fase de decomposição rápida e outra lenta (TOSUN *et al.*, 2008).

Relação Carbono Nitrogênio (C/N): a demanda energética dos microrganismos é fornecida pelo carbono e nitrogênio que são substâncias fundamentais no metabo-

lismo. O carbono é a principal fonte de energia disponível aos microrganismos no processo de compostagem e o nitrogênio é necessário para a síntese celular.

A composição do material a ser compostado (relação C/N) é importante para a velocidade do processo; para o início da compostagem a relação ideal é 25 a 30 partes de carbono para uma de nitrogênio (OGUNWANDE *et al*, 2008). Quando a relação for muito baixa é necessário colocar materiais ricos em carbono para manter a relação equilibrada.

Teoricamente, a relação C/N inicial ótima do substrato deve se situar em torno de 30. Na realidade, constata-se que ela pode variar de 20 a 70, de acordo com a maior ou menor biodegradabilidade do substrato. Tanto a falta de nitrogênio quanto a falta de carbono limitam a atividade microbiológica.

Ambas as pilhas iniciaram o processo de compostagem com a relação C/N de 28 e 26, respectivamente. Mesmo com relação C/N inicial um tanto similar, no final da compostagem a relação C/N convergiu para menores valores em torno de 5 (C/N), devido às perdas maiores de carbono que as de nitrogênio, no desenvolvimento do processo, independentemente do período de tempo em ocorrer a fase lenta do processo.

Potencial Hidrogeniônico: o pH é um parâmetro que indica o grau de avanço no processo de compostagem, estando ligado diretamente com o nível de degradação em que o substrato se encontra.

Pereira Neto (1996) indica que a faixa ótima para a compostagem encontra-se entre 6,5 a 8,0, no entanto, cita que experiências realizadas na Universidade Federal de Viçosa – UFV indicam que a compostagem pode ser desenvolvida com uma faixa bem mais ampla de pH, entre 4,5 a 9,5.

A pilha 1 iniciou o processo com pH baixo (em torno de 4,0 unidades de pH), causado pela produção de ácidos orgânicos. Por outro lado, a passagem para a fase termófila acontece por rápida elevação do pH, que se explica pela hidrólise das proteínas e pela liberação de amônia. Dessa forma, após os 15 dias iniciais o pH se mantém alcalino, variando de 7,5 a 9,0, garantindo a fase termófila. De qualquer forma, principalmente se a relação C/N da mistura for conveniente, o pH geralmente não é um fator crítico da compostagem.

Na pilha 2 a mistura de lodo de tanque séptico conjuntamente com esterco bovino ajusta o pH inicial em torno de 8,0. Essa realidade está relacionada com o nível de maturação no qual o resíduo, especificamente o esterco bovino, se encontrava.

Segundo Kiehl (1998), adubos orgânicos com pH acima de 7,0 são classificados como ótimos na utilização como fertilizantes.

Nutrientes: os principais nutrientes investigados durante o processo de compostagem foram: Nitrogênio, Fósforo e Potássio (NPK), que é de extrema importância para avaliação agrônômica dos adubos, bem como sódio e potássio.

O nitrogênio é um nutriente necessário nos processos de compostagem, por representar fonte de energia usada pelos microrganismos na síntese de proteínas. A escassez de nitrogênio promove um desenvolvimento limitado de microrganismos e seu excesso causa perda pela volatilização da amônia, nas duas pilhas observou-se um aumento de nitrogênio no final do processo.

A avaliação do aumento de nitrogênio total leva ao entendimento de que, por conta da diminuição de outros elementos como carbono e umidade, os demais elementos, como nitrogênio, passam a representar-se em maior quantidade, refletindo numa diminuição da relação C/N que indica avanço da fase de maturação.

O fósforo é um nutriente essencial ao desenvolvimento vegetal, porém altas concentrações são prejudiciais principalmente a corpos aquáticos, por ser um elemento que promove eutrofização.

Para as duas pilhas, o percentual de fósforo teve comportamento similar (0,2 a 0,4%) durante o processo de compostagem. A redução nos teores de fósforo não ocorre no decorrer do monitoramento, visto que o fósforo não migra para espécies voláteis. Sua concentração aumenta no sistema a partir da diminuição de outros compostos, como carbono.

O fósforo é essencial ao crescimento das plantas e nenhum outro nutriente pode substituí-lo. Segundo Kiehl (1998), a planta não se desenvolve sem uma quantidade mínima desse nutriente, por esse ser indispensável na composição de moléculas de ácidos nucléicos, fosfolipídios e ATP.

Segundo Andreoli (2001), a participação do fósforo na compostagem é pouco conhecida, porém sua presença é importante principalmente ao fornecer maior valor agrônômico ao adubo resultante do processo.

O sódio é um dos nutrientes responsáveis pelos teores de salinidade no solo e sua investigação é mais importante nos produtos resultantes do processo de compostagem, a fim de que se evite sua disposição demasiada em locais saturados pelo

sódio. Seu monitoramento semanal confirma sua existência e permanência de valores médios nas pilhas.

As diferenças entre os teores de sódio nas pilhas 1 e 2 foram evidentes, podendo ser justificadas pelo tipo de resíduo empregado na preparação do substrato. O esterco bovino conserva muito das propriedades inerentes à alimentação bovina, que faz uso do sal e de grãos secos, além de capim e palma, bem como a acumulação da urina dos animais durante longo período de tempo nos currais. Observou-se na pilha 2 que o teor de sódio mantém-se na média de 1,3% de sódio, 14 vezes maior que o percentual de sódio na pilha 1, que permaneceu na média de 0,09%. Certamente os resíduos orgânicos domiciliares possuem teores de sódio menores que os observados no esterco.

O potássio é um dos três nutrientes usados na avaliação agrônômica do adubo resultante, a partir da relação NPK (Nitrogênio, Fósforo e Potássio). Daí a importância de sua quantificação.

O potássio é um dos macronutrientes primários mais importantes e básicos à formação de matéria vegetal sobre a terra. Portanto, sua presença em teores aceitos pela legislação é importante ao desenvolvimento vegetal. O teor de potássio nas duas pilhas foi similar: 0,30%.

Qualidade do Composto Produzido nas Pilhas de Compostagem: a qualidade do composto produzido de uma forma geral deve ser homogêneo, estável e de coloração marrom escura a negro. Apresentar aparência semelhante a húmus e não conter sementes de ervas daninhas (CARVALHO, 2001).

Na Tabela 4, estão os valores percentuais da composição da massa final após o peneiramento dos compostos produzidos nas pilhas 1 e 2. A massa final obtida no composto produzido pela pilha 1, compostagem de lodos de tanques sépticos unifamiliar com resíduos sólidos orgânicos apresentou 39,39% de composto tipo pó, 11,38% de farelo e 49,23% de rejeito. Por outro lado, a pilha 2 compostando lodo de tanque séptico unifamiliar com esterco bovino apresentou 85,85% de composto tipo pó, 5,28% de farelo e 8,87% de rejeito, conforme dados apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Composição da massa final resultante das pilhas de cocompostagem

Tratamentos	Massa			Composição da massa final após peneiramento					
	Inicial	Final		Pó (2 mm)		Farelo (4 mm)		Rejeito	
	(kg)	(kg)	(%)	(kg)	(%)	(kg)	(%)	(kg)	(%)
Pilha 1	300	33	11,0	13,01	39,39	3,8	11,38	16,3	49,23
Pilha 2	272	172	63,4	148	85,85	9,1	5,28	15,3	8,87

Na Tabela 5, estão os valores das frações de nitrogênio, fósforo e potássio, cuja soma das quantidades de macronutrientes (nitrogênio total Kjeldahl, fósforo e potássio) são inferiores a 5%. Confirmando boa qualidade dos compostos produzidos nas Pilhas 1 e 2, conforme a Instrução normativa nº 25/2009 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2009).

Tabela 5 – Frações de nitrogênio total Kjeldahl, fósforo e potássio presentes no adubo pó

Tratamentos	N (%)	P (%)	K (%)	Soma NPK (%)
Pilha 1	2,97	0,38	0,28	3,63
Pilha 2	1,88	0,35	0,27	2,50

Legenda: N: Nitrogênio; P: Fósforo K: Potássio; NPK: nitrogênio, fósforo e potássio.

A qualidade do composto é definida pelas características e pela origem dos substratos orgânicos utilizados na compostagem. No caso específico do lodo de esgoto, como um dos substratos pode comprometer a qualidade do composto devido a três fatores: presença de metais pesados; compostos persistentes e organismos patogênicos. Esses fatores podem produzir impactos negativos ao consumidor dos produtos agrícolas ou ao meio ambiente.

No caso do lodo de fossa séptica puramente doméstico, a exemplo das pilhas 1 e 2, montadas com frações, respectivamente de 14,3 e 9,3% de lodo de tanque séptico, portanto, o cuidado quanto a qualidade sanitária é apenas com relação a organismos patogênicos, com certeza os esgotos naquela comunidade não têm contaminação com metais pesados. Portanto, ameaçando a saúde pública devido à presença de grande variedade de vírus, bactérias, ovos de helmintos e protozoários.

Na Figura 8, está apresentado o comportamento da pilha de compostagem constituída de lodo de fossa séptica conjuntamente com esterco bovino. Observa-se na mesma Figura, que a elevação da temperatura na pilha de compostagem indica a ação de pelo menos dois grupos de microrganismos: o primeiro na temperatura inicial de 34°C, os mesófilos e após três dias a temperatura atingiu 64°C, portanto asseguram-se ações de microrganismos termófilos, voltando à fase mesófila após os 55 dias de compostagem, esse comportamento assemelha-se a teorias apresentadas na literatura por Kiehl (1998).

A Figura 8 ilustra que após os dois dias iniciais a temperatura da pilha 2 saiu da fase mesófila e permaneceu na fase termófila durante os 55 dias iniciais de compostagem, com temperatura abaixo dos 65°C e acima dos 50°C. Condições suficientes para eliminar organismos patogênicos produzindo bioestabilizado classe C (BRASIL, 2009). Nesse contexto, observando-se a Figura 9, entende-se que essa condição foi suficiente para realizar o completo decaimento de ovos de helmintos a partir da quarta semana de operação.

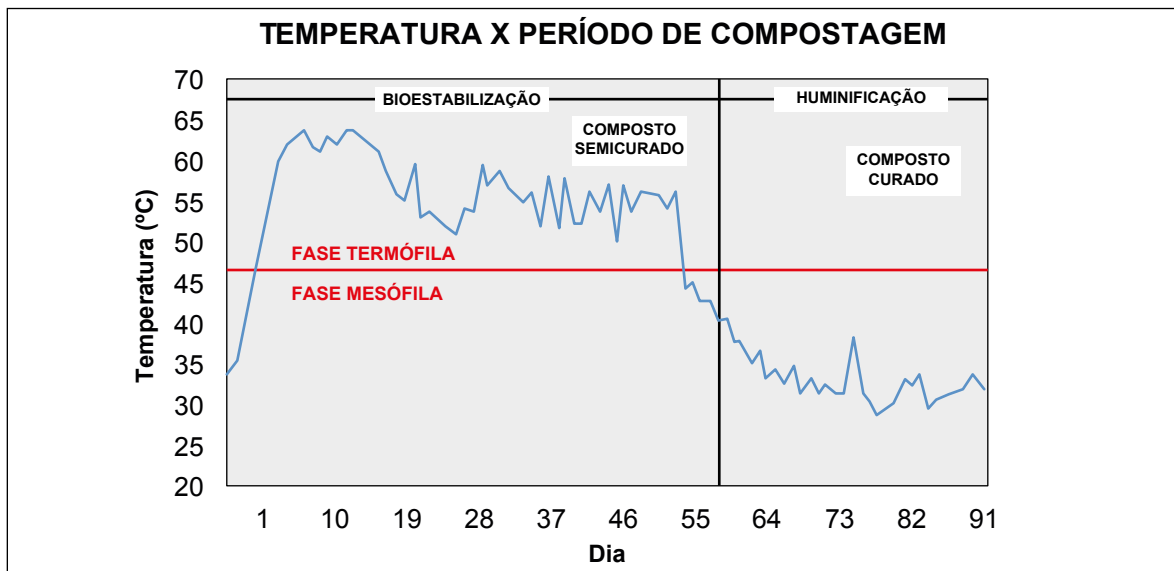


Figura 8 – Comportamento da temperatura em função do tempo de compostagem Conjugada de lodo de fossa com esterco bovino

Na Figura 8, está apresentada uma curva padrão da variação da temperatura durante o processo de compostagem, observa-se que na fase inicial se tem a temperatura ambiente com a permanência de microrganismos mesófilos.

À medida que ocorre a decomposição da fração de matéria orgânica ocorre a liberação de calor, dependendo de uma aeração adequada a temperatura vai se elevando podendo atingir valores superiores a 70°C, mantendo-se nessa fase os organismos termófilos, eliminando assim os termotolerantes, consequentemente os microrganismos patogênicos. Na fase de humificação, a atividade biológica e o consumo de oxigênio diminuem acontecendo o decaimento da temperatura, o processo passa a ser mais químico, ocorrendo polimerização de moléculas orgânicas em húmus.

Quanto à redução de atratividade de vetores, a Resolução Conama nº 380/2006 (BRASIL, 2006a) recomenda que “durante o processo de compostagem a temperatura deve ser mantida acima de 40°C por pelo menos 14 dias. A temperatura média durante esse período deve ser maior que 45°C”.

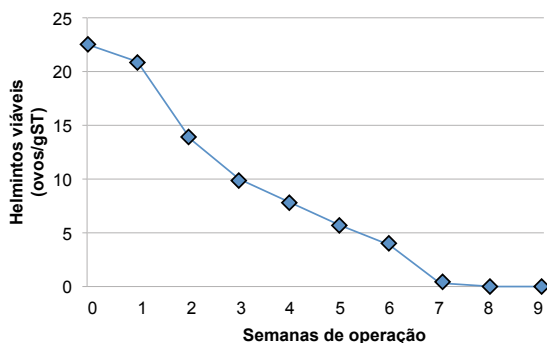


Figura 9 – Decaimento de ovos de helmintos (Lodo de TS + esterco bovino)

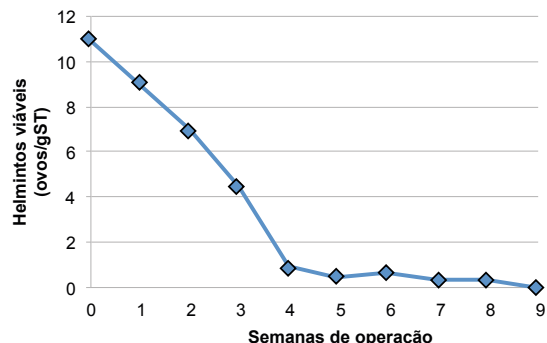


Figura 10 – Decaimento de ovos de helmintos (Lodo TS + RV + Folhas de Poda)

Em conformidade com a Figura 9, observa-se que a qualidade sanitária da mistura de lodo de tanque séptico conjuntamente com esterco bovino manteve concentração de ovos de helmintos viáveis de 23,5 ovos/gST, enquanto a mistura no início da compostagem de lodo com resíduos vegetais (Figura 10) a concentração permaneceu menos da metade 11,5 ovos/gST, reafirmando a necessidade de tratamento antes da destinação final desses resíduos.

O decaimento completo de ovos de helmintos ocorreu a partir da sétima semana de operação (Figura 9), esse fato deveu-se a baixa temperatura (42°C) atingida na Pilha 1 de compostagem. Conforme Figura 6 a temperatura não se manteve uniformemente durante os primeiros 55 dias de operação, apareceu picos 42°C nos 10 dias iniciais e ocorrendo novamente aos 19 dias de operação. Por outro lado, na pilha 2 a temperatura manteve-se elevada (65°C), logo após os dois dias iniciais mantendo-se na média de 64°C durante os 46 dias de operação (Figura 7).

Restrição ao Uso do Composto na Horticultura: a utilização de biosólidos oriundos da cocompostagem com lodo de tanque séptico para fins produtivos na horticultura ainda é objeto de muito debate, principalmente no que diz respeito à adequada proteção da saúde humana, no entanto há restrição quanto à utilização de composto na horticultura.

Em conformidade com a Instrução Normativa nº 25/2009 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Secretaria de Defesa Agropecuária (BRASIL, 2009) no seu artigo 2º, que trata da classificação dos fertilizantes orgânicos. A supracitada Instrução Normativa denomina de classe “D” o “fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza qualquer quantidade de matéria-prima oriunda do tratamento de despejos sanitários, resultando em produto de utilização segura na agricultura”. Nesse aspecto, conforme o Anexo IV a Instrução Normativa nº 25, de 23 de julho de 2009 da Secretaria de Defesa Agropecuária (BRASIL, 2009), apresenta restrições para uso em culturas comestíveis, conforme texto na íntegra: “uso proibido em pastagens e cultivo de olerícolas, tubérculos e raízes, e culturas inundadas, bem como as demais culturas cuja parte comestível entre em contato com o solo”.

A Resolução do Conama nº 375 (BRASIL, 2006b) define critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, classificando os biosólidos em Classe A, para lodos que apresentem número de ovos de helmintos inferior a 0,25 ovo/g.ST e B para lodos com menos de 10 ovos/g.ST, semelhante à norma 40 Part. 503 (USEPA, 1993).

Vale salientar que, com base na Instrução Normativa nº 25/2009 (BRASIL, 2009) da Secretaria de Defesa Agropecuária, os fertilizantes das classes C e D especificados em seu art. 2º só poderão ser comercializados através de recomendações de Engenheiro Agrônomo ou florestal, conforme seu art. 18º.

No art. 17, parágrafo 8º, da mesma Instrução Normativa que trata de fertilizantes que contenham em sua composição resíduos de origem animal, o rótulo deverá conter recomendações e restrições de uso. O composto orgânico denomina de classe “D” que é aquele que contém qualquer quantidade de matéria-prima oriunda do tratamento de despejos sanitários tem uso proibido para culturas olerícolas, tubérculos e raízes, e culturas inundadas e culturas cuja parte comestível entre em contato com o solo, a exemplo de alface, coentro e repolho.

5. Conclusões

Os lodos de tanques sépticos unifamiliares em operação no distrito de Malhada da Roça, apresentaram teor de ST variando de 10,9 a 63,7% com um percentual de STV entre 8,5 e 52,6%. O teor percentual de nitrogênio total Kjeldahl foi de 1,3% ST o que forneceu uma relação C/N média de 14,9.

O processo de cocompostagem mostrou-se eficiente na remoção de ovos de helmintos do substrato, visto que no início do processo a concentração média de ovos de helmintos viáveis era de 10,5 ovos/gST e a partir do 49º dia de monitoramento não foi detectada a presença de ovos viáveis, em nenhum dos tratamentos realizados.

Ao compostar lodo de tanque séptico (51% de umidade) conjuntamente com resíduos vegetais com teor de umidade em torno de 65%, cada 100 Kg da mistura produz 11 Kg de composto com 35% de umidade, enquanto a compostagem de lodo de tanque séptico (90,58% de umidade) com esterco bovino com 49,3% de umidade, cada 100 Kg da mistura produz 72 kg de composto, desse percentual a grande maioria (82%) na forma de pó, com espessura de 2 mm conforme Instrução Normativa nº 23, de 31 de agosto de 2005 (BRASIL, 2005).

O lodo de tanque séptico conjuntamente com esterco bovino na proporção de 91 Kg de lodo (9,42% ST) e 181 Kg de esterco bovino (50,7% ST) foi suficiente para manter uma mistura com 63% de umidade, ideal para iniciar o processo. A baixa relação C/N(5,47/1) do lodo de tanque séptico foi balanceada pela presença do esterco bovino (C/N = 37,32), mantendo a mistura com relação de C/N em torno de 27/1. Essa condição de fonte de carbono juntamente com a umidade de 63% favoreceu a ação dos organismos autóctones permitindo o sucesso do processo de compostagem, mantendo a temperatura variando de 64 a 50°C durante 55 dias iniciais da compostagem, portanto mostrou-se eficiente na remoção de ovos de helmintos e organismos termotolerantes

Com o cocompostamento de lodo de fossa séptica pode-se obter um ótimo composto orgânico, vindo proporcionar melhorias nas condições físicas e químicas, nos solos rasos e de baixa biodiversidade do semiárido e dessa forma propiciar um destino adequado e correto para esse biosólido, diminuindo seus impactos ambientais e contribuindo para a sustentabilidade com o uso agrícola e propiciando as condições para obtenção de maiores produtividades.

No uso do tanque séptico, à medida que ocorre a decantação, a matéria orgânica putrescível e organismos patogênicos tais como: vírus, bactérias, cistos de pro-

tozoários e ovos de helmintos, mantêm-se sedimentados na base inferior do tanque, o que torna inviável a disposição de lodo no meio ambiente sem tratamento prévio, constituindo um risco à saúde humana. Portanto, durante o processo de cocompostagem com a elevação da temperatura ocorre eliminação dos organismos patogênicos presentes no lodo de esgoto, mitigando os impactos e riscos à saúde humana.

6. Recomendações para utilização dos resultados pela Funasa e indicativo de custo

Para populações de áreas periurbana e rural que utilizam tanques sépticos ou fossas nos seus domicílios e que geram lodo e outros resíduos orgânicos putrescíveis, domiciliares ou agrícolas, que não são tratados adequadamente, recomenda-se:

- 1) Compostar lodo de tanque séptico conjuntamente com esterco bovino; e
- 2) Compostar lodo de tanque séptico conjuntamente com resíduos vegetais, como por exemplo resto de legumes, cascas de frutas, alimentos, verduras e folhas de poda.

As caracterizações dos 20 tanques sépticos do distrito de Malhada da Roça revelaram que os domicílios mantêm em média 4 habitantes e os esgotos gerados são tratados por tanque séptico unifamiliar de câmara única com volume médio de 1,5 m³. Portanto, na Tabela 6, estão apresentados os principais parâmetros do modelo de tratamento de esgotos domésticos e geração de lodo na localidade em que se concretizou a presente pesquisa.

Tabela 6 – Principais parâmetros do modelo de tratamento dos resíduos do distrito de Malhada da Roça em São João do Cariri, Paraíba

Parâmetros	Valores
Volume do tanque séptico (0,8 x 1,30x1,5 m)	1,50 m ³
Produção de lodo fresco	1 L.hab ⁻¹ .dia ⁻¹
Lodo adensado e acumulado	50 L.hab ⁻¹ .ano ⁻¹
Limpeza anual	150 L.hab ⁻¹ .ano ⁻¹
Lodo que Permanece no Tanque séptico	50 L.hab ⁻¹ .ano ⁻¹
Leito de secagem simplificado (1,20 x 1,60 m)	1,96 m ²

De cada tanque séptico serão retirados anualmente, através de bomba manual de sucção, 150 litros de lodo adensado com concentração de sólidos suspensos totais variando de 80 a 140 gSST. L⁻¹. Em seguida serão dispostos em leito de secagem simplificado por período 2 ou 3 dias. Vale salientar que o tempo de permanência do lodo no leito de secagem depende do teor de umidade dos outros resíduos a serem compostados. Essa flexibilização é muito oportuna para equilibrar a umidade ideal da mistura dos resíduos para a compostagem conjugada.

A limpeza dos tanques sépticos deverá ser realizada apenas durante o período de estiagem, na região semiárido corresponde a 8 meses por ano.

O leito de secagem simplificado é um dispositivo construído de tijolos e cimento de formato retangular (1,2 X 1,60 m), área suficiente para receber os 150 litros de lodo e manter uma lâmina de 8 cm. O lodo perde umidade por evaporação e por percolação. A declividade de 2% na superfície do leito é uma inclinação suficiente para o líquido percolado ser colhido em garrafa PET de 2 litros de capacidade e retornado ao tanque séptico de origem.

Nas Tabelas 7 e 8, estão apresentados os valores estimados do custo para a construção, respectivamente, do leito de secagem simplificado e da bomba de sucção de lodo.

Tabela 7 – Orçamento para construção do leito simplificado

Discriminação	Valor (R\$)
Material: 35 tijolos	10,50
Material: uma lata de areia	2,50
Material: um saco de cimento	20,00
Mão de obra	20,00
Total	53,00

Tabela 8 – Orçamento para construção da bomba de sucção de lodo

Discriminação	Valor (R\$)
Cano de PVC de 40 mm, 2,3 m	15,00
Joelho de 40 mm	5,00
êmbolo de madeira	5,00
Total	25,00

Conforme as Tabelas 7 e 8, os custos de construção (leito de secagem + bomba de sucção de lodo) são cerca de R\$ 78,00 para secar 150 litros de lodo adensado de cada tanque séptico por ano. Essa massa de lodo com 52% de umidade quando compostado conjuntamente com resíduos vegetais produz cerca de 100 Kg de composto. No entanto, esse mesmo lodo com 91% de umidade quando compostado conjuntamente com esterco bovino produz cerca de 300 Kg de composto por tanque séptico unifamiliar ano. Adubo comercial a exemplo da marca: Nutripant, com características similares ao produzido em Malhada da Roça, cada saco com 2 kg custa R\$ 5,00.

A utilização de “composto” oriundo da cocompostagem de lodo juntamente com resíduos orgânicos como insumo nos solos do semiárido na produção rural é uma alternativa fundamental para uma maior qualidade da gestão ambiental e, simultaneamente, apresenta um menor custo em termos de economia agrícola, portanto é tecnicamente e economicamente viável.

7. Referências bibliográficas

ANDREOLI, Cleverson V.; PINTO, Marcelo A. Teixeira. Resíduos Sólidos do Saneamento: Processamento, Reciclagem e Disposição Final. Curitiba: 2001.

APHA - American Public Health Association. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20. ed., Washington D.C, 1992.

BRASIL (2005). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 23 de 31 de agosto de 2005. Definições e normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura. Brasília - DF: Diário Oficial da União, Seção 1, 8 de setembro de 2005.

BRASIL (2006). Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Meio Ambiente - Conama. Resolução nº 380, de 31 de outubro 2006. Retifica a Resolução Conama nº 375/06 – Define critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. Publicado no Diário Oficial da União nº 213 de 07 de novembro de 2006, Seção 1, página 59.

BRASIL (2006). Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Meio Ambiente - Conama. Resolução nº 375, de 29 de agosto 2006. Define critérios e procedimentos , para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. Publicado no Diário Oficial da União de 30 de agosto de 2006, Seção1. Pagina 141 a 146.

BRASIL (2007). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. Pesquisa Nacional de Amostra por Domicílio - PNAD. IBGE: Rio de Janeiro, 2007.

BRASIL (2008). Ministério das Cidades. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico - PNSB. Brasília – DF, 2008.

BRASIL (2009). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 25 de 23 de agosto de 2009. Aprova as normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados

à agricultura e revoga a instrução normativa DAS nº 23, de 31 de agosto de 2005. Brasília - DF: Diário Oficial da União, Seção 1, 28 de julho de 2009.

CARVALHO, P. de C. T. de. Introdução e fundamentos sobre a compostagem do lodo de esgoto. In: TSUTIYA, M. T; COMPARINI, J. B.; ALEM SOBRINHO, HESPANHOL, I. CARVALHO, P. de C. T de; MELFI, A. J.; MELO, J. de; MARQUES, M. O. (Coord) Biosólidos na Agricultura. 1. ed. São Paulo: SABESP, 2001. 468 p.

KIEHL, E. J. Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto. Piracicaba - SP: USP, 1998. 171p.

METCALF & EDDY. Wastewater Engineering treatment and reuse. 4rd edition , McGraw - Hill , Book. 2003. 1819p.

MEYER, K. B.; MULLER K. D.; KANESHIRO, E. S. Recovery of Ascaris eggs from sludge. Journal of Parasitology, 64, 380-383,1978.

NEVES, D. P. Parasitologia Humana. 11^a Ed. São Paulo – SP: Atheneu, 2005, 494p.

OGUNWANDE, G. A; OSUNADE, J. A; ADEKALU, K. O; OGUNJIMI, L. A. O. Nitrogen loss in chicken litter composto as affected by carbon to nitrogen ratio and turning frequency. Bioresource Technology. 2008. v. 99, p. 7495 -7503, Nov.

PEREIRA NETO, J. T. Manual de compostagem: processo de baixo custo. Belo Horizonte: UNICEF, 1996.

TOSUN, I; GÖNÜLLÜ, M.T.; ARSLANKAYA, E.; GÜNAY, A. Co-composting kinetics of rose processing waste with OFMSW. Bioresource Technology, China: ScienceDirect, 2008, jan, p. 6143 - 6149.

USEPA – United State Environmental Protection Agency. 40 CFR-Part 503; Use or disposal of sewage sludge; biosolids. Washington-US: Environmental Protection Agency, february 19, 1993.



Avaliação operacional e da eficiência de lagoas de estabilização no Estado do Rio Grande do Norte

André Luis Calado Araújo: Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN) e do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária da Universidade Federal do Rio Grande do Norte – PPgES/UFRN.

Resumo

O projeto teve como objetivo mapear e avaliar o desempenho dos sistemas de lagoas de estabilização existentes no Estado do Rio Grande do Norte. Todos os 78 sistemas de lagoas de estabilização foram visitados, sendo levantadas todas as informações pertinentes a localizações e características físicas e operacionais. Dados de monitoramento dos sistemas foram obtidos junto à Companhia de Águas e Esgotos do Estado – CAERN para avaliar as suas eficiências. Posteriormente, 10 sistemas compostos por 3 lagoas em série foram sistematicamente monitorados para verificar suas eficiências nas remoções de matéria orgânica, nutrientes e microorganismos. Os resultados mostraram que metade das ETEs no Estado não apresenta tratamento preliminar e na maioria das estações, as práticas operacionais e de manutenção são inadequadas assim como as suas eficiências estão abaixo do esperado. Considerando apenas as 10 séries monitoradas ao longo do projeto o esgoto bruto afluente às estações apresentou concentrações médias de DBO e DQO de 550 mg/L (294-747 mg/L) e 714 mg/L (475-909 mg/L), respectivamente, valores estes bem superiores aos comumente adotados nos projetos. Contudo, nas 10 séries monitoradas, mesmo com todos os problemas operacionais e de manutenção, além das sobrecargas orgânicas, a remoção média de DBO e DQO ficou em torno de 70%, atingindo concentrações nos efluentes finais compatíveis com o padrão de lançamento estabelecido na Resolução Conama 430. Recomenda-se, para a me-

lhoria dos sistemas, que os mesmos sejam operados e mantidos adequadamente além de ampliados introduzindo um pré-tratamento anaeróbio aliado ao pós-tratamento do efluente, para a remoção de algas.

Palavras-chave: Lagoas de estabilização, manutenção, operação, tratamento de esgoto.

Abstract

The project aimed to map and assess the performance of waste stabilization ponds systems in the State of Rio Grande do Norte. All stabilization ponds systems were visited and all relevant information such as their location, physical and operational characteristics were obtained. Data from monitored systems were obtained from the Water and Sewerage Company of the State - CAERN to assess their efficiencies. Subsequently, 10 series of 3 ponds were systematically monitored to evaluate their effectiveness in removal of organic matter, nutrients and microorganisms. Results showed that half of the plants have no preliminary treatment and operational and maintenance practices are inadequate leading to efficiencies lower than expected. Considering only the 10 series monitored throughout the project the raw sewage had an average concentration of BOD and COD of 550 mg/L (294-747 mg/L) and 714 mg/L (475-909 mg/L), respectively, values much higher than those commonly adopted in the projects. However, even with all operational and maintenance problems, in addition to organic overloads, the 10 series presented an average removal of BOD and COD around 70%, reaching concentrations in the final effluent compliant with Conama 430. It is recommended for the improvement of systems, that they are operated and maintained properly, and the introduction of an anaerobic pre-treatment combined with post-treatment of effluent for algae removal.

Keywords: Stabilization ponds, maintenance, operation, sewage treatment.

1. Introdução

Esse relatório apresenta os resultados obtidos ao longo da execução do projeto de pesquisa “Avaliação Operacional e da Eficiência de Lagoas de Estabilização no Estado do Rio Grande do Norte”, atendendo à chamada pública por intermédio do Edital de Convocação nº 1/2007 do Programa de Pesquisa em Saúde e Saneamento, Departamento de Engenharia de Saúde Pública – DENSP, da Fundação Nacional de Saúde – Funasa. O proponente do projeto é a Fundação de Apoio à Educação e ao Desenvolvimento Tecnológico do Rio Grande do Norte – FUNCERN, sendo o mesmo

executado pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte – IFRN, Campus Natal Central, contando com o apoio do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária da Universidade Federal do Rio Grande do Norte – PPgES-UFRN, e da Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte – CAERN.

No Estado do Rio Grande do Norte, a Companhia de Água e Esgoto do Rio Grande do Norte (CAERN) explora os sistemas de água e esgoto em forma de concessão. A Companhia atua em 146 municípios e somente 41 apresentam algum tipo de tratamento de esgoto, geralmente sistemas de lagoas de estabilização.

No Rio Grande do Norte, mais de 90% dos sistemas de tratamento de esgoto são realizados por meio de lagoas de estabilização. Deste total, um pequeno percentual apresenta o conjunto operacional adequado e aceito conforme recomendado para essa técnica de tratamento.

É conveniente salientar que a maioria dos sistemas utilizados para tratamento de esgoto no Rio Grande do Norte é projetada com base em dados obtidos em sistemas piloto, para uma característica de esgoto bruto geralmente diferente da realidade regional. São geralmente construídos, operados e mantidos de forma inadequada, apresentando, em grande parte, remoção de carga orgânica (DBO), e dos microorganismos patogênicos, inferiores ao predito nos projetos, levando a sérios problemas ambientais, como contaminação dos corpos de água receptores.

Dessa forma, é necessária a criação e manutenção de um banco de informações sobre os sistemas existentes no estado, como foram projetados, como são operados, quais as suas eficiências e, quais os parâmetros reais mais adequados para o dimensionamento de novos sistemas.

Em outubro de 2008, foi iniciada uma pesquisa, financiada por intermédio da Fundação Nacional de Saúde (Funasa) com vistas a compilar todas as informações sobre os sistemas de lagoas em operação no estado (todos em escala real), criando um sistema de informações geográficas (SIG).

2. Objetivos

O presente projeto tem como objetivo geral realizar a avaliação operacional e de desempenho de sistemas de lagoas de estabilização com vistas à obtenção de parâmetros regionais de projetos.

2.1 Objetivos específicos

- Mapear, avaliar e diagnosticar o desempenho operacional das lagoas de estabilização do estado do Rio Grande do Norte.
- Caracterizar o esgoto bruto afluyente (DBO, DQO, Coliformes, nutrientes) aos sistemas bem como determinar as suas taxas de degradação (cinética de degradação de matéria orgânica).
- Correlacionar as cargas aplicadas aos sistemas com a eficiência e condições operacionais.
- Avaliar a eficiência de sistemas de lagoas de estabilização do RN na remoção de DBO5, DQO e coliformes termotolerantes e o comportamento dos parâmetros nitrogênio total kjeldhall, fósforo total, sólidos suspensos, pH, Temperatura e OD.
- Estimar dados de projeto referentes as características do esgoto bruto afluyente, e as taxas de degradação de matéria orgânica e decaimento de coliformes, comparando com os adotados nos projetos dos sistemas avaliados.
- Construir um Sistema de Informação Geográfica - (SIG) contendo as informações sobre os sistemas de lagoas de estabilização do estado do RN.

3. Metodologia

A pesquisa foi desenvolvida em 51 municípios que coletam e tratam seus esgotos por meio de lagoas de estabilização no estado do Rio Grande do Norte (RN).

3.1 1ª ETAPA: Diagnóstico operacional de lagoas de estabilização do RN

A primeira etapa da pesquisa compreendeu a compilação de informações sobre todos os sistemas de lagoas de estabilização do estado junto a Companhia de Águas e Esgotos (CAERN), SAAE e em resultados de pesquisas.

Com esses dados foi elaborada a relação de lagoas de estabilização, existentes no Estado, sua localização, configurações e dados de monitoramento, etc.

Foram realizadas visitas *in loco*, em 78 sistemas de lagoas de estabilização. As coletas de amostras foram realizadas em 2008, durante as visitas *in loco*, e só foram realizadas nos sistemas que não fazem parte do plano de monitoramento da CAERN, ou seja, aqueles operados pelos SAAE e municípios. Para os sistemas operados pela CAERN foram utilizados os dados disponibilizados pela própria Companhia, obtidos nos anos de 2008 e 2009. Com base nos resultados das análises foram avaliadas as eficiências das ETE nas remoções de matéria orgânica e coliformes termotolerantes.

3.2 2ª ETAPA: Construção e alimentação de bancos de dados do SIG

Os dados referentes ao diagnóstico das lagoas de estabilização do RN foram compilados em um banco de dados para a construção de um SIG. No ato das visitas *in loco* foram preenchidas planilhas com perguntas sobre as principais características do sistema, além de incluir a localização geográfica através de GPS, modelo Juno ST da Trimble, *datum*: Córrego Alegre, Zona 24S, e a elaboração de croqui da ETE.

O geoprocessamento foi trabalhado com o *software* ArcGIS 9.0 da ESRI, tanto para sua manipulação, quanto para a consulta dos dados obtidos, criando-se assim um novo banco de dados. Vários itens a respeito de cada ETE foram incluídos, como fotos, diagnóstico da eficiência de cada ETE, destino do efluente tratado (lançado sobre o solo ou num corpo receptor etc.). A interface utilizada permite que essas informações também sejam visualizadas, através de um sistema de *hiperlinks*.

Para a entrada de dados e atualização do sistema, foi utilizado o Programa de Banco de Dados Microsoft Access 2002, interligado ao ArcGIS, gerando assim uma forma de atualização automática do sistema. As ferramentas contidas no SIG permitem que um banco de dados de cada ETEs seja acessado a partir de sua plataforma.

3.3 3ª ETAPA: Monitoramento sistemático de sistemas de lagoas

Foi realizado o monitoramento de 10 (dez) sistemas de lagoas de estabilização (Tabela 1) com a configuração de lagoa facultativa primária seguida por duas lagoas de maturação (configuração predominante no RN), sendo realizada a caracterização dos afluentes e efluentes de cada lagoa com relação às seguintes variáveis: temperatura, pH, oxigênio dissolvido (OD), DBO (total e filtrada), DQO (total e filtrada), coliformes termotolerantes, enterococcus, nitrogênio kjeldhall total (amônia e nitrogênio orgânico), fósforo total, ortofosfato solúvel, frações de sólidos e clorofila a.

Cada sistema foi avaliado com frequência mínima mensal por um período de um ano com coletas de amostras dos afluentes e efluentes de cada lagoa no horário entre 8 e 11h, em diferentes dias da semana, perfazendo um total de 157 coletas.

Tabela 1 – Resumo das características físicas dos 10 sistemas de lagoas monitorados

ETE - CAIÇARA				ETE - MACAU			
	LFP	LM1	LM2		LFP	LM1	LM2
Comprimento (m)	53,3	26,0	26,0	Comprimento (m)	255,0	120,0	120,0
Largura (m)	21,0	21,0	21,0	Largura (m)	90,0	60,0	60,0
Profundidade (m)	1,5	1,4	1,4	Profundidade (m)	2,0	1,5	1,5
TDH (d)	15,5	7,1	7,1	TDH (d)	11,6	2,7	2,7
ETE - MOSSORÓ				ETE - PEDRO VELHO			
Comprimento (m)	225,0	95,0	95,0	Comprimento (m)	52,0	26,0	26,0
Largura (m)	79,0	79,0	79,0	Largura (m)	26,0	10,0	10,0
Profundidade (m)	2,0	1,5	1,5	Profundidade (m)	2,0	1,5	1,5
TDH (d)	72,3	22,9	22,9	TDH (d)	10,7	1,5	1,5
ETE - PIPA				ETE - PONTA NEGRA			
Comprimento (m)	115,0	56,0	56,0	Comprimento (m)	445,0	196,0	234,0
Largura (m)	40,0	16,0	16,0	Largura (m)	118,0	143,0	122,0
Profundidade (m)	2,0	1,5	1,5	Profundidade (m)	2,0	1,5	1,5
TDH (d)	14,2	2,1	2,1	TDH (d)	13,8	5,5	5,6
ETE - SANTANA DO SERIDÓ				ETE - SANTO ANTÔNIO			
Comprimento (m)	71,0	38,0	38,0	Comprimento (m)	138,0	61,0	76,0
Largura (m)	38,0	18,5	14,5	Largura (m)	61,0	37,5	27,5
Profundidade (m)	1,3	1,2	1,2	Profundidade (m)	2,0	1,5	1,5
TDH (d)	20,6	5,0	3,9	TDH (d)	56,1	11,4	10,5
ETE - SÃO GONÇALO				ETE - TOUROS			
Comprimento (m)	72,0	33,0	33,0	Comprimento (m)	174,0	78,0	78,0
Largura (m)	42,0	42,0	42,0	Largura (m)	74,0	84,0	84,0
Profundidade (m)	2,0	1,9	1,9	Profundidade (m)	1,1	1,0	1,0
TDH (d)	23,3	10,1	10,1	TDH (d)	17,5	8,1	8,1

OBS: Resultados baseados nas medições realizadas no campo.

4. Resultados

4.1 Diagnóstico operacional e da eficiência

A companhia de águas e esgotos do estado (CAERN) opera a maioria dos sistemas de lagoas de estabilização (79%), o município é responsável por 16% enquanto que os 5% restantes são de responsabilidade de SAAE.

Com relação à configuração, a série formada por lagoa facultativa primária seguida de duas lagoas de maturação é a mais adotada no estado com 38 sistemas (49%). A série composta por lagoa facultativa primária e uma lagoa de maturação é a segunda mais utilizada com 16 sistemas (21%), enquanto que 13 sistemas (17%) apresentam apenas uma lagoa facultativa primária. Sistemas envolvendo uma fase anaeróbia (lagoa anaeróbia ou tanque séptico) seguida de lagoas facultativas e de maturação são os menos utilizados, representando apenas 13% dos sistemas existentes.

É importante destacar que apenas 49% dos sistemas (38 ETE) apresentam unidade de tratamento preliminar (grade e caixa de areia). Tal fato certamente tem papel importante no desempenho dos sistemas, pois muitos já estão assoreados.

Durante as visitas de campo foi observado que dos 78 sistemas avaliados, 50 (64%) apresentam ao menos um operador enquanto que nos 28 sistemas restantes (36%) não é realizada nenhuma prática operacional de rotina. Destaca-se que a simples presença do operador no sistema não significa sua correta operação. Na maioria das ETE os operadores desconhecem as práticas operacionais de rotina, não usam equipamentos de proteção individual, embora os possuam, e em muitos casos não trabalham exclusivamente na operação da ETE.

As atividades operacionais destacadas como essenciais para o melhor funcionamento das ETE, pelos seus operadores, foram a limpeza da unidade de tratamento preliminar e a remoção de lodo flutuante. Destaca-se que para as ETE que possuem unidade de tratamento preliminar a limpeza é realizada predominantemente com frequência semanal (41%) ou diária (21%).

A Tabela 2 apresenta a eficiência média de DBO, DQO e coliformes termotolerantes por tipologia de configuração dos sistemas de lagoas de estabilização do RN, no período de 2008 a 2009. No geral os sistemas apresentaram eficiências médias de remoção de DBO, DQO e coliformes abaixo do esperado.

Tabela 2 – Eficiência média na remoção de DBO, DQO e coliformes termotolerantes nos sistemas de lagoas de estabilização em função das suas configurações

Configuração do sistema	Eficiência média (%)		
	DBO	DQO	Coliformes
Tanque séptico + lagoa facultativa primária	41	42	95,4
Lagoa facultativa primária	44	45	96,0
Lagoa facultativa primária + 1 lagoa de maturação	56	56	98,3
Lagoa facultativa primária + 2 lagoas de maturação	58	60	99,6

Fonte: Resultados de análises realizadas pela CAERN entre 2008 e 2009.

Como esperado, a série formada por lagoa facultativa primária seguida por duas lagoas de maturação foi a que apresentou, em média, melhor desempenho nas remoções de matéria orgânica e microorganismos. Por outro lado, os sistemas com tanques sépticos precedendo uma lagoa facultativa secundária foram os que apresentaram pior desempenho. Vale salientar que nesses sistemas, os tanques sépticos são precariamente operados e funcionam praticamente como caixas de passagem, causando sobrecarga orgânica nas lagoas facultativas secundárias.

Considerando os dados de todo o estado, a eficiência média de remoção de DBO foi de 55%, de DQO foi de 58% e de coliformes termotolerantes foi de 99,1%. O efluente final lançado no meio ambiente apresenta concentrações médias de 166 mg/L, 580 mg/L e $2,9 \times 10^6$ ufc/100 ml, respectivamente, para DBO, DQO e coliformes termotolerantes. As baixas eficiências podem estar associadas às deficiências operacionais e de manutenção das ETEs, elevadas cargas orgânicas e configurações inadequadas.

4.2 Desenvolvimento do sistema de informações geográficas (SIG)

Todos os resultados obtidos durante a realização do projeto foram passados para um banco único de dados do Microsoft Access utilizando um programa feito especificamente para esse fim. A Figura 1, por exemplo, apresenta a tela do programa onde é realizado o cadastro das ETEs destacando, entre outras, o nome da ETE, o município, a configuração, coordenadas geográficas, etc. Todos os dados cadastrados no programa são automaticamente armazenados no banco de dados do Access.

Estação de Tratamento de Esgoto	Município	Configuração	Data	Latitude	Longitude	Criação	Operador
Acari	Acari	1F1+1M1		3285750	760453		CAERN
Apodi do Café	Pombas	1F1+1M1+1M2		3321623	74382		CAERN
Alcaça Barão	Serra Negra do Apodi	1F1+1M1		3382213	778119		CAERN
Amatitlan II	Itaiti	1F1		3387958	251952		CAERN
Almas Beatas	Almas Beatas	1F1+1M1		3382123	778119		CAERN
Agrotopia	Almas Beatas	1F1		3309671	775032		CAERN
Agrícola - ver configura!	Cururup	1F1 + 1F2		3308303	773534		CAERN
Alcapiti	Caracul	1F1+1M1+1M2		3403040	74309		CAERN
Alto do Negro (FM-2)	Angicos	1F1+1F1		3374126	78528		MUNICÍPIO
Alto do Rodrigues	Alto do Rodrigues	1F1+1M1		3414341	748321		CAERN
Aranga	Tangará	1F1+1M1+1M2		3313876	190517		MUNICÍPIO
Araras Matias	Araras Matias	1F1+1M1+1M2		3313002	82741		CAERN
BT 82 E3	Pombas						
Bixi	Pombas	1F1 + 1F2		3306540	76887		CAERN
B3	Pombas	1F1 + 1F2		3308135	752328		CAERN
Serra Nogueira	Itaiti	1F1+1M1		3388068	252039		CAERN
Serra Rio - IGAPD	Itaiti	1F1+1M1+1M2		3361266	251042		CAERN
Belém	Cururup	1F1 + 1F2		3307777	773819		CAERN
Bica Saúde	Bica Saúde	1F1+1M1		3319864	212331		MUNICÍPIO
Cajá e Pesca	Cururup						
Cajuru	Cajuru das Rãs Verdes	1F1+1M1+1M2		3352881	168209		CAERN
Capimela	Itaiti	2F1+2M1		3429623	488174		CAERN
Campeste	São José do Campeste	1F1+1M1+1M2		3303321	193990		CAERN
Canal I	Canal Pedreira	1F1		3308808	812045		CAERN
Canal II	Lagoa Pedreira	1F1		3308831	811838		CAERN
Canal	Tangará	1F1+1M1		3213242	192041		MUNICÍPIO
Castelo Branco	Castel	1F1		3292619	712342		CAERN
Canal I	Tangará	1F1+1M1+1M2		3319510	194191		MUNICÍPIO
Canal II	Tangará	1F1+1M1+1M2		3319633	193475		MUNICÍPIO
Caracul	Santa Rosa do Sol	1F1+1M1+1M2		3343756	758750		CAERN

Figura 1 – Tela de cadastro das estações de tratamento de esgotos

O Access consiste num sistema gerenciador de banco de dados relacional que permite a fácil armazenagem e recuperação de dados alfanuméricos. Por ser relacional pode acessar dados de diversas tabelas diferentes, como conectar informações referentes à estação de tratamento (nome, município, regional que está inserida, localização) às análises (data e hora da coleta; valores dos diversos parâmetros analisados, como DBO, DQO, temperatura, coliformes, etc.). Permite ainda a realização de operações de cálculos derivando novos resultados como, por exemplo, calcular os valores médios dos parâmetros por ETE, ou os valores da eficiência de cada ETE.

Apesar de ser uma ferramenta útil para se trabalhar com dados alfanuméricos, o Access não permite a manipulação de dados geográficos, então se utilizou o *software* ArcMap, de forma a criar um SIG bastante simplificado. Com o uso do banco de dados criados no Access e os dados georreferenciados da localização das ETE, foi possível plotar as informações dos parâmetros analisados no SIG, possibilitando a criação de produtos cartográficos, úteis ao monitoramento das ETE. A Figura 2 mostra uma das maiores utilidades do SIG, que é de forma simples recuperar as informações das ETEs: nesse caso consegue-se visualizar informações como nome, regional que está inserida, valores médios dos parâmetros de monitoramento, para cada uma das 10 estações monitoradas.

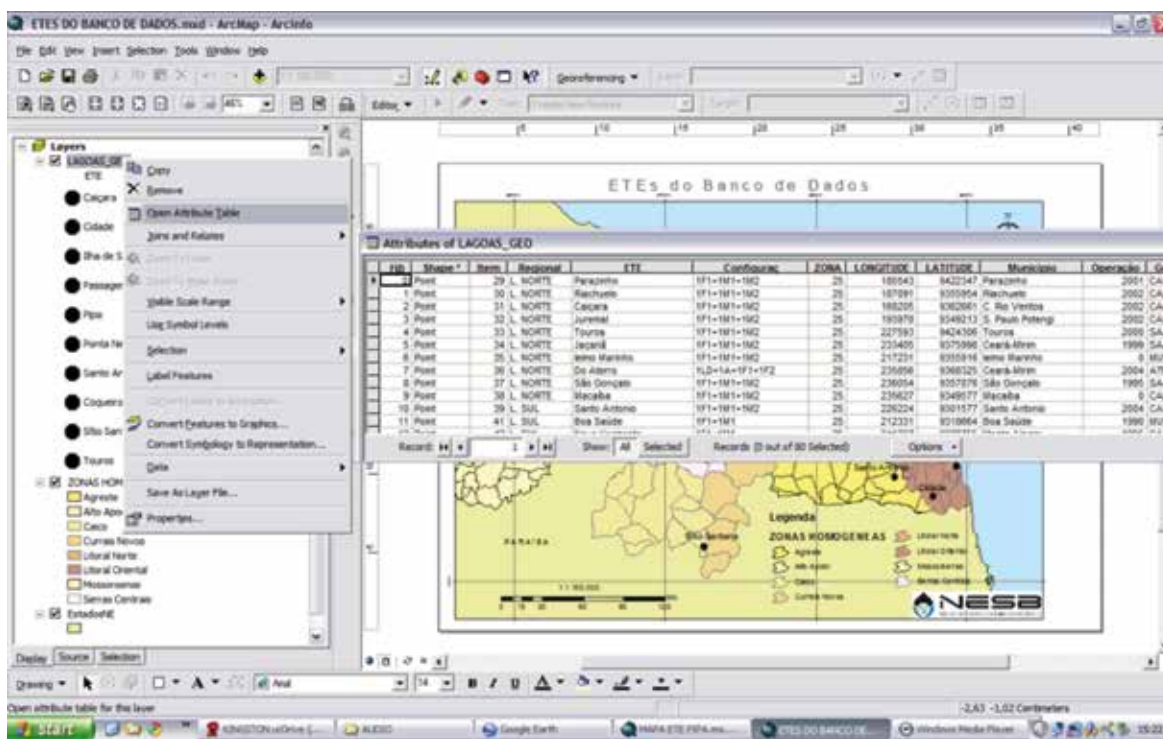


Figura 2 – Recuperação de dados pelo SIG (o mapa no segundo plano destaca os 10 sistemas de lagoas monitorados)

Outro exemplo é a visualização das eficiências das ETE permitindo identificar quais estações estão funcionando com níveis inferiores aos preditos, e necessitam de ações corretivas, ou ainda identificar no próprio SIG os pontos de coleta de amostras em cada ETE.

Além disso, o banco de dados foi modelado para que o sistema possa ser continuamente atualizado através da introdução de novos dados das ETE existentes bem como de novas estações. Todas as planilhas utilizadas nas etapas iniciais do projeto foram digitalizadas facilitando o processo de transferência de dados coletados no campo para o formato digital, bem como o seu tratamento e a obtenção de relatórios sobre quaisquer uns dos aspectos avaliados, quer sejam eles sobre as características físicas dos sistemas, operacionais ou resultados de monitoramentos de rotina.

4.3 Monitoramento sistemático das ETEs

Foram monitorados nessa etapa 10 sistemas compostos por tratamento preliminar (gradeamento e caixa de areia), uma lagoa facultativa primária e duas lagoas

de maturação, sendo realizado um total de 157 coletas contendo amostras de esgoto bruto e dos efluentes de cada reator.

4.3.1 Caracterização do Esgoto Bruto

As características médias dos esgotos brutos afluentes aos 10 sistemas de lagoas de estabilização estudados estão apresentadas na Tabela 3.

As menores concentrações de DBO e DQO foram verificadas nas ETE de Ponta Negra (294 mg/L) e Mossoró (475 mg/L). As maiores concentrações ocorreram na ETE Caiçara com média de 747 mg/L de DBO e 909 mg/L de DQO. As relações DBO/DQO variaram entre 0,56 (Ponta Negra) a 0,95 (Santana do Seridó).

É importante comentar que as duas ETE com as menores concentrações médias de DBO e DQO estão justamente localizadas nas duas maiores cidades do estado, Natal (ETE Ponta Negra) e Mossoró (ETE Passagem de Pedras), onde a população tem em relação às demais uma maior disponibilidade de água potável e maior consumo *per capita*. Os baixos valores de DBO e DQO, em Touros, se deve a existência do tanque séptico antes da série de lagoas. As taxas de degradação (20°C) apresentaram valores dentro do esperado para esgoto bruto, variando na faixa de 0,29 a 0,43 d⁻¹ e não apresentaram nenhuma correlação com as outras variáveis monitoradas.

A média de sólidos totais variou de 618 mg/L (Touros) a 1997 mg/L (Macau) enquanto que a menor média de sólidos suspensos ocorreu na ETE em Mossoró (99 mg/L) e a maior em São Gonçalo (339 mg/L). As frações voláteis variaram na faixa de 29% (Mossoró) a 59% (Caiçara) para os sólidos totais e de 61% (Ponta Negra) a 86% (São Gonçalo). A elevada concentração de sólidos totais em Macau está associada à grande parcela de sólidos dissolvidos, pois Macau é uma cidade com pouca elevação em relação ao nível do mar, cercada por salinas, e com lençol freático muito elevado, favorecendo a infiltração de águas de elevada salinidade, na rede coletora de esgotos.

Os valores medianos de coliformes variaram entre 1,20x10⁶ufc/100 ml (Mossoró) a 5,00x10⁷ (Macau e São Gonçalo) e os enterococcus variaram entre 3,93x10⁵ (Mossoró) a 9,50x10⁶ (Macau).

As concentrações médias de fósforo total variaram entre 4,5 mg/L (Pedro Velho) a 8,0 mg/L (Caiçara) e o ortofosfato solúvel variou entre 3,9 mg/L (São Gonçalo) a 6,5 mg/L (Macau). O ortofosfato foi a forma de fósforo predominante nos sistemas representando de 64% (São Gonçalo) a 98% (Touros) do fósforo total.

A maior concentração média de amônia (57,6 mg/L) ocorreu em Macau e a menor foi verificada em Ponta Negra (34,7 mg/L). Para o nitrogênio orgânico os valores médios mínimos e máximos foram de 17,1 mg/L (Santana da Seridó) e 55,3 mg/L (Caiçara).

4.3.2 Avaliação da eficiência dos sistemas

a) Temperatura, pH e Oxigênio Dissolvido

A temperatura apresentou amplitude de variação em torno de 10°C (24,3 – 34,1°C), dentro da faixa típica para a região de estudo. No geral os valores médios variaram entre 27 e 30°C.

O pH variou entre 6,8 a 10,5, com concentrações médias na faixa de 7,1 a 9,0. Foi observada a tendência natural de crescimento nos valores de pH ao longo das séries de lagoas, mas, no geral, a concentração no efluente final não ultrapassou o valor médio de 8,0. Somente nos sistemas de Mossoró (9,0), Santo Antônio (8,4) e Touros (8,8), esse valor foi ultrapassado. Valores elevados de pH são importantes para a remoção de nitrogênio, via volatilização de amônia, e fósforo, via precipitação de ortofosfato (como hidroxiapatita), no entanto, outros fatores como a incidência de ventos e a biomassa de algas também contribuem para a eficiência total de remoção.

Em algumas amostras dos efluentes dos reatores foram encontradas concentrações nulas de oxigênio dissolvido (OD) e o valor máximo determinado foi de 14 mg/L. Assim como o pH, as concentrações de OD aumentaram gradativamente ao longo das lagoas. O valor médio mínimo foi de 1,4 mg/L e o médio máximo foi de 5,8 mg/L.

Tabela 3 – Médias das variáveis analisadas no esgoto bruto afluente dos 10 sistemas monitorados ao longo do projeto

VARIÁVEIS ANALISADAS	ESTAÇÕES DE TRATAMENTO MONITORADAS									
	Caiçara	Macau	Mossoró	Pedro Velho	Pipa	Ponta Negra	Santana do Seridó	Santo Antônio	São Gonçalo	Touros
pH	7,1	7,3	7,2	7,0	6,8	7,4	7,1	7,5	7,0	7,1
T (°C)	30,1	30,5	31,2	29,0	29,5	29,0	30,2	28,6	30,5	29,5
DBO (mg/L)	747	587	335	674	444	294	690	609	604	293
DQO (mg/L)	909	792	475	804	732	520	725	777	690	402
CT (ufc/100 ml)	1,55E+07	5,00E+07	1,20E+06	2,40E+07	3,00E+07	2,20E+07	2,90E+07	1,50E+07	5,00E+07	1,60E+07
EF (ufc/100 ml)	7,60E+06	9,50E+06	3,93E+05	5,65E+06	4,54E+06	5,85E+06	3,25E+06	3,54E+06	8,00E+06	2,17E+06
FT (mg/L)	8,0	7,7	6,2	4,5	6,8	5,7	6,6	6,0	6,1	4,9
OS (mg/L)	5,5	6,5	5,7	4,1	6,1	4,2	4,7	4,9	3,9	4,8
NH3 (mg/L)	49,2	57,6	38,9	36,4	41,4	34,7	41,9	51,5	41,1	33,8
N-Org (mg/L)	55,3	19,3	28,4	34,9	36,4	25,6	17,1	25,0	52,5	14,9
ST (mg/L)	1033	1997	839	933	678	683	1074	1125	1097	618
STV (mg/L)	607	770	247	554	327	324	521	650	576	292
SST (mg/L)	334	326	99	319	127	196	244	269	339	110
SSV (mg/L)	283	261	66	269	100	120	177	220	291	81

b) DBO e DQO

As séries de lagoas de estabilização promoveram significativas remoções nas concentrações de DBO e DQO ($p < 0,05$), sendo, conforme o esperado, mais expressivas nas lagoas facultativas primárias. A menor eficiência entre as lagoas facultativas primárias de remoção de DBO ocorreu na ETE Passagem de Pedras (Mossoró) com apenas 40% enquanto que a mais significativa foi de 70% na ETE Santo Antônio. As remoções totais de DBO variaram na faixa de 53% (Ponta Negra) a 76% (Santo Antônio).

Com relação à DQO, as menores remoções, tanto na lagoa facultativa primária quanto total do sistema, foram observadas na ETE Ponta Negra (32 e 51%, respectivamente). Da mesma forma, o sistema mais eficiente foi a ETE Pipa com 63 e 73% de remoção, respectivamente. A Figura 3 apresenta, respectivamente, as remoções de DBO e DQO, das lagoas facultativas primárias e totais dos sistemas.

Os efluentes das lagoas facultativas apresentaram concentrações de DBO na faixa de 111 mg/L (Touros) a 261 mg/L (Santana do Seridó), enquanto que a DQO variou na faixa de 183 mg/L (Touros) a 446 mg/L (Caiçara). Para os efluentes finais as concentrações de DBO e DQO variaram nas faixas de 90 mg/L (Touros) a 189 mg/L (Caiçara) e 135 mg/L (Touros) a 257 mg/L (Macau), respectivamente. Os efluentes finais apresentaram concentrações de DBO superiores às previstas nos projetos dos sistemas.

Considerando todos os sistemas a DBO filtrada variou em média entre 60 e 65% da DBO total. Já a DQO filtrada representou cerca de 50 a 55% da DQO total. Tais resultados indicam que uma representativa parcela da DBO e DQO deve-se a presença de material particulado, no entanto, não foi constatada nenhuma correlação entre DBO e DQO com os sólidos suspensos, sólidos suspensos voláteis e clorofila a.

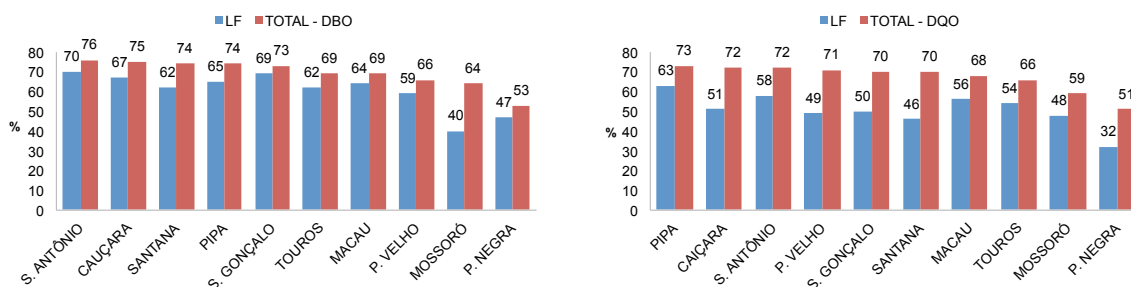


Figura 3 – Eficiências de remoções de DBO e DQO nas lagoas facultativas (LF) e totais, em ordem decrescente de eficiência

Nas lagoas facultativas primárias as cargas orgânicas superficiais variaram entre 217 a 1262 kgDBO/ha.dia, estando, para a maioria dos sistemas, muito acima da faixa citada na literatura para esse tipo de reator (100 – 350 kgDBO/ha.dia) (Mara 1976; Sperling, 2002). Piores condições foram observadas nas lagoas de maturação que em muitos sistemas estão recebendo cargas orgânicas superiores às das lagoas facultativas que as antecedem, ou seja, muito acima do valor recomendado (75% da carga aplicada na lagoa facultativa precedente) (Sperling, 2002). Tais sobrecargas orgânicas podem estar associadas a diversos fatores, tais como:

- Na fase de projeto: Utilização de concentrações de DBO para o esgoto bruto afluente abaixo da característica real do esgoto da região; utilização de taxas de degradação do esgoto bruto superestimadas; utilização de modelos hidráulicos inadequados; superestimação da eficiência dos reatores na remoção de matéria orgânica;
- Na fase de operação e manutenção: Sistemas com o período de projeto já ultrapassado; Operação e manutenção inadequadas; grande produção de algas.

Destaca-se, no entanto, que mesmo com todos os problemas, os resultados demonstram a grande capacidade de sistemas de lagoas de estabilização suportarem elevadas cargas orgânicas sendo ainda capazes de promover uma significativa remoção de matéria orgânica, em média, para os sistemas avaliados de 69%. Mesmo com toda a diferença entre as cargas aplicadas, tempos de detenção hidráulica, etc., os efluentes finais tendem a apresentar valores que podem ser considerados semelhantes (teste de tukey: $p > 0,05$). Destaca-se ainda que outro fator que também contribuiu para a queda na eficiência, e já discutido em itens anteriores, é a operação e a manutenção inadequadas dos sistemas no estado do RN. Ou seja, mesmo com toda a deficiência operacional, sobrecargas orgânicas e concepções de projetos inadequadas, as séries de lagoas ainda foram capazes de remover cerca de 70% da DBO e DQO afluentes.

Considerando apenas as lagoas facultativas não foi encontrada nenhuma correlação significativa entre as eficiências de remoção de DBO e DQO com as variáveis operacionais (cargas aplicadas e TDH). Uma alternativa para a diminuição das cargas orgânicas aplicadas pode ser a adoção de pré-tratamento anaeróbico aos sistemas, conforme utilizado na ETE Touros. O esgoto afluente a essa estação apresentou baixas concentrações de DBO e DQO, quando comparado aos outros sistemas, e se fosse levado em consideração as concentrações do afluente ao tanque séptico que precede as lagoas, certamente estaria entre os sistemas mais eficientes.

c) Coliformes e Enterococcus sp

A mediana foi adotada como medida de tendência central para todos os dados microbiológicos. Todos os sistemas promoveram significativas remoções de microorganismos ($p < 0,05$), no entanto, ainda bem distante das preconizadas nos projetos. A maior remoção de coliformes, na lagoa facultativa, foi observada na ETE São Gonçalo (99,400%) e a menor ocorreu na ETE Caiçara (91,613%). A ETE mais eficiente foi a de Touros com 99,989% de remoção e a de menor eficiência foi a Pipa com menos de duas unidades logarítmicas de remoção (97,917%).

A remoção de Enterococcus sp nas lagoas facultativas variou de 95,062% (Santana do Seridó) a 99,742% (Touros), enquanto que a remoção total ocorreu na faixa de 99,575% (Pipa) a 99,992% (Macau e Mossoró).

Diferentemente do ocorrido para matéria orgânica (DBO e DQO) as lagoas de maturação promoveram remoções significativas de microorganismos. Não foi encontrada nenhuma correlação significativa entre as concentrações de microorganismos com as características operacionais dos sistemas (cargas aplicadas e TDH).

As ETE mais eficientes na remoção de coliformes foram justamente as que apresentaram menores concentrações afluentes (Mossoró e Touros), no entanto, a primeira apresentava um TDH total de 118 dias enquanto a segunda apresentava cerca de 34 dias. Essas duas ETE juntamente com a ETE Macau também foram as mais eficientes na remoção de Enterococcus. Os resultados indicam que, para o tipo de configuração em estudo (lagoa facultativa seguida de duas lagoas de maturação), a partir de um determinado TDH não se tem ganho significativo na eficiência do sistema. O uso de séries mais longas, com menores TDH por reator (compartimentar o sistema), deve produzir melhores resultados em termos da qualidade do efluente final.

Com relação aos efluentes finais a concentração mediana de coliformes fecais variou entre $2,00 \times 10^2$ ufc/100 ml (Mossoró) e $5,00 \times 10^5$ ufc/100 ml (Pedro Velho) enquanto que os enterococcus variaram entre $3,00 \times 10^1$ ufc/100 ml (Mossoró) a $2,40 \times 10^4$ ufc/100 ml (Pedro Velho). As ETEs de Mossoró e Touros foram as únicas que apresentaram concentrações finais de coliformes próximas a 10^3 ufc/100 ml que é o valor considerado como a qualidade requerida no efluente final para a maioria dos projetos no Estado. No entanto, cabe destacar novamente que essas ETEs foram as que apresentaram as menores concentrações afluentes, e que a ETE Mossoró apresenta um TDH superior a 100 dias.

d) Sólidos e clorofila a

As maiores remoções de sólidos totais, na lagoa facultativa e em toda a série, foram observadas na ETE Pedro Velho com 47% e 48%, respectivamente. Os sólidos suspensos nos efluentes finais das ETE de Pipa e Mossoró aumentaram cerca de 64 e 62%, respectivamente, em relação aos respectivos esgotos brutos afluentes provavelmente devido a biomassa de algas, enquanto que a ETE Pedro Velho novamente foi a mais eficiente atingindo remoções de 63% e 66% na lagoa facultativa e total, respectivamente.

A concentração de sólidos totais, no efluente final, variou de 449 mg/L (Ponta Negra) a 868 mg/L (Caiçara). Vale salientar que a ETE Macau foi a que apresentou maior concentração de sólidos totais (1990 mg/L), estando associada a infiltração de água do lençol freático (salinizado) na rede coletora de esgotos. A fração volátil dos sólidos totais variou de 24 a 57%.

A menor concentração de sólidos suspensos, no efluente final, ocorreu na ETE Touros (59 mg/L), enquanto que a maior foi observada na ETE Caiçara (210 mg/L). Para os sólidos suspensos a fração volátil foi predominante em todas as ETEs (65 a 85%), indicando que a biomassa de algas pode estar sendo responsável pela baixa eficiência na remoção de sólidos.

Em todas as lagoas foram verificadas significativas concentrações de clorofila a e uma coloração muito esverdeada nos reatores. Em alguns casos a produção de biomassa era tão intensa que chegavam a formar grandes flocos de algas.

Nas lagoas facultativas as concentrações de clorofila variaram entre 653 (Macau) a 1479 µg/L (Caiçara). Vale destacar que o sistema de Macau, que apresentou a menor concentração de clorofila, pode ter limitado o crescimento de biomassa pela excessiva concentração de sólidos totais dissolvidos. No efluente final a clorofila variou entre 364 (São Gonçalo) a 1225 µg/L (Pedro Velho).

É importante também destacar que não é somente a presença de biomassa de algas que pode estar contribuindo para a queda nas eficiências de remoção de sólidos e matéria orgânica (DBO e DQO). Também foi observado ao longo do monitoramento de rotina que alguns dos dispositivos de transferência entre os reatores não são dotados de retentores de espuma. Além disso, alguns operadores, ao fazerem a retirada da espuma que se acumula nas lagoas, jogam o material removido nas próprias caixas de passagens dos sistemas.

e) Fósforo e nitrogênio

As remoções de fósforo total variaram de 9 a 60% nas lagoas facultativas e de 5 a 65% em toda a série, sendo a ETE Touros a mais eficiente e a ETE Caiçara a de menor eficiência. Com relação ao ortofosfato solúvel as lagoas facultativas foram responsáveis por 44 a 92% de remoção enquanto que a remoção total variou de 40 a 94%. Destaca-se, no entanto, que o ortofosfato solúvel não é de fato removido pelos sistemas, mas sai incorporado à biomassa de algas.

As remoções de amônia nas lagoas facultativas variaram entre 40 a 66%, com exceção da ETE Pipa (7%), e as remoções totais ocorreram na faixa de 32 a 90%. Para nitrogênio orgânico as lagoas facultativas promoveram remoções de 44 a 69% e, ao longo das séries, as remoções ocorreram na faixa de 51 a 87%. Todas as ETes promoveram remoções significativas de amônia ($p < 0,05$) sendo essas mais representativas nas lagoas facultativas primárias. Para nitrogênio orgânico somente as ETes de Mossoró, Pipa e Santana do Seridó não promoveram a sua remoção de forma significativa ($p > 0,05$).

Os efluentes finais das séries apresentaram concentrações de amônia entre 3 mg/L (Touros) a 33 mg/L (Macau). As ETes de Mossoró, Pedro Velho, Ponta Negra, Santana do Seridó, Santo Antônio e Touros apresentaram concentração de amônia menor ou igual a 20 mg/L. Os sistemas com maior remoção de amônia (Touros, Santo Antônio e Mossoró) foram aqueles onde foram observados os maiores valores médios de pH, indicando que a volatilização de amônia pode ser um dos mecanismos predominantes na remoção dessa forma de nitrogênio. A concentração de nitrogênio orgânico no efluente final variou de 2 mg/L (Touros) a 15 mg/L (Pedro Velho).

f) Qualidade final dos efluentes

As médias das variáveis avaliadas nos efluentes finais dos 10 sistemas monitorados estão apresentadas na Tabela 4. Os efluentes finais que são lançados no meio ambiente das seguintes formas: Disposição no solo e infiltração (Pipa e Ponta Negra); Disposição no solo e escoamento superficial até um corpo aquático (Mossoró, Pedro Velho e Santo Antônio); Reúso na agricultura – irrigação (Caiçara e São Gonçalo); Lançamento diretamente em corpo aquático (Macau, Santana do Seridó e Touros).

Destaca-se que o único monitoramento sistemático que ocorre nos sistemas de lagoas de estabilização no Estado é o realizado pela Companhia de Águas e Esgotos (CAERN) nos sistemas que ela opera. O órgão ambiental do Estado (IDEMA) não pos-

sui um plano de monitoramento contínuo para verificar as condições de lançamento das ETEs existentes no Estado.

Com relação aos padrões de lançamento de DBO, a Resolução 430 do Conama, de 13 de Maio de 2011, em sua Seção III, Art. 21, estabelece uma concentração máxima de 120 mg/L que somente poderá ser ultrapassada no caso de efluente de sistema de tratamento com eficiência de remoção mínima de 60% de DBO. No mesmo artigo, §3º, para a determinação da eficiência de remoção de carga poluidora em termos de DBO para sistemas de tratamento com lagoas de estabilização, a amostra do efluente deverá ser filtrada.

Tabela 4 – Qualidade média dos efluentes finais dos sistemas monitorados

VARIÁVEIS MONITORADAS	ESTAÇÕES DE TRATAMENTO MONITORADAS – EFLUENTES FINAIS									
	Caiçara	Macau	Mossoró	Pedro Velho	Pipa	Ponta Negra	Santana do Seridó	Santo Antônio	São Gonçalo	Touros
pH	7,8	7,9	9,0	7,6	7,9	7,8	8,0	8,4	7,7	8,8
T (°C)	29,1	27,7	28,2	29,6	28,4	29,0	27,1	28,5	30,5	28,1
OD (mg/L)	2,8	3,6	4,4	3,5	3,8	3,9	2,9	5,2	3,5	5,8
DBO (mg/L)	189	182	119	178	153	139	178	144	162	90
DBof (mg/L)	157	74	100	100	101	110	110	105	82	63
DQO (mg/L)	250	257	196	218	212	254	220	218	208	135
DQOf (mg/L)	168	92	118	109	117	174	143	121	98	69
CT (ufc/100 ml)	4,00E+04	1,30E+05	2,00E+02	5,00E+05	8,00E+04	2,30E+04	5,00E+04	3,15E+04	5,00E+04	1,75E+03
EF (ufc/100 ml)	3,10E+03	7,75E+02	3,00E+01	2,40E+04	6,73E+03	1,45E+03	1,10E+04	1,01E+03	2,60E+03	3,05E+02
FT (mg/L)	7,6	4,2	3,1	2,8	5,0	4,3	4,1	5,4	4,4	1,7
OS (mg/L)	1,2	0,4	2,3	2,3	1,1	0,8	1,1	2,2	2,4	1,2
NH3 (mg/L)	27,1	32,9	6,9	24,8	19,8	14,5	10,7	7,5	20,7	3,3
N-Org (mg/L)	8,3	9,4	5,1	10,4	14,7	6,1	7,1	8,7	6,7	2,0
Cla (µg/L)	822	906	926	1225	1030	691	498	872	364	687
ST (mg/L)	868	1890	863	487	734	461	804	832	652	704
STV (mg/L)	436	469	265	264	417	203	297	400	220	190
SST (mg/L)	210	201	160	108	208	158	132	180	122	59
SSV (mg/L)	168	166	135	92	160	103	106	146	98	46

A Figura 4 destaca as eficiências médias dos sistemas com base nas amostras filtradas de DBO. Todos os sistemas apresentaram eficiência superior à mínima (60%) recomendada, atendendo, dessa forma, ao padrão de lançamento.

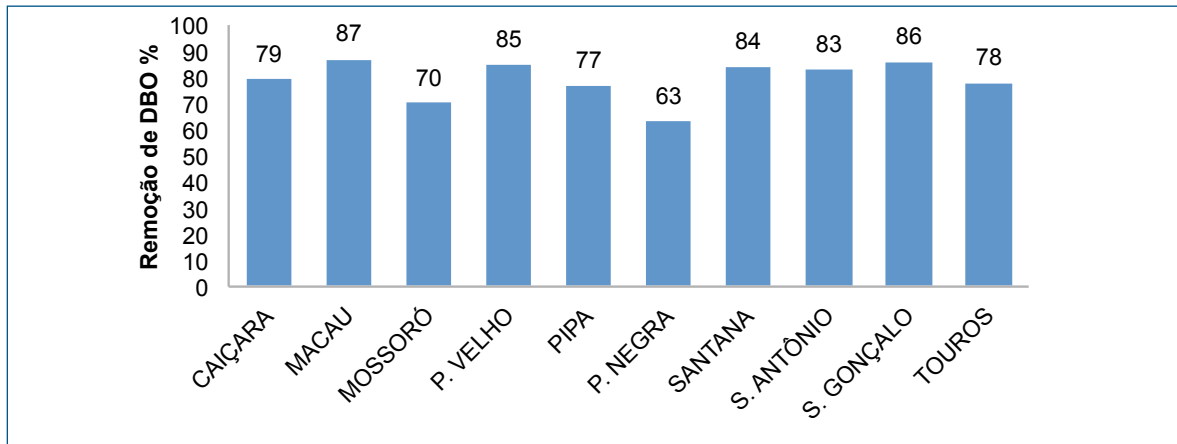


Figura 4 – Eficiências de remoção de DBO nos 10 sistemas monitorados considerando a amostra final filtrada

g) Características operacionais dos sistemas

As características operacionais e de manutenção observadas durante a realização das coletas são consistentes para as 10 ETEs avaliadas rotineiramente, pois os demais 68 sistemas avaliados na Primeira Etapa só foram visitados uma única vez.

Sempre foi observada a ocorrência de zonas mortas nos 10 sistemas, caracterizadas pelo acúmulo de material flotante e bolsões de biomassa de algas, influenciados pela direção e intensidade dos ventos.

A quantidade de material flotante sempre era mais significativa no início da manhã, quando a intensidade dos ventos era menor. Além disso, a ocorrência de períodos de baixas concentrações de oxigênio, devido as elevadas cargas orgânicas, geravam significativa produção de gases, fazendo o lodo mais leve flotar, próximo a entrada das lagoas facultativas primárias e se acumular na superfície das lagoas. Ao longo do dia, com o aumento da intensidade dos ventos, os flocos de lodo flotado no início da manhã se quebravam e novamente sedimentavam.

Somente a ETE Ponta Negra apresentava leito de secagem para disposição dos resíduos removidos da unidade de tratamento preliminar e do lodo flotado. Essa ETE

apresenta três funcionários, sendo dois responsáveis por serviços de manutenção e um responsável por realizar a operação geral do sistema e análises de campo (vazão, temperatura, pH e OD), medidos diariamente. A grade é limpa diariamente enquanto a caixa de areia é limpa semanalmente. Pelas observações realizadas no campo é possível afirmar que a ETE Ponta Negra é aquela que apresenta melhor operação entre as estações avaliadas.

Nos outros nove sistemas raramente a equipe do projeto encontrava o operador no horário da coleta. Os sistemas apresentavam grande quantidade de vegetação, as grades e caixas de areia não eram limpas frequentemente e em várias situações havia dificuldade de acesso para realizar as coletas.

Todos os sistemas apresentavam dispositivos de entrada e saída dos líquidos em número adequado, em função das dimensões dos reatores de modo a conferir um melhor fluxo hidráulico e minimizar as zonas mortas. No entanto, em alguns casos foi observado um posicionamento inadequado desses dispositivos como, por exemplo, na ETE Caiçara, o que provavelmente contribuía para a diminuição do tempo de detenção hidráulica. Destaca-se também que em alguns sistemas as tubulações distribuíam e coletavam o efluente diretamente da superfície líquida e não eram providas de retentores de espuma, a qual saía juntamente com o efluente para o reator seguinte ou com o efluente final.

Nenhum dos sistemas já passou por processo de remoção de lodo de fundo e percebe-se o grande acúmulo de sólidos principalmente nas proximidades dos dispositivos de entrada das lagoas facultativas primárias. Também foi constatado que nenhum deles apresenta estrutura mínima para a realização de tal operação, como, por exemplo, área para a secagem de lodo e tubulações que permitam realizar manobras de fluxo entre os reatores. Nas ETEs Pipa e Macau as caixas de areia extravasavam devido a elevada vazão de bombeamento.

Ações operacionais e de manutenção imediatas são necessárias em vários sistemas tais como capina e limpeza geral das áreas das ETEs, manutenção dos taludes, consertos de tubulações, limpeza da unidade preliminar, desassoreamento das lagoas facultativas e remoção de lodos flutuantes e consertos de cercas, etc.

h) Estimativa das taxas de decaimento bacteriano (K_b)

Para o cálculo dos valores reais de K_b foram utilizadas as equações 1 e 2 a seguir, respectivamente para os regimes hidráulicos de mistura completa e fluxo disperso.

$$N_e = \frac{N_i}{1 + K_b \times t} \quad (\text{Equação 1})$$

$$N_e = N_i \times \frac{4 \times a \times e^{1/(2 \times d)}}{(1 + a)^2 \times e^{a/(2 \times d)} - (1 - a)^2 \times e^{-a/(2 \times d)}}; \quad a = \sqrt{1 + 4K_b \times t \times d} \quad (\text{Equação 2})$$

Em que: N_e = número de coliformes/100 ml no efluente; N_i = número de coliformes/100 ml no afluente; K_b = constante de degradação de primeira ordem para remoção de coliformes em d^{-1} ; t = tempo de detenção hidráulica; d = número de dispersão.

Com os valores médios de coliformes termotolerantes e enterococcus, dos tempos de detenção hidráulica, e dos números de dispersão “ d ”, foram estimados os valores de K_b e comparados com os valores preditos por equações empíricas:

Equações para o cálculo de K_b para o regime de mistura completa:

$$K_{b(T)} = 2,6 \times 1,19^{(T-20)} \quad (\text{Marais, 1974})$$

$$K_{b(T)} = 1,1 \times 1,07^{(T-20)} \quad (\text{Yanez, 1993})$$

$$K_{b(T)} = 1,608 \times H^{-0,877} \times t^{0,329} + [7,656 \times 10^{-4} \times H^{-3,674} \times t^{1,811} \times (L/B)^{1,509}] \times 1,07^{(T-20)} \quad (\text{Sperling, 1999})$$

$$K_{b(T)} = 0,712 \times 1,166^{(T-20)} \quad (\text{Mills et al., 1992})$$

Em que: T = temperatura do líquido ($^{\circ}\text{C}$); $K_{b(T)}$ = constante de degradação de primeira ordem para remoção de coliformes à temperatura de $T^{\circ}\text{C}$ (d^{-1}).

Nas lagoas facultativas os valores de K_b reais variaram entre 0,23 d^{-1} (Santo Antônio) a 7,12 d^{-1} (São Gonçalo). Embora as lagoas facultativas desses dois sistemas tenham apresentado cargas superficiais aplicadas semelhantes (797 e 973 kg/ha.dia, respectivamente), os seus tempos de detenção hidráulica foram bem diferentes (52,1 e 23,2, respectivamente).

Comparando os valores reais de coliformes com os estimados pelas equações teóricas verifica-se uma grande diferença entre os dois valores para a maioria das lagoas facultativas. Por exemplo, o valor real representou de 4 a 115% do valor teórico calculado conforme Equação de Marais (1974), 15 a 461% por meio da equação de Yanez (1993), 5 a 817% conforme equação de Sperling (1999) e 15 a 464% pela

equação de Mills *et al.* (1992). Para as lagoas facultativas a Equação de Marais (1974) foi a que se aproximou mais dos valores reais de K_b para coliformes em cinco ETEs.

No entanto, para as lagoas de maturação, embora a equação de Sperling (1999) tenha, em relação aos valores médios, gerado uma maior dispersão quando comparada com os valores reais (valor real representou de 4 a 555% do teórico) foi a que apresentou valores mais próximos para 14 das 20 lagoas de maturação. Os valores de K_b nesse tipo de reator variou de 0 a 4,57 d⁻¹. Destaca-se mais uma vez que com exceção das ETEs de Mossoró e Touros, todas as lagoas de maturação apresentaram cargas aplicadas bastante elevadas o que muito provavelmente afetou o seu desempenho na remoção de microorganismos.

Para o regime de fluxo disperso foi utilizada apenas a equação $K_{br} = 0,917 \times H^{-0,877} \times t^{-0,329} \times 1,07^{(t-20)}$ (Sperling, 1999), e os números de dispersão foram estimados pelas equações a seguir:

$$d = \frac{0.184 \times [t \times v(B + 2 \times H)]^{0.489} \times B^{1.511}}{(L \times H)^{1.489}} \quad (\text{Polprasert e Bhattarai, 1985})$$

$$d = 0.102 \times \left(\frac{3 \times (B + 2 \times H) \times t \times v}{4 \times L \times B \times H} \right)^{-0.410} \times \left(\frac{H}{L} \right) \times \left(\frac{H}{B} \right)^{-(0.981 + 1.385 \times H / B)} \quad (\text{Agunwamba et al 1992})$$

$$d = \frac{L / B}{-0.26118 + 0.25392 \times (L / B) + 1.01368 \times (L / B)^2} \quad (\text{Yanez 1993})$$

$$d = \frac{1}{L / B} \quad (\text{Sperling, 1999})$$

Em que: L = comprimento (m), B = largura (m), H = profundidade (m), t = TDH (d), v = viscosidade cinemática do líquido (m²/d).

Nas lagoas facultativas, os valores de K_b teóricos se aproximaram mais dos valores reais estimados com os números de dispersão (“d”) sugeridos por Polprasert e Bhattarai (1985). Já nas lagoas de maturação não foi possível identificar uma equação que representasse melhor o valor teórico, pois nenhuma predominou na aproximação de valores sobre as outras.

Não foi verificada nenhuma correlação significativa entre os valores de K_b e as variáveis operacionais. Pode ser constatado que para as lagoas facultativas primárias e lagoas de maturação 1, não foram verificadas diferenças significativas entre os valores

teóricos e reais ($p > 0,05$). A comparação entre as médias por reator ao nível de 5% demonstrou que os maiores valores de K_b foram obtidos na primeira lagoa de maturação, sendo significativamente superiores aos valores obtidos nas lagoas facultativas e de maturação ($p < 0,05$).

No geral os valores de K_b variaram em faixas bem menores quando comparadas com o regime de mistura completa: entre 0,07 e 0,65 d^{-1} , nas lagoas facultativas, e entre 0 e 1,65 d^{-1} , nas lagoas de maturação.

i) Comparação de resultados com dados de projeto

Um dos objetivos específicos do projeto de pesquisa era fazer a comparação entre os resultados obtidos durante o monitoramento de rotina das 10 estações de tratamento com os valores adotados em seus respectivos projetos. No entanto, embora tenha sido efetuada uma busca completa nos arquivos da CAERN, só foram encontrados três projetos dentre as sete ETE em questão e operadas pela Companhia (ETE Pipa, ETE Ponta Negra e ETE Santo Antônio). Os projetos referentes às três estações operadas pelos respectivos SAAE (São Gonçalo e Touros) ou prefeitura (Pedro Velho) também não foram encontrados.

Avaliando os memoriais de cálculo dos projetos percebe-se a falta de critérios para a adoção de parâmetros mais adequados para a realidade da região e para a escala das estações. Os memoriais são bem simplificados e geralmente os reatores são considerados como de mistura completa.

A ETE de Pipa foi projetada para uma vazão total de 864 m^3 /dia sendo constituída por dois módulos, em paralelo, cada um com uma lagoa facultativa primária, seguida por duas lagoas de maturação. Como só um módulo foi construído a vazão atual já é 50% maior que a vazão de projeto, assim como a DBO afluente que é 30% superior a prevista em projeto. Conseqüentemente, a carga superficial aplicada na lagoa facultativa (1262 $kg/ha.dia$) supera em 260% o valor previsto em projeto, e é muito superior a carga máxima admitida para projetos de lagoas facultativas primárias em regiões de clima quente. Além da carga elevada, o excesso de vazão causa diminuição do TDH e, conseqüentemente, do desempenho da ETE, o que pode ser constatado comparando as eficiências de remoção de DBO e coliformes.

A sobrecarga orgânica na lagoa facultativa aliada a perda na sua eficiência ocasionou uma sobrecarga ainda mais elevada nas lagoas de maturação que apresentaram cargas aplicadas cerca de 20 vezes superior ao projeto e concentrações finais de DBO e coliformes muito mais elevadas que as previstas inicialmente.

Com relação aos valores adotados no projeto, embora as cargas orgânicas estejam adequadas, as eficiências esperadas foram bastante otimistas. É muito pouco provável se obter um efluente de lagoas de estabilização, em escala real, com DBO total inferior a 20 mg/L, especialmente considerando as deficiências operacionais e de manutenção, e a excessiva produção de biomassa. Ao longo do monitoramento das 10 estações só foram verificados valores de DBO inferiores a 20 mg/L em duas amostras entre 157. Da mesma forma, apenas com três lagoas em série, é improvável atingir um efluente com menos de 1000 ufc/100 ml de coliformes. Tal característica só foi verificada na ETE Mossoró, que apresentava um TDH superior a 100 dias, uma vez na ETE Santo Antônio com TDH de 78 dias, e na ETE Touros, que apresentava pré-tratamento anaeróbio. Ou seja, a configuração mais utilizada no estado não é capaz de produzir a qualidade de efluente preconizada nos projetos.

Devido a sua localização em área de classe média-alta, a ETE Ponta Negra é a estação de tratamento com as melhores condições operacionais e de manutenção no Estado e também é a mais estudada desde o início do seu funcionamento. Seus valores atuais de DBO afluente, vazão e carga aplicada são próximos dos valores adotados em projeto, contudo, foi o sistema menos eficiente na remoção de DBO, com apenas 53% e 139 mg/L de concentração final, e um valor de coliformes, também no efluente final, bem superior a 1000 ufc/100 ml. Os valores das taxas de degradação adotados no projeto não se verificaram na prática, assim como o valor da taxa de decaimento bacteriano de $6,2 \text{ d}^{-1}$ adotado para os 3 reatores.

Para a ETE Santo Antônio, além de diferenças entre parâmetros de projeto e dados reais, também foram constatadas diferenças físicas entre o projetado e o construído, embora não se tenha encontrado a justificativa para tal junto ao corpo técnico da Companhia.

As vazões de projeto e de monitoramento são bem próximas, contudo a DBO afluente verificada foi cerca de 60% superior, gerando, conseqüentemente, uma carga maior a ser aplicada na lagoa facultativa. No entanto, foi observada uma diminuição na carga superficial aplicada em relação ao valor adotado no projeto, pois a área projetada era de 3.120 m^2 e a construída, medida *in loco*, é de 8418 m^2 (170% maior). Dessa forma, ocorreu um grande aumento no TDH de 15 para 56 dias. Mesmo com o aumento de TDH as eficiências de remoção de DBO e coliformes ainda foram inferiores às estimadas pelo projetista.

As lagoas de maturação também foram construídas com áreas bem superiores (2100 m^2) as projetadas (800 m^2), mas também tiveram desempenhos aquém do espe-

rado, produzindo um efluente final com 144 mg/L de DBO e mais de 30.000 ufc/100 ml de coliformes.

Considerando as três ETEs observa-se que todos os coeficientes cinéticos adotados nos projetos foram bem superiores aos valores reais observados ao longo do monitoramento. Dessa forma, todas as ETE produziram efluentes com qualidades bem inferiores às esperadas.

Para os projetistas, sugere-se: a) a adoção de coeficientes cinéticos e demais variáveis de projeto, baseados em estudos em escala real; b) a utilização de pré-tratamento anaeróbio; c) no mínimo 3 lagoas de maturação em série; d) a utilização de pós-tratamento simplificado.

5. Conclusões

- a) Foram cadastradas 78 ETEs no Estado do Rio Grande do Norte, das quais 10 foram avaliadas. As principais observações obtidas durante o levantamento das características operacionais desses sistemas estão resumidas a seguir:
 - a.1) Em relação às 78 ETEs, cerca de 50% dos sistemas de lagoas apresentam a unidade preliminar de tratamento e a frequência de limpeza predominante é a semanal. ETEs sem essa unidade têm problemas de assoreamento e vegetação nas lagoas.
 - a.2) Em 26 ETEs não é realizada nenhuma atividade operacional e nos sistemas restantes, que possuem ao menos um operador, as atividades operacionais não são adequadas.
 - a.3) A maioria das lagoas de estabilização estudada apresentou eficiências inferiores às previstas na literatura. Quanto à eficiência por configuração, confirma-se o melhor desempenho da série com uma facultativa, seguida de duas de maturação. Considerando a média estadual a eficiência foi relativamente baixa (55 - 58%).
 - a.4) As eficiências abaixo do esperado, para certas configurações, podem estar associadas a má operação e manutenção, sendo necessário o estabelecimento de um maior controle operacional dos sistemas. Deve ser considerado também o fato de que alguns sistemas já estão

com o seu período de projeto vencido e as ampliações previstas nos sistemas não foram realizadas.

- b) Com relação as características do esgoto bruto:
 - b.1) A DBO variou na faixa de 294 mg/L a 747 mg/L enquanto a DQO variou entre 475 mg/L a 909 mg/L. A relação DBO/DQO variou entre 0,56 a 0,95. As médias de DBO e DQO para o estado foram 550 e 714 mg/L, respectivamente;
 - b.2) As ETE que atendem a cidades de maior porte foram as que apresentaram um esgoto bruto afluyente mais diluído;
 - b.3) As concentrações de coliformes termotolerantes e fósforo variaram na faixa comumente observada para esgotos brutos;
 - b.4) A amônia variou entre 34,7 mg/L a 57,6 mg/L com média estadual de 40 mg/L. A média de nitrogênio orgânico foi de 31 mg/L.
- c) Com relação a eficiência dos 10 sistemas avaliados:
 - c.1) Os sistemas promoveram remoções de DBO entre 53 e 76%, e de DQO entre 51 e 73% com média de 70% para as duas variáveis. As lagoas facultativas primárias foram os reatores mais eficientes nas remoções de DBO e DQO. Os efluentes finais apresentaram DBO entre 90 mg/L a 183 mg/L, e DQO entre 135 mg/L a 257 mg/L;
 - c.2) A maioria dos sistemas operam com cargas aplicadas bem acima da faixa recomendada. Para as lagoas facultativas podem ser determinadas 3 faixas de cargas: até 350 kg/ha.dia, de 350 a 700 kg/ha.dia e acima de 700 kg/ha.dia. As lagoas de maturação também estão sujeitas a elevadas cargas, em algumas ETEs superiores as das lagoas facultativas primárias;
 - c.3) As remoções de microorganismos, embora significativas ao longo de todas as séries, não foram suficientes para produzir efluentes com elevada qualidade sanitária. As remoções variaram entre 1 a 4 unidades logarítmicas e os efluentes finais apresentaram coliformes na faixa de 200 a 500.000 ufc/100 ml;

- c.4) De forma geral os sistemas não foram eficientes nas remoções de sólidos e fósforo, particularmente devido às elevadas biomassas de algas nos sistemas. As remoções de amônia ocorreram na faixa de 32 a 90% e entre 51 a 87% para nitrogênio orgânico;
- c.5) O comportamento da ETE Touros indica que a adoção de pré-tratamento anaeróbio pode contribuir para melhorar a eficiência dos sistemas.
- d) A utilização de sistemas de informações geográficas consiste em uma importante ferramenta na gestão, monitoramento e controle de estações de tratamento de esgoto. Ao permitir a integração de dados alfanuméricos com dados georreferenciados, os SIG facilitam a visualização dos dados permitindo um melhor desempenho por parte dos gestores, facilitando a manipulação de grandes quantidades de dados assim como de informações complexas.
- e) As taxas de degradação do esgoto bruto variaram entre 0,28 a 0,43 d⁻¹. Os valores das taxas de decaimento bacteriano (Kb) variaram, nas lagoas facultativas, entre 0,23 a 7,12 d⁻¹ e entre 0,08 a 0,67 d⁻¹, considerando, respectivamente, o regime de mistura completa e de fluxo disperso. Para as lagoas de maturação, as mesmas faixas variaram entre 0 a 4,20 d⁻¹ e 0 a 1,41 d⁻¹.
- f) Os coeficientes cinéticos bem como as eficiências de remoção de DBO e coliformes são superestimadas na fase de projeto, resultando em efluente com qualidade bem inferior as previstas. Concentrações de DBO no esgoto bruto, particularmente em cidades de pequeno porte, superam facilmente os 400 - 500 mg/L.

6. Recomendações

6.1 Para a fase de projeto

Para essa etapa recomenda-se a adoção de variáveis de projeto baseadas em estudos em escala real sob condições similares ao local onde será implantada a ETE. Sistemas de lagoas de estabilização são extremamente dinâmicos e altamente dependentes das condições ambientais locais.

Para o esgoto bruto afluyente recomenda-se, para o Nordeste do Brasil, a utilização de valores de DBO entre 300 – 400 mg/L para as cidades de maior porte e com maior consumo *per capita* de água, e 500 – 600 mg/L para as cidades de pequeno porte e menor consumo de água.

A utilização de um sistema anaeróbio (reator UASB, lagoa anaeróbia, tanque séptico, etc.), para reduzir a DBO para valores que permitam que lagoas facultativas e de maturação funcionem com cargas adequadas, sem a necessidade de aumentos significativos de área.

Projetar no mínimo 3 lagoas de maturação em série após a lagoa facultativa pois a maior compartimentação do sistema, obedecendo um TDH mínimo, favorece a remoção de microorganismos, podendo, dessa forma, produzir efluentes com qualidade sanitária mais adequada para lançamento em corpos aquáticos e até mesmo para reúso com menor risco. Recomenda-se estimar a remoção de coliformes termotolerantes baseada nas equações para fluxo disperso.

Os resultados demonstraram a grande quantidade de biomassa de algas nos efluentes finais. Dessa forma, recomenda-se a adoção de sistemas simplificados para pós-tratamento dos efluentes finais com o objetivo específico de remoção de sólidos suspensos (algas) tais como os filtros biológicos de pedra, alagados construídos, valas de filtração, etc. Em ETE de maior porte a flotação com ar dissolvido pode ser uma alternativa mais viável.

Sempre que possível propor a reutilização do efluente final. No Nordeste devido as suas características climáticas e de pouca disponibilidade de água, a utilização dos efluentes finais na agricultura é uma excelente alternativa. Em muitas das ETE visitadas no estado o efluente final é reutilizado e, em alguns casos, o esgoto é retirado das lagoas através de sifões e utilizado na irrigação de capim elefante, milho, feijão, etc.

Ter mais atenção quanto aos dispositivos de transferência entre os reatores de forma a diminuir ao máximo a possibilidade de aparecimento de zonas mortas e favorecer as atividades de manutenção e monitoramento. Em várias estações não foram observados retentores de espuma e locais para coleta de amostras.

Sempre incluir no projeto a unidade de tratamento preliminar com gradeamento, caixa de areia e medidor Parshall. Também é importante considerar locais para secagem e armazenamento dos resíduos coletados na unidade preliminar e lodos flutuantes dos reatores.

6.2 Para a fase de construção

Que os sistemas sejam construídos conforme seus projetos recomendam e que sejam licenciados pelo órgão ambiental competente. Atenção particular deve ser dada aos dispositivos de proteção dos taludes e impermeabilização dos reatores e a construção de unidades preliminares haja vista que só estão presentes em 50% das ETE.

6.3 Para a fase de operação

Que os sistemas implantados sejam dotados de uma operação e manutenção adequada para proporcionar o melhor funcionamento, estabilidade e vida útil. As pequenas ETEs deveriam contar com no mínimo um operador e esse deve ser treinado para conhecer as atividades básicas necessárias para o correto funcionamento dos sistemas. Seria importante desenvolver um pequeno manual de operação para sistemas de lagoas de estabilização destacando essas atividades.

Na maioria das ETEs que contam com operadores, estes não receberam nenhum tipo de treinamento para atuar na função e, particularmente nos pequenos municípios, são responsáveis também por outras atividades tais como a entrega de contas, consertos de vazamentos, cortes e ligações de água, etc.

Muitas ETEs não recebem nenhum tipo de operação e manutenção contínua. Uma das operações mais importantes é a limpeza periódica da unidade preliminar de tratamento. O descaso com essa atividade contribui e muito para a queda de qualidade do efluente, da qualidade estética da ETE, e perda de vida útil pelo assoreamento das lagoas primárias. Todas essas situações foram observadas, particularmente nos sistemas sem tratamento preliminar e naqueles onde a limpeza ocorre de forma ocasional.

Que sejam estabelecidos planos de monitoramento para todos os sistemas de tratamento de esgotos englobando os parâmetros mínimos de controle: temperatura, pH, OD, DBO, DQO, sólidos suspensos e coliformes termotolerantes.

Devem também ser realizadas campanhas periódicas para a medição de vazão para acompanhar a vida útil do sistema. Praticamente não é realizada tal operação no Estado e poucos são os resultados sobre as vazões. A vazão é a principal variável de monitoramento em uma ETE e sem ela não é possível estimar os valores dos TDHs e, conseqüentemente, todas as outras variáveis que dela dependem para serem estimadas. O acompanhamento periódico da vazão e DBO permite avaliar as taxas de carregamento do sistema e a planejar a necessidade de ampliação dos mesmos.

A espessura da camada de lodo também deve ser acompanhada e, quando necessário, deve ocorrer o seu esgotamento. Não se tem conhecimento no estado de nenhuma operação de limpeza de lodo de fundo realizada em lagoas facultativas primárias, mesmo aquelas sem unidade preliminar.

Finalmente, recomenda-se que os órgãos gestores dos sistemas de tratamento mantenham um banco de dados atualizado contendo todas as informações sobre os projetos, aspectos construtivos e operacionais, resultados de monitoramento, etc. A utilização de um sistema de informações geográficas disponibilizando todas essas informações pode, sem dúvida, facilitar no planejamento das atividades de operação e monitoramento bem como fornecer dados mais atuais e confiáveis para serem utilizados em novos projetos de sistemas de lagoas de estabilização.

6.4 Dificuldades encontradas

As maiores dificuldades encontradas ao longo da realização do projeto estão relacionadas com a falta de um banco de dados geral sobre os sistemas de tratamento de esgotos no estado. Nas visitas iniciais aos sistemas a equipe seguia para o campo sem conhecimento prévio das informações básicas sobre as ETE, inclusive as suas localizações, que eram obtidas somente quando se chegava ao local e perguntava-se aos moradores.

Com relação ao monitoramento houve dificuldades para efetuar as coletas haja vista que os sistemas geralmente não apresentam pontos adequados para a realização dessa atividade. As caixas de passagem apresentavam tampas de concreto o que dificultava a tomada de amostras e a situação era ainda pior quando os sistemas não apresentavam tais caixas e as coletas eram feitas diretamente nas tubulações de transferência, havendo o risco de queda dentro das lagoas.

7. Referências bibliográficas

AGUNWANBA, J.C. *et al.* Prediction of the dispersion number in waste stabilization ponds. *Water Research*, 26 (85), 1992.

APHA *et al.* Standard methods for the examination of water and wastewater. 18. ed. New York : Public Health Association Inc, 1998.

ARONOFF, S. *Geographic Information Systems: a management perspective*. Ottawa: WDL Publications, 1991.

- BRASIL, Resolução Conama nº 357, de 17 de março de 2005.
- BRASIL, Resolução Conama nº 430, de 13 de maio de 2011.
- MARA, D.D. *Sewage Treatment in Hot Climates*. Chichester: John Wiley & Sons. 1976.
- MARAIS, G.V.R. Faecal bacteria kinetics in stabilization ponds. J. Env. Eng. Div., ASCE, 100 (EEI), p.119-139, 1974.
- MAYO, A.W. Modelling coliform mortality in waste stabilization ponds. J. Env. Eng. Div., ASCE, 121 (2), p.140-152, 1995.
- MILLS, S.W. *et al.* Efficiency of faecal bacterial removal in waste stabilization ponds in Kenya. Wat.Sci. Tech., 26 (7-8), p.1739-1748, 1992.
- POLPRASERT, C. & BHATTARAI, K. K. Dispersion model for waste stabilization ponds. J. Env. Eng. Div., ASCE, 111 (1), p.45-59, 1985.
- POLPRASERT, C. *et al.* Bacterial die-off kinetics in waste stabilization ponds. JWPCF, 55 (3), p.285-296, 1983.
- SILVA FILHO. Diagnóstico operacional de lagoas de estabilização no estado do Rio Grande do Norte. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-graduação em Eng. Sanitária. UFRN. Natal-RN. 2007.
- SPERLING, M. Lagoas de estabilização. 2. ed. rev. e atual. Belo Horizonte: UFMG/DESA, 2002.
- SPERLING, M. Performance evaluation and mathematical modelling of coliform die-off in tropical and subtropical waste stabilization ponds. Wat. Res., 33 (6), p.1435-1448, 1999.
- XU, P., BRISSAUD, F., FAZIO, A. Non-steady-state modelling of faecal coliform removal in deep tertiary lagoons. Wat. Res., 36, p.3074-3082, 2002.
- YANEZ, F. Lagunas de estabilizacion. Teoria, diseño y mantenimiento. ETAPA, Cuenca, Equador, 1993.
- WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater. Volume 2: Wastewater use in agriculture. Geneva: WHO. 2006a. 213p.



Adaptação de Parâmetros de Projeto para Lagoas de Estabilização Aplicáveis às Condições Climáticas da Bacia Hidrográfica do Rio do Peixe, Região Meio Oeste do Estado de Santa Catarina/LAGPEIXE

Dirceu Scaratti – Unoesc Videira
Pablo Heleno Sezerino – UFSM
Alessandra Pellizzaro Bento – UFSM
Estela de Oliveira Nunes – Unoesc Videira
Denise Tonetta – Unoesc Videira
Tiago Moriggi – Unoesc Videira

Resumo

Na bacia hidrográfica do Rio do Peixe 80% da população não é servida por sistemas de tratamento de esgotos sanitários. Diante desse cenário o objetivo geral desse estudo foi monitorar lagoas de estabilização, por meio de análises físico-químicas, biológicas, climáticas e operacionais, para avaliar a performance de tratamento e determinar parâmetros de projeto passíveis de serem reproduzidos às novas unidades de tratamento a serem implantadas na bacia. A base metodológica esteve centrada nas ações de monitoramento e avaliação de dois sistemas de lagoas de estabilização, localizados em Arroio Trinta/SC e Herval D'Oeste/SC, durante o período de fevereiro de 2009 a abril de 2012. Inúmeras ações foram desenvolvidas, destacando-se 500 amostragens (480 pontuais e 22 compostas), a implantação de três conjuntos de medição de vazão, a medição de lodo acumulado em duas campanhas de batimetria e a obtenção dos dados climatológicos. Os resultados obtidos inferem para: (i) lagoas de Arroio Trinta: o esgoto bruto afluente é classificado como forte (média de 376 DBO₅mg/L), a contribuição média *per capita* de foi de 158 L/hab.dia, uma carga *per capita* média de 59 gDBO₅/hab.d, as espécies predominantes no fitoplâncton das lagoas indicaram elevada carga de poluentes orgânicos e nutrientes, a relação DQO:DBO₅ de 1,7 para o efluente final indica sobrecarga orgânica e ineficiência do tratamento biológico nas lagoas, a taxa de acúmulo *per capita* calculada para a lagoa anaeróbia foi de 0,0075 m³/hab.ano (3,8 cm/ano),

o λ_v foi em média de 54 gDBO₅/m³.d em temperatura média de 17°C, profundidade de 2,5 m e TRH de 7 dias, apresentando remoção de 42% de DBO₅, o λ_s na lagoa facultativa foi superior ao máximo recomendado em literatura, e a lagoa de maturação apresentou um decaimento de *E.coli* inferior a 1 unidade logarítmica; (ii) lagoas de Herval D'Oeste: o esgoto bruto afluente também é classificado como forte (média de 342mg DBO₅/L), a contribuição média *per capita* também foi de 158 L/hab.dia, com uma carga média *per capita* foi de 54 gDBO₅/hab.d, as espécies fitoplanctônicas móveis de rápido crescimento e com heterotrofia facultativa indicaram que nas lagoas primária e secundária prevaleceram condições instáveis, com altas concentrações de macronutrientes e elevada turbidez, a taxa de acúmulo *per capita* calculada para a lagoa anaeróbia foi de 0,035 m³/hab.ano (25 cm/ano), na lagoa anaeróbia λ_v foi em média de 55 gDBO₅/m³.d em temperatura média de 16°C, profundidade de 2,43 m TRH de 6 dias, com remoção de 32% de DBO₅, para a lagoa facultativa λ_s , também, foi superior aos valores de literatura, e a lagoa de maturação apresentou performance de decaimento de *E.coli* de 1 unidade logarítmica. Devido às incoerências de concepção e dimensionamento quando da implantação das lagoas, torna-se impraticável a recomendação de parâmetros de projeto. Contudo, há que se destacar que ambas as unidades obtiveram valores acima de 70% de eficiência de remoção da carga orgânica carbonácea do esgoto bruto.

Palavras-chave: Bacia Rio do Peixe; Lagoas de Estabilização; Parâmetros de projeto.

Abstract

In the Rio do Peixe basin 80% of population have not wastewater treatment system. Due to this scenario the overall aim of this work was to evaluate the performance of stabilization ponds, concerning physical-chemical, climatological and operational parameters and identify design criteria's to be applied in this basin. The methodology was focused in monitoring and evaluation actions in two stabilization ponds systems located at Arroio Trinta and Herval D'Oeste, from February 2009 to April 2012, such as: 500 samples (480 point samplings and 22 composite samplings), the building of 3 flow meters systems, sludge measurements and collection of climatological data. The results have shown: (i) Arroio Trinta ponds: the raw wastewater it was considered as a strong wastewater (in average 376 mBOD/L), the *per capita* wastewater contribution was in average 158 L/inhabitant.day, the average organic load rate of 59 gBOD/inhabitant.day, the pond's phytoplankton have indicated high organic pollutants and nutrients, the BOD/COD ratio equal of 1.7 value have indicated high organic load and inefficient treatment, the sludge accumulation rate for anaerobic pond was 0.0075 m³/inhabitant.year (3.8 cm/year), the λ_v in the anaerobic pond was 54 gBOD/

m³.day in average for a mean temperature of the 17°C, 2.5 m deep and 7 days of HRT, showing 42% BOD removal, the λ_s value was higher than the literature ones, and in the maturation pond it was possible to notice less than 1 log₁₀ of removal capacity, working as a facultative pond; (ii) Herval D'Oeste ponds: the raw wastewater it was also considered as a strong wastewater (in average 342 mBOD/L), the *per capita* wastewater contribution was in average 158 L/inhabitant.day, the average organic load rate of 54 gBOD/inhabitant.day, the phytoplankton species with quickly growth have shown unstable conditions of treatment, high macronutrients concentrations and high turbidity in the primary and secondary ponds, the sludge accumulation rate for anaerobic pond was 0.035 m³/inhabitant.year (25 cm/year), the λ_v in the anaerobic pond was 55 gBOD/m³.day in average for a mean temperature of the 16°C, 2.43 m deep and 6 days of HRT, showing 32% BOD removal, for facultative pond the λ_s value also was higher than the literature ones, and in the maturation pond it was possible to notice 1 log₁₀ of removal capacity. Due to the design inconsistencies of the ponds it is difficult to recommend guidelines to new projects. However it is possible to highlight that both ponds systems have achieved more than 70% of carbon matter removal from the raw wastewater.

Keywords: *Rio do Peixe basin; Stabilization ponds; Design parameters.*

1. Introdução

Os mananciais de água do estado de Santa Catarina encontram-se com altos índices de degradação ambiental. Segundo o Diagnóstico dos Recursos Hídricos em Santa Catarina, produzido pela Secretaria de Desenvolvimento Econômico Sustentável, no ano de 2007, as regiões do Meio Oeste, juntamente com as regiões do Oeste e Extremo Oeste, são as mais comprometidas, havendo, portanto, a necessidade de estudos e investimentos para a minimização da poluição hídrica.

Na Bacia Hidrográfica do Rio do Peixe, localizada na região Meio Oeste do estado de Santa Catarina, percebe-se a necessidade da implantação de sistemas de esgotamento sanitário, pois apenas 21% de um total de 23 municípios pertencentes a bacia hidrográfica possuem sistemas compostos por coleta, transporte, tratamento e disposição final do esgoto sanitário, ficando os 18 municípios restantes a mercê de soluções individuais, na sua grande maioria composta por sistemas tanque séptico seguido de disposição no solo, constituindo, assim, uma potencial fonte de poluição que não pode ser negligenciada.

Apesar do crescente aumento dos investimentos públicos em saneamento básico, ainda é grande a parcela da população residente na bacia do Rio do Peixe não servida por rede de esgoto e tampouco por estações de tratamento. Nesse contexto, tornam-se relevantes os estudos aprofundados em tecnologias que possam ser eficientes no tratamento dos esgotos e apresentem viabilidade econômica.

Dentro dessa perspectiva, as lagoas de estabilização de esgotos vêm sendo empregadas com sucesso no Brasil devido ao baixo investimento necessário à implantação, operação e manutenção aliadas às condições climáticas favoráveis e a disponibilidade de área territorial na maioria das regiões (Von SPERLING, 1996). Em Santa Catarina existem lagoas de estabilização tratando esgotos de diversas origens. Grande parte dessas são utilizadas para o tratamento de esgotos oriundos da agroindústria, predominantemente da produção e beneficiamento de suínos e estão situadas nas regiões Oeste e Meio Oeste. Tratando esgotos domésticos municipais, raros são os sistemas implantados.

Nas lagoas de estabilização o tratamento ocorre de forma natural mediante fenômenos bioquímicos, biológicos e físicos regulados por uma ampla diversidade de seres vivos, os quais são responsáveis pelas transformações da matéria orgânica e dos nutrientes (MAYNARD *et al.*, 1999; KELLNER e PIRES, 1998).

As lagoas de estabilização são projetadas e implantadas sob diferentes configurações e arranjos, utilizando-se de inúmeros modelos matemáticos para o dimensionamento. Dentre as configurações mais empregadas, destaca-se a sequência lagoa anaeróbia seguida por lagoa facultativa e lagoa de maturação. Essa sequência produz efluentes com boas condições sanitárias, refletidas nas baixas densidades de coliformes fecais, normalmente inferiores a 1000NMP/100mL, ausência de nematóides intestinais e remoções superiores a 90% para vírus (MAYNARD *et al.*, 1999). A redução de material carbonáceo, também, é considerada satisfatória, alcançando eficiência de remoção de 90% em termos de DBO_5 (Von SPERLING, 1996). Contudo, são deficientes na remoção das frações nitrogenadas e podem apresentar elevadas concentrações de sólidos em suspensão (BENTO *et al.*, 2002).

As lagoas de estabilização são sistemas sensíveis às condições climáticas, sendo a temperatura, a insolação e a intensidade de luz solar, os principais fatores determinantes do sucesso do tratamento nessas unidades, pois, regulam a atividade das algas e das bactérias envolvidas no processo (KELLNER e PIRES, 1998, MAYO e NOIKE, 1996). Diante dessas variantes ambientais, verifica-se a importância em estabelecer parâmetros de projeto que se adaptem as condições climáticas locais, tomando-se

como referência o atendimento da legislação ambiental e a temperatura média do mês mais frio, objeto desse projeto.

2. Objetivos

Esse projeto tem como objetivo geral monitorar lagoas de estabilização, por meio de análises físico-químicas e biológicas, relacionando a performance de tratamento com as características de construção e operação das unidades de tratamento em conjunto com os dados climáticos na Bacia Hidrográfica do Rio do Peixe, com vistas a determinação de parâmetros de projeto (taxas de aplicação – volumétrica e superficial, coeficiente de remoção de DBO e tempo de retenção hidráulico) passíveis de serem reproduzidos às novas unidades de tratamento a serem implantadas na bacia.

2.1 Objetivos específicos

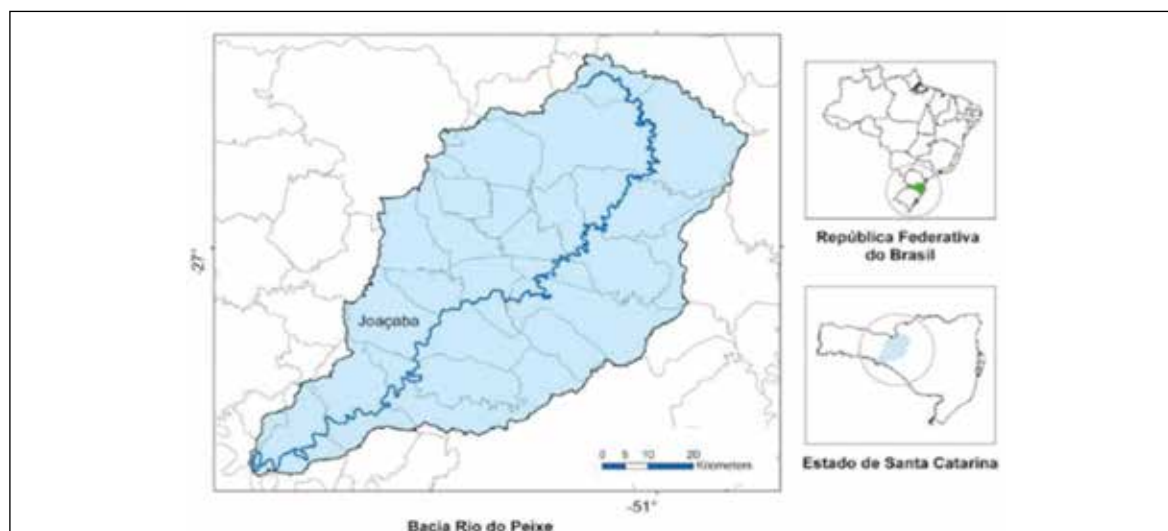
- Avaliar a remoção de material carbonáceo, nitrogênio, sólidos, coliformes totais e *E. coli* de esgoto sanitário em lagoas de estabilização implantadas na Bacia Hidrográfica do Rio do Peixe;
- Analisar a composição algal e da microfauna da biomassa em suspensão através de análises de microscopia e correlacioná-la com a eficiência de tratamento;
- Identificar as variações das características do tratamento das diferentes unidades estudadas;
- Verificar as correlações entre os parâmetros climatológicos, físico-químicos e biológicos mensurados nas lagoas;
- Avaliar a viabilidade de implantação de lagoas de estabilização aplicáveis ao tratamento de esgoto sanitário;
- Apresentar as vantagens e desvantagens do tratamento de esgotos sanitários em lagoas de estabilização, sob condições de clima subtropical.

3. Metodologia

3.1 Descrição da área de estudo

O estudo foi desenvolvido nos municípios de Arroio Trinta e Herval D'Oeste, ambos pertencentes à Bacia Hidrográfica do Rio do Peixe, no Meio Oeste do Estado de Santa Catarina.

A bacia Rio do Peixe é tributária da margem direita da bacia do Rio Uruguai (Figura 1). As coordenadas geográficas que delimitam a bacia estão compreendidas entre os paralelos S 26°36'24" e 27°29'19" e os meridianos W 50°48'04" e 51°53'57". Possui 5.264km², abrangendo 26 municípios, totalizando cerca de 400.000 habitantes (LINDNER, 2007).



Fonte: Adaptado de Lindner (2007)

Figura 1 – Localização da Bacia Hidrográfica do Rio do Peixe

Na bacia Rio do Peixe são encontrados dois tipos climáticos baseados na classificação de Koeppen de 1948: (i) alto e médio curso tem-se o tipo Cfb, que corresponde a um clima temperado chuvoso e moderadamente quente, úmido em todas as estações com verão moderadamente quente; (ii) baixo curso tem-se o tipo Cfa, o qual indica clima temperado chuvoso e moderadamente quente, úmido em todas as estações com verão quente (LINDNER, 2007).

3.2 Base metodológica

A base metodológica empregada esteve centrada nas ações de monitoramento e avaliação de uma série de lagoas que compõem duas estações de tratamento de esgotos – ETE, localizadas na bacia Rio do Peixe, conforme segue: (i) lagoas de estabilização de Arroio Trinta; (ii) lagoas de estabilização de Herval D'Oeste (Figura 2).

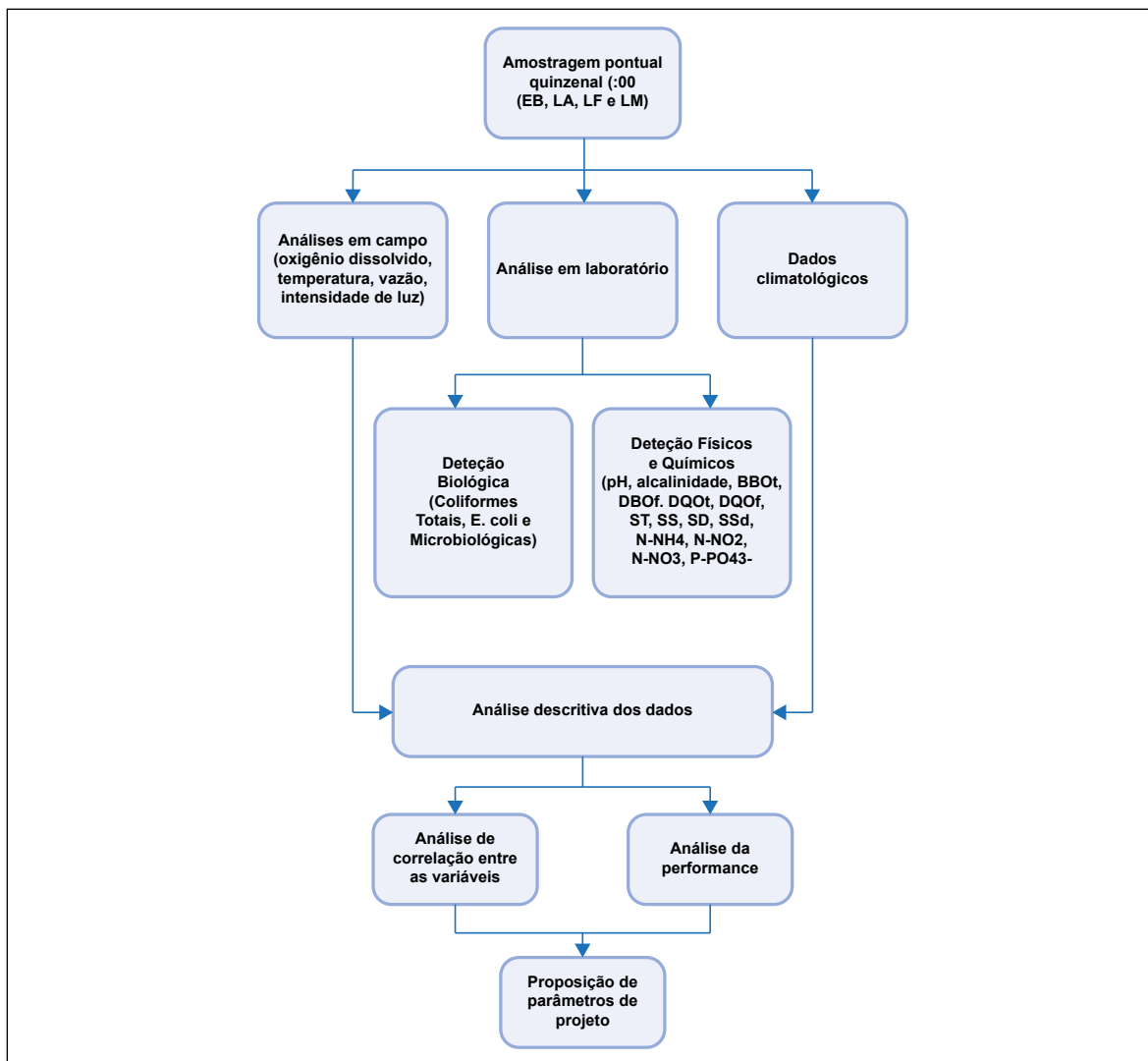


Figura 2 – Fluxograma das ações de monitoramento e avaliação realizadas

3.3 Lagoas de estabilização de Arroio Trinta

A estação de tratamento de esgotos (ETE) do município de Arroio Trinta/SC, sob a responsabilidade do município, é do tipo Lagoas de Estabilização e entrou em operação em 2003.

A ETE é composta por três lagoas em série, denominadas de lagoa anaeróbia, seguida de uma lagoa facultativa e outra de maturação (Figura 3). As lagoas foram projetadas pela AMMOC – Associação dos Municípios do Meio Oeste Catarinense, para atender a demanda populacional de 2.300 habitantes, sendo previsto em projeto uma vazão máxima de 461m³/dia.



Figura 3 – Detalhamento da locação e áreas superficiais das lagoas de estabilização Arroio Trinta/SC

As dimensões obtidas a partir da medição *in loco*, por meio de utilização de estação total, são:

- lagoa anaeróbia: área superficial de 746,49m²; profundidade total de 2,54m;
- lagoa facultativa: área superficial de 870,81m²; profundidade total de 2,12m;
- lagoa de maturação: área superficial de 1.137,28m²; profundidade total de 1,94m.

As medições de vazão do afluente (esgoto bruto) e do efluente tratado (pós lagoa de maturação) deram-se a partir da implantação de Calha Parshall com conjunto transmissor eletrônico e medidor de vazão, mais *Datalogger* e Interface USB com *software*. Foram realizadas medidas de vazão a cada 5 minutos, ao longo de 324 dias, durante o período compreendido entre os meses de fevereiro de 2011 a fevereiro de 2012.

3.4 Lagoas de estabilização de Herval D'Oeste

A estação de tratamento de esgotos (ETE) localizada na cidade de Herval D'Oeste/SC, sob a concessão do Serviço Intermunicipal de Água e Esgoto – SIMAE Joaçaba-Herval D'Oeste-Luzerna, é do tipo Lagoas de Estabilização e entrou em operação em 1992.

A ETE é composta por três lagoas em série, sendo a primeira denominada de lagoa anaeróbia, seguida de uma lagoa facultativa e uma lagoa de maturação em sequência (Figura 4). Atualmente, as lagoas atendem 6.980 economias (cerca de 21.000 pessoas).



Legenda: LA – lagoa anaeróbia; LF – lagoa facultativa; LM – lagoa de maturação

Figura 4 – Foto aérea das lagoas de estabilização de Herval D'Oeste

As dimensões obtidas a partir da medição *in loco*, por meio de utilização de estação total e batimetria, são:

- lagoa anaeróbia: área superficial de 8.520,84m²; profundidade média de 2,43m;
- lagoa facultativa: área superficial de 6.051,85m²; profundidade média de 2,19m;
- lagoa de maturação: área superficial de 4.907,44m²; profundidade média de 1,73m.

As medições de vazão do afluente (esgoto bruto) foram realizadas na estação elevatória a montante da ETE e as medições de vazão do efluente tratado (pós lagoa de maturação) deram-se a partir da implantação de Calha Parshall com conjunto transmissor eletrônico e medidor de vazão, mais *Datalogger* e Interface USB com *software*. Foram realizadas medidas de vazão a cada 5 minutos, ao longo de 639 dias, durante o período compreendido entre os meses de junho de 2010 a fevereiro de 2012.

3.5 Amostragem e descrição dos métodos analíticos

As ações de monitoramento, realizadas ao longo de um período de 36 meses (fevereiro de 2009 a fevereiro de 2012), compreenderam coletas periódicas (pontuais e compostas) do afluente e efluente de cada unidade de tratamento, totalizando quatro pontos amostrados em cada ETE, conforme segue:

- 1) Lagoas de estabilização de Arroio Trinta: ponto 1 (afluente – esgoto bruto – EB); ponto 2 (efluente da lagoa anaeróbia – LA); ponto 3 (efluente da lagoa facultativa – LB); ponto 4 (efluente da lagoa de maturação = efluente final – LM).
- 2) Lagoas de estabilização de Herval D'Oeste: ponto 1 (afluente – esgoto bruto – EB); ponto 2 (efluente da lagoa anaeróbia – LA); ponto 3 (efluente da lagoa facultativa 1 – LF); ponto 4 (efluente da lagoa facultativa 2 = efluente final – LM);

As coletas pontuais, com periodicidade quinzenal, foram realizadas sempre no mesmo horário (9:00 horas da manhã), perfazendo um total de 60 amostragens em cada ponto avaliado para Arroio Trinta e 61 amostragens em cada ponto avaliado para Herval D'Oeste.

As coletas compostas foram realizadas a partir de novembro de 2009, atendendo uma recomendação do Comitê Científico, perfazendo um total de 11 coletas para os quatro pontos de ambos os sistemas de lagoas estudados.

As amostras foram refrigeradas e conduzidas diretamente para análises físico-químicas, bacteriológicas e biológicas, junto aos Laboratórios de Experimentação e Microbiologia Ambiental/LEMA e de Águas e Efluentes, do Núcleo Biotecnológico, da Universidade do Oeste de Santa Catarina/Unoesc – Campus de Videira.

As análises físico-químicas e bacteriológicas foram executadas de acordo com orientações do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2005), avaliando-se os seguintes parâmetros: potencial hidrogeniônico (pH); Alcalinidade, demanda química de oxigênio (DQO); demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅); nitrogênio amoniacal (NH₄-N); nitrogênio nitrito (NO₂-N); nitrogênio nitrato (NO₃-N); ortofosfato reativo (PO₄-P); sólidos totais (ST); sólidos em suspensão (SS); sólidos dissolvidos (SD); sólidos sedimentáveis (SSd); coliformes totais (CT) e *Escherichia coli* (*E.coli*).

Os parâmetros biológicos mensurados compreenderam a análise qualitativa e quantitativa do plâncton presente nas lagoas aeróbias. Para tanto, as amostras dos efluentes dessas unidades foram coletadas e acondicionadas em frascos âmbar e conduzidas até o Laboratório de Experimentação e Microbiologia Ambiental da Unoesc, Campus de Videira. Para análise qualitativa, foi realizada a concentração da amostra em rede de fitoplâncton com 20µm de porosidade. A análise qualitativa foi feita mediante a observação direta das amostras em microscópio óptico. Foram identificados os principais grupos e, quando possível, os gêneros e espécies de representantes do fitoplâncton e zooplâncton presentes nas lagoas pelo uso de chaves de identificação de cada grupo. Na análise quantitativa, as amostras foram dispostas em câmara de Sedwick-Rafter reticulada com 1mL de volume útil. Os organismos identificados foram contados. Os resultados foram expressos em número de organismos/mL.

As medições referentes às condições climáticas foram efetuadas *in loco* e a partir de dados coletados nas estações climatológicas e pluviométricas de Videira e Campos Novos, operada pelo Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina – EPAGRI-CIRAM, ambas com influência na bacia do Rio do Peixe.

4. Resultados alcançados frente aos objetivos propostos e discussão

4.1 Descrição dos resultados físico-químicos e de colimetria

Na Tabela 1 encontram-se os resultados da análise estatística descritiva e o percentual de eficiência de remoção dos principais parâmetros mensurados nas unidades de tratamento da ETE de Arroio Trinta.

Como pode ser observado na Tabela 1, a performance individual das lagoas ficou aquém do esperado para alguns parâmetros, como para nitrogênio, fosfato e colimetria. O material carbonáceo, expresso pela DBO_5 e pela DQO foi removido satisfatoriamente nas lagoas, destacando-se as elevadas reduções nas lagoas de tratamento secundário e terciário, podendo esse fato, juntamente com a baixa concentração de OD anteriormente citada, serem sugestivos de elevada carga orgânica afluyente.

Durante o tratamento primário na lagoa anaeróbia a redução média de 42% da DBO_5 afluyente foi inferior a descrita em literatura especializada na qual aponta-se eficiências de 50% a 70% nessas unidades (VON SPERLING, 2002).

A média de DBO do esgoto bruto durante o estudo foi de 376mg/L, com um desvio padrão de 193mg/L, através desse dado é possível classificar o efluente doméstico produzido pelo município de Arroio Trinta como sendo forte (AISSE, 2000), ou seja, com alta concentração de material orgânico para esse tipo de água residuária. A elevada DQO afluyente confirma esse fato.

Tabela 1 – Resultados físico-químicos e bacteriológicos expressos pela média, desvio padrão, mínimo, máximo e mediana dos parâmetros físico-químicos e eficiência média obtida em cada lagoa da ETE de Arroio Trinta

	Parâmetro	Lagoa anaeróbia			Lagoa facultativa			Lagoa de maturação		
		Afluyente	Efluente	Eficiência	Afluyente	Efluente	Eficiência	Afluyente	Efluente	Eficiência
DBO (mg/L)	N	50	52		52	51		52	50	
	Média	376	219		219	94 *		132 **	68 *	
	Desv. Pad.	193	148	42%	148	87	57%	96	66	
	Mínimo	145	37		37	10		10	9	48%
	Máximo	983	842		842	388		436	298	
	Mediana	329	178		178	64		113	59	
DQO (mg/L)	N	60	60		60	58		60	58	
	Média	712	374		374	150 *		281 **	115 *	
	Desv. Pad.	345	168	47%	168	67	60%	108	51	59%
	Mínimo	122	97		97	33		108	21	
	Máximo	1550	1018		1018	335		575	298	
	Mediana	659	390		390	137		274	110	
ST (mg/L)	N	59	59		59	59		59	59	
	Média	759	499		499	416		416	389	
	Desv. Pad.	280	175	34%	175	156	17%	156	135	6%
	Mínimo	157	142		142	63		63	98	
	Máximo	1372	946		946	730		730	635	
	Mediana	750	484		484	387		387	345	
SS (mg/L)	N	60	60		60	60		60	60	
	Média	202	95		95	75		75	69	
	Desv. Pad.	131	61	53%	61	45	21%	45	32	8%
	Mínimo	11	15		15	21		21	10	
	Máximo	540	310		310	322		322	169	
	Mediana	162	78		78	68		68	64	
N-NH ₃ (mg/L)	N	60	60		60	60		60	60	
	Média	82	57		57	52		52	48	
	Desv. Pad.	39	21	30%	21	21	9%	21	20	8%
	Mínimo	6	13		13	13		13	12	
	Máximo	175	102		102	120		120	104	
	Mediana	79	58		58	49		49	48	
P-PO ₄ ³⁻ (mg/L)	N	60	60		60	60		60	60	
	Média	16	12		12	10		10	8	
	Desv. Pad.	8	6	25%	6	6	17%	6	5	20%
	Mínimo	3	3		3	2		2	2	
	Máximo	52	31		31	34		34	30	
	Mediana	15	11		11	9		9	7	
Coli Total (NMP/100mL)	N	52	52		52	52		52	52	
	Média	5.87E+7	1.16E+7		1.16E+7	2.67E+6		2.67E+6	1.52E+6	
	Desv. Pad.	4.84E+7	9.03E+6	80% ou	9.03E+6	4.55E+6	77% ou	4.55E+6	3.37E+6	43% ou
	Mínimo	1.84E+5	1.41E+4	0,7 log	1.41E+4	2.00E+3	0,6 log	2.00E+3	1.00E+3	0,2 log
	Máximo	1.99E+8	3.42E+7		3.42E+7	2.52E+7		2.52E+7	2.42E+7	
	Mediana	6.05E+7	1.12E+7		1.12E+7	2.42E+6		2.42E+6	6.88E+5	
<i>E.coli</i> (NMP/100mL)	N	52	52		52	52		52	52	
	Média	2,07E+7	5,36E+6		5,36E+6	2,37E+6		2,37E+6	5,18E+5	
	Desv. Pad.	1,62E+7	8,69E+6	74% ou	8,69E+6	5,51E+6	56% ou	5,51E+6	7,25E+5	78% ou
	Mínimo	4,48E+5	1,53E+4	0,6 log	1,53E+4	1,04E+3	0,4 log	1,04E+3	1,00E+3	0,7 log
	Máximo	8,16E+7	6,10E+7		6,10E+7	2,42E+7		2,42E+7	2,73E+6	
	Mediana	2,17E+7	4,23E+6		4,23E+6	1,04E+6		1,04E+6	2,36E+5	

* Correspondente à fração filtrada.

** Correspondente à fração total.

A maior remoção das frações de sólidos ocorreu na lagoa anaeróbia (Tabela 1). Nas lagoas aeróbias normalmente há um acréscimo na concentração de SS devido ao crescimento de biomassa algal.

A alta densidade de *E. coli* no efluente da lagoa de maturação indicou a ineficiência do tratamento na redução de patógenos. A maioria dos estudos realizados em lagoas de maturação em regiões de clima tropical e subtropical, tratando esgotos domésticos, demonstra alta redução de *E. coli* com efluentes contendo níveis inferiores a 1.000 NMP/100ml (VON SPERLING, 1996; MAYNARD *et al.*, 1999).

Na Tabela 2 encontram-se os resultados da análise estatística descritiva e o percentual de eficiência de remoção dos principais parâmetros mensurados nas unidades de tratamento da ETE de Herval D'Oeste.

Tabela 2 – Resultados físico-químicos e bacteriológicos expressos pela média, desvio padrão, mínimo, máximo e mediana dos parâmetros físico-químicos e eficiência média obtida em cada lagoa da ETE de Herval D'Oeste

	Parâmetro	Lagoa Anaeróbia			Lagoa Facultativa			Lagoa de Maturação		
		Afluentes	Efluentes	Eficiência	Afluentes	Efluentes	Eficiência	Afluentes	Efluentes	Eficiência
DBO (mg/L)	N	52	53		53	46		50	49	
	Média	342	234		234	117 *		127 **	83 *	
	Desv. Pad.	219	193		193	124	50%	110	94	35%
	Mínimo	<10	<10	32%	<10	<10		<10	<10	
	Máximo	1010	805		805	589		428	345	
	Mediana	326	174		174	70		84	33	
DQO (mg/L)	N	61	61		61	59		61	58	
	Média	378	258		258	103 *		192 **	85 *	
	Desv. Pad.	216	79	32%	79	60	60%	76	50	56%
	Mínimo	90	61		61	22		51	6	
	Máximo	1246	402		402	328		379	315	
	Mediana	346	270		270	88		186	69	
ST (mg/L)	N	58	59		59	59		59	59	
	Média	434	367		367	336		336	325	
	Desv. Pad.	222	157	15%	157	136	8%	136	136	3
	Mínimo	54	35		35	36		36	29	
	Máximo	1081	931		931	711		711	716	
	Mediana	457	385		385	344		344	346	
SS (mg/L)	N	60	61		61	61		61	61	
	Média	100	72		72	61		61	60	
	Desv. Pad.	83	41	28%	41	39	15%	39	24	2%
	Mínimo	10	4		4	14		14	18	
	Máximo	578	170		170	214		214	113	
	Mediana	86	59		59	50		50	58	
N-NH ₃ (mg/L)	N	61	61		61	61		61	61	
	Média	45	38		38	34		34	30	
	Desv. Pad.	18	14	16%	14	14	11%	14	15	12%
	Mínimo	6	5		5	7		7	6	
	Máximo	84	67		67	66		66	66	
	Mediana	47	37		37	34		34	31	
P-PO ₄ ³⁻ (mg/L)	N	61	61		61	61		61	61	
	Média	8	8		8	6		6	5	
	Desv. Pad.	3	3	0%	3	3	25%	3	3	17
	Mínimo	1	2		2	2		2	1	
	Máximo	15	24		24	21		21	20	
	Mediana	8	8		8	6		6	4	
Coli Total (NMP/100mL)	N	50	50		50	50		50	50	
	Média	1.39E+7	4.42E+6		4.42E+6	1.24E+6		1.24E+6	1.85E+5	
	Desv. Pad.	1.02E+7	8.51E+6	68% ou	8.51E+6	2.08E+6	72% ou	2.08E+6	1.58E+5	85% ou
	Mínimo	4.10E+3	0.00E+0	0,5 log	0.00E+0	8.60E+3	0,6 log	8.60E+3	1.00E+2	0,8 log
	Máximo	3.42E+7	4.42E+7		4.42E+7	1.41E+7		1.41E+7	9.21E+5	
	Mediana	1.09E+7	2.42E+6		2.42E+6	5.79E+5		5.79E+5	1.90E+5	
<i>E.coli</i> (NMP/100mL)	N	49	50		50	50		50	50	
	Média	6,09E+6	1,29E+6		1,29E+6	4,54E+5		4,54E+5	5,08E+4	
	Desv. Pad.	6,23E+6	1,47E+6	79% ou	1,47E+6	1,05E+6	65% ou	1,05E+6	9,20E+4	89% ou
	Mínimo	1,85E+5	4,10E+2	0,7 log	4,10E+2	5,20E+3	0,5 log	5,20E+3	1,00E+2	1 log
	Máximo	2,93E+7	5,70E+6		5,70E+6	5,20E+6		5,20E+6	4,61E+5	
	Mediana	4,32E+6	8,38E+5		8,38E+5	1,07E+5		1,07E+5	8,46E+3	

* Correspondente à fração filtrada.

** Correspondente à fração total.

Durante o tratamento primário na lagoa anaeróbia a redução média de 32% da DBO_5 afluyente foi inferior a descrita em literatura especializada na qual aponta-se eficiências de 50% a 70% nessas unidades (VON SPERLING, 2002).

A média de DBO do esgoto bruto durante o estudo foi de 342mg/L, com um desvio padrão de 219mg/L, através desse dado é possível classificar o efluente doméstico produzido pelo município de Herval D'Oeste como sendo forte (AISSE, 2000), ou seja, com alta concentração de material orgânico para esse tipo de água residuária.

Da mesma forma que em Arroio Trinta, verificou-se elevadas densidades de bactérias do grupo dos coliformes no efluente da lagoa de maturação, evidenciando a baixa efetividade da lagoa terciária na desinfecção do esgoto.

4.2 Descrição dos resultados hidrobiológicos

Na Figura 5 é apresentada a frequência de ocorrência dos grupos planctônicos presentes nas unidades de tratamento de Arroio Trinta. É possível observar que nas lagoas de estabilização de Arroio Trinta ocorreram, durante o período de estudo, nove grupos de organismos planctônicos, sendo que dois desses são compostos por predadores heterotróficos: protozoários não clorofilados (protozoa), e pelos animais microscópicos (micrometazoários); e todos os demais pertencem ao fitoplâncton.

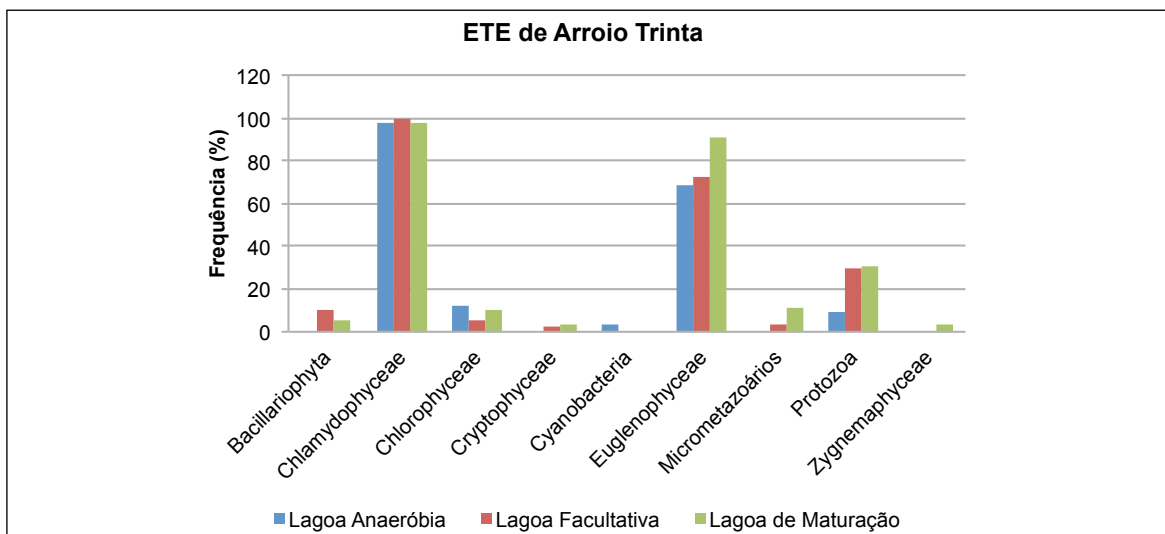


Figura 5 – Frequência relativa de ocorrência dos organismos planctônicos (grupos) presentes nas unidades de tratamento da ETE de Arroio Trinta durante o estudo

Em lagoas aeróbias em bom funcionamento, há predominância de fotoautotróficos e bactérias heterotróficas, em detrimento dos demais organismos. Nas unidades de Arroio Trinta estiveram presentes em todo o período organismos que pertencem à família Chlamydomphyceae seguidos por Euglenophyceae. Em ambos os grupos, as espécies apresentam flagelo e são frequentemente encontradas em ambientes polissapróicos tendo inclusive, algumas espécies, heterotrofia facultativa.

Uehara e Vidal (1989) e Von Sperling (2002) descrevem que o efluente de uma lagoa facultativa tende a ter coloração esverdeada, devido à alta quantidade de biomassa algal presente. O aspecto visual da massa líquida na lagoa facultativa de Arroio Trinta foi “fracamente esverdeado-leitoso” na maioria do período de estudo.

As espécies que estiveram presentes em todo o período (100% de frequência) na lagoa anaeróbia e na lagoa facultativa e ocorreram em 97% das amostragens na lagoa de maturação foram as do gênero *Chlamydomonas*. Espécies desse gênero apresentam ampla tolerância às condições tróficas e estão associadas à elevada disponibilidade de nitrogênio e fósforo (MURAKAMI e RODRIGUES, 2009).

A densidade média dos gêneros mais frequentes e abundantes detectados na massa líquida superficial das lagoas de Arroio Trinta está descrita na Tabela 3.

Tabela 3 – Densidade média das famílias taxonômicas mais frequentes e abundantes na ETE de Arroio Trinta

Família	Lagoa Anaeróbia	Lagoa Facultativa	Lagoa de Maturação
Chlamydomphyceae (nº. de ind./mL)	44036	40982	35138
Euglenophyceae (nº. de ind./mL)	7170	6459	11446

Na Figura 6 é apresentada a frequência de ocorrência dos grupos planctônicos presentes nas unidades de tratamento de Herval D’Oeste. É possível observar que nas lagoas de estabilização ocorreram, durante o período de estudo, 8 grupos de organismos planctônicos, sendo que dois desses são compostos por predadores heterotróficos: protozoários não clorofilados (protozoa), e pelos animais microscópicos (micrometazoários); e todos os demais pertencem ao fitoplâncton.

Diferentemente do sistema de tratamento de Arroio Trinta, em Herval D’Oeste, foram detectados representantes dos oito grupos de organismos em todas as lagoas durante o período de monitoramento.

As espécies mais frequentes foram de três famílias, sendo as Chlorophyceae observadas em praticamente todas as amostragens, seguidas pelas Euglenophyceae e com frequência menor, as Chlamydomonadales.

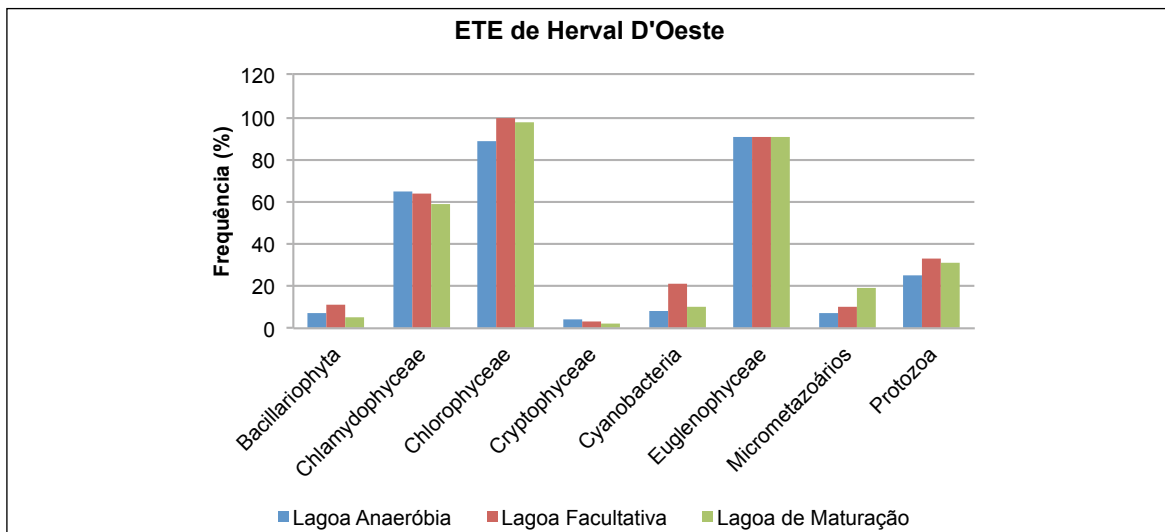


Figura 6 – Frequência relativa de ocorrência dos organismos planctônicos (grupos) presentes nas unidades de tratamento da ETE de Herval D'Oeste durante o estudo

Comparativamente a ETE de Arroio Trinta, verifica-se que os predadores de bactérias e microalgas, representados pelos protozoários, especialmente os da classe Ciliata, tiveram frequências maiores, indicando, em boa parte do período de estudo, um maior grau de interações ecológicas no sistema, fato esse que favorece os processos naturais de ciclagens de nutrientes.

A densidade média dos grupos mais frequentes e abundantes detectados na massa líquida superficial das lagoas de Herval D'Oeste Trinta está descrita na Tabela 4.

Tabela 4 – Densidade média das famílias taxonômicas mais frequentes e abundantes na ETE de Herval D'Oeste

Família	Lagoa Anaeróbia	Lagoa Facultativa	Lagoa de Maturação
Chlorophyceae (nº. de ind./mL)	19830	20126	18600
Chlamydoephyceae (nº. de ind./mL)	31280	14400	12900
Euglenophyceae (no. de ind./mL)	16540	14500	12800
Cryptophyceae	10600	8020	50

4.3 Avaliação da performance de tratamento nas lagoas de Arroio Trinta e Herval D'Oeste

Na avaliação das performances das lagoas de estabilização no tratamento dos efluentes domésticos dos municípios de Arroio Trinta e Herval D'Oeste foram verificadas as remoções médias de matéria orgânica (DBO₅ e DQO)

O percentual de remoção de DBO₅ verificado em cada uma das unidades de tratamento e a remoção total obtida nos sistemas de Arroio Trinta e Herval D'Oeste durante o estudo estão demonstradas na Figura 7. Em ambas as lagoas anaeróbias e facultativas as remoções de DBO₅ foram bastante inferiores àquelas observadas em outras lagoas primárias e secundárias citadas em literatura (GALVÃO *et al.*, 1999; SILVA *et al.*, 2000; YAGOUBI *et al.*, 2000).

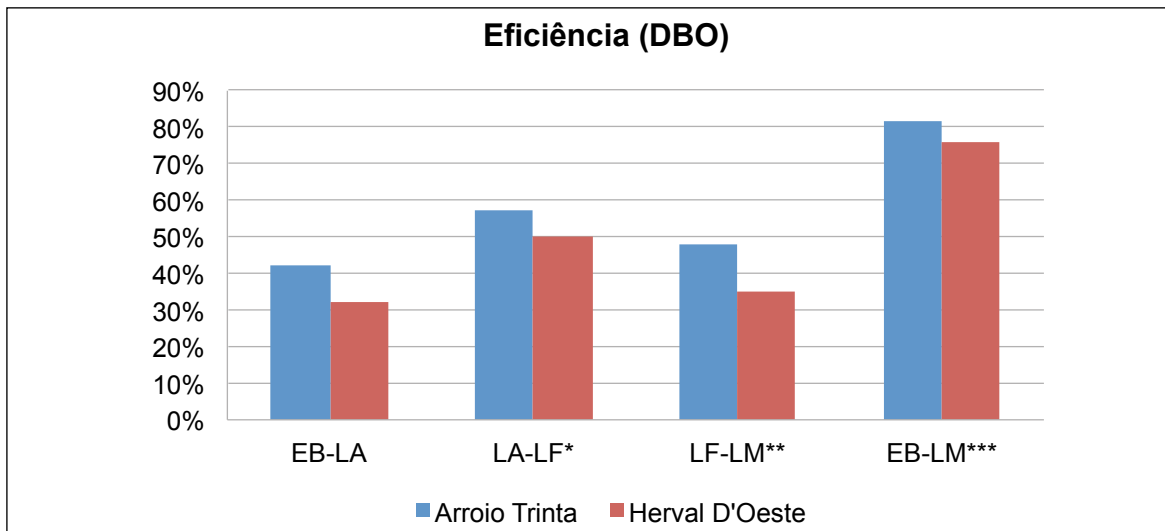


Figura 7 – Remoção de DBO₅ em cada uma das unidades de tratamento das lagoas de estabilização de Arroio Trinta e de Herval D'Oeste

* foi considerado DBO total LA - DBO filtrada LF

** foi considerado DBO total LF - DBO filtrada LM

*** foi considerado DBO total EB - DBO filtrada LM

Através dos valores médios da DBO₅ em cada lagoa (Figura 8), observa-se que a DBO₅ do esgoto bruto diminuiu gradativamente ao longo do processo de tratamento, demonstrando que houve remoção similar e significativa da matéria orgânica carbonácea biodegradável em ambas as ETE.

Em termos de desempenho total, na ETE de Arroio Trinta houve redução de 82% da DBO₅ afluente e na ETE de Herval D'Oeste esse percentual médio foi de 76%. Considerando que para o cálculo dessa remoção, utilizou-se a DBO total afluente e a DBO filtrada efluente, os sistemas apresentaram baixa performance de transformações das frações orgânicas do carbono representadas por esses índices.

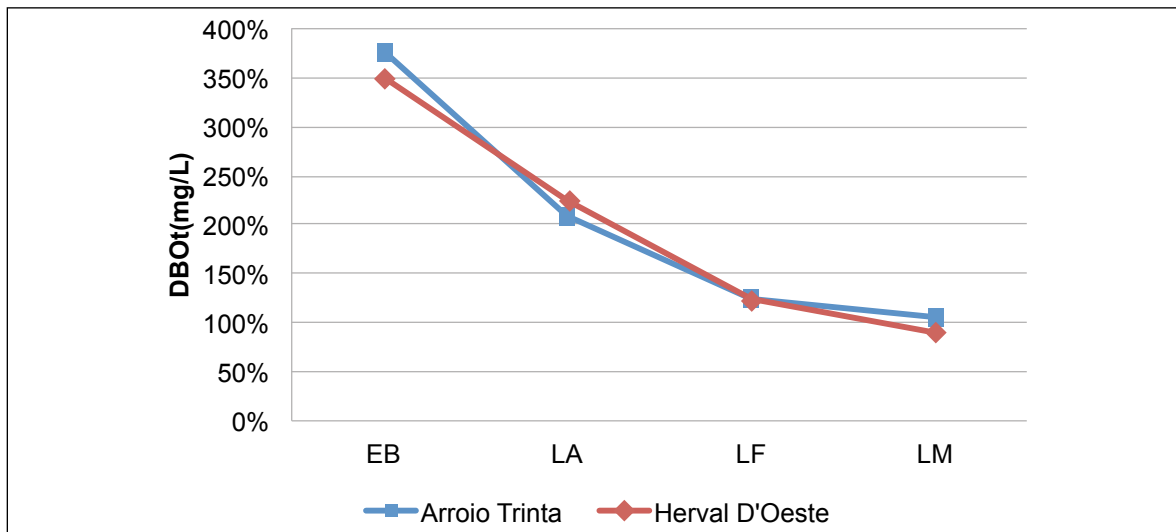


Figura 8 – Decaimento da DBO_5 afluyente ao longo do tratamento nas lagoas de estabilização de Arroio Trinta e de Herval D'Oeste

O percentual de remoção de DQO verificado em cada uma das unidades de tratamento e a remoção total obtidas nos sistemas de Arroio Trinta e Herval D'Oeste durante o estudo estão demonstradas na Figura 9. Da mesma forma que para a DBO_5 , o desempenho da lagoa anaeróbia foi aquém do esperado para essa unidade.

A remoção média total da DQO afluyente na ETE de Herval D'Oeste (78%) foi ligeiramente inferior às faixas de remoção descritas na literatura especializada para esse tipo de arranjo de lagoas (80-85%) (VON SPERLING e CHERNICHARO, 1997), enquanto que o sistema de Arroio Trinta mostrou-se adequado nesse quesito.

O comportamento do decaimento da DQO nas lagoas de estabilização de Arroio Trinta e de Herval D'Oeste pode ser analisado na Figura 10. Verifica-se que a DQO afluyente aos sistemas diminuiu gradativamente ao longo do processo de tratamento, demonstrando que houve remoção da matéria orgânica carbonácea total nas ETE. Em Arroio Trinta esse decaimento foi mais acentuado devido a média da DQO afluyente ser bastante superior (712mg/L) aquela obtida em Herval D'Oeste (378mg/L).

Em sistemas naturais de tratamento de efluentes, tais como as lagoas de estabilização, espera-se que a relação entre a concentração de DQO e DBO do efluente final seja muitas vezes superior a mesma relação entre as concentrações afluentes. Fato esse explicado pelo alto tempo de detenção hidráulico nesses sistemas o que permite que a maior fração do material biodegradável, incluindo o de difícil degradação, possa ser, principalmente, convertido bioquimicamente.

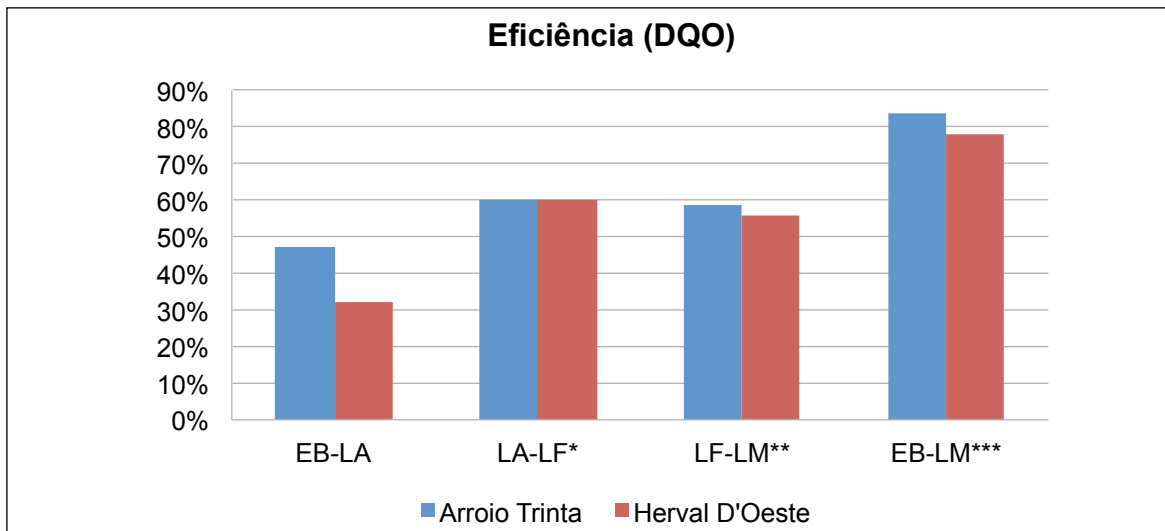


Figura 9 – Remoção de DQO em cada uma das unidades de tratamento das lagoas de estabilização de Arroio Trinta e de Herval D'Oeste

* foi considerado DQO total LA - DQO filtrada LF

** foi considerado DQO total LF - DQO filtrada LM

*** foi considerado DQO total EB - DQO filtrada LM

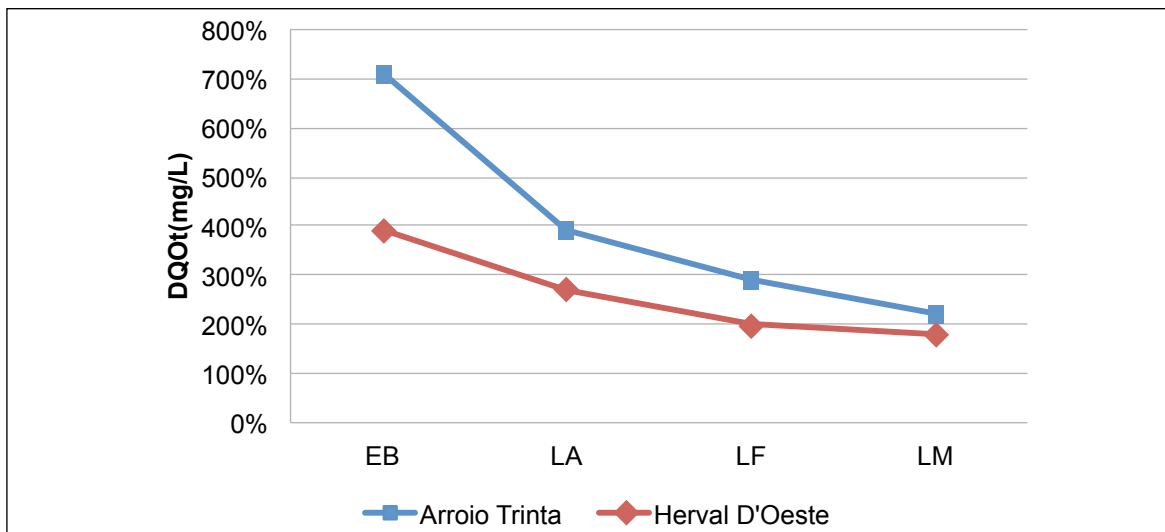


Figura 10 – Decaimento da DQO afluente ao longo do tratamento nas lagoas de estabilização de Arroio Trinta e de Herval D'Oeste

Para esgotos domésticos brutos, a relação DQO/DBO_5 varia em torno de 1,7 a 2,4. A relação DQO/DBO_5 sofre variação na medida em que o esgoto bruto avança pelas unidades de tratamento. A tendência da relação é de aumentar devido à redução

gradativa da fração biodegradável, enquanto que a fração inerte permanece aproximadamente inalterada. Assim, o efluente final do tratamento biológico bem-sucedido atinge valores de DQO/DBO₅ superiores a 3,0 (VON SPERLING, 1996).

Um dos indícios da ineficiência dos sistemas de tratamento de Arroio Trinta e Herval D'Oeste refere-se a baixa relação DQO/DBO₅ verificada nos efluentes das duas estações. Em AT essa relação foi de 1,7 e em HO foi 1,0, indicando a existência de material orgânico biodegradável passível de tratamento no efluente final.

4.4 Medição de vazão

Para as lagoas de estabilização de Arroio Trinta, foram realizadas medições de vazão afluente e efluente ao longo de 324 dias. Obteve-se como vazão média afluente (vazão de entrada – Q_e) o valor de 11,18 ± 8,69 m³/h, e como vazão média efluente (vazão de saída – Q_s) o valor de 6,96 ± 6,60 m³/h. Percebeu-se uma grande amplitude nos valores horários computados, evidenciados pelo elevado desvio padrão.

Para as lagoas de estabilização de Herval D'Oeste, foram realizadas medições de vazão afluente e efluente ao longo de 639 dias. Obteve-se como vazão média afluente (vazão de entrada – Q_e) o valor de 137,87 ± 38,60 m³/h, e como vazão média efluente (vazão de saída – Q_s) o valor de 80,82 ± 33,10 m³/h. Percebeu-se uma grande amplitude nos valores horários computados, evidenciados pelo elevado desvio padrão.

4.5 Balanço hídrico

Considerando a área superficial total das lagoas de Arroio Trinta como sendo 2.754,58 m² e as vazões médias afluente e efluente (Q_{entrada} = 268,32 m³/d; Q_{saída} = 167,04 m³/d), pode-se estimar para o período compreendido entre fevereiro de 2011 e fevereiro de 2012, uma diferença média entre a Q_{entrada} e Q_{saída} de cerca de 37,74%, o que corresponde a um valor de 101,28 m³/d.

Assumindo como situação crítica a diferença de 37,74% entre as vazões médias afluente e efluente, pode-se estimar as vazões nas saídas das três lagoas a partir da razão de proporcionalidade entre a área de cada lagoa pela área superficial total do sistema de lagoas, conforme Figura 11.

Considerando a área superficial total das lagoas de Herval D'Oeste como sendo 19.480,13 m² e as vazões médias afluente e efluente (Q_{entrada} = 3.308,88 m³/d; Q_{saída} = 1.939,68 m³/d), pode-se estimar para o período compreendido entre junho de 2010 e

fevereiro de 2012, uma diferença média entre a Q_{entrada} e $Q_{\text{saída}}$ de cerca de 41,38%, o que corresponde a um valor de $1.369,20 \text{ m}^3/\text{d}$.

Assumindo como situação crítica a diferença de 41,38% entre as vazões médias afluyente e efluente, pode-se estimar as vazões nas saídas das três lagoas a partir da razão de proporcionalidade entre a área de cada lagoa pela área superficial total do sistema de lagoas, conforme Figura 12.

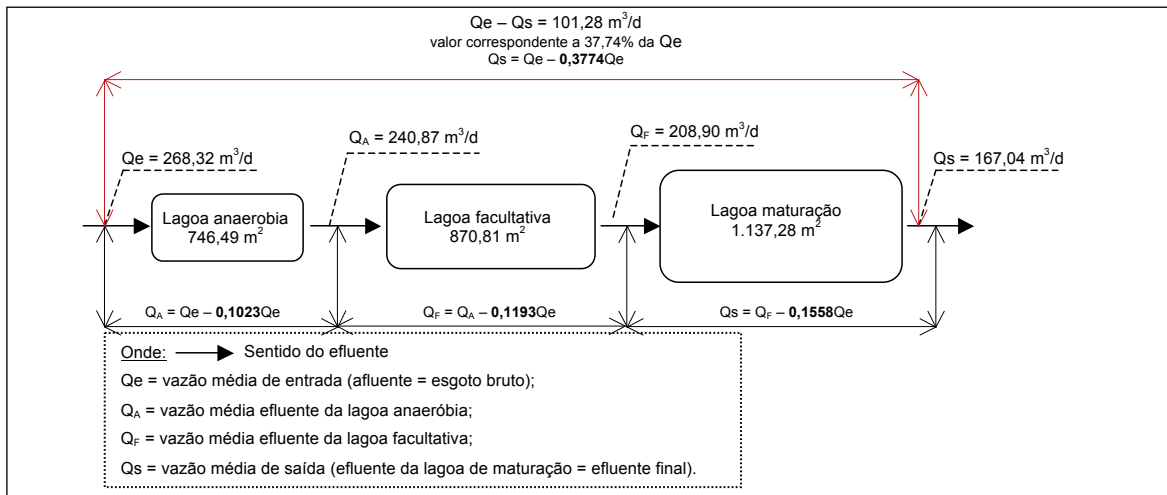


Figura 11 – Fluxograma do balanço de vazões nas lagoas de Arroio Trinta a partir dos dados médios obtidos durante o período de 02/2011 a 02/2012

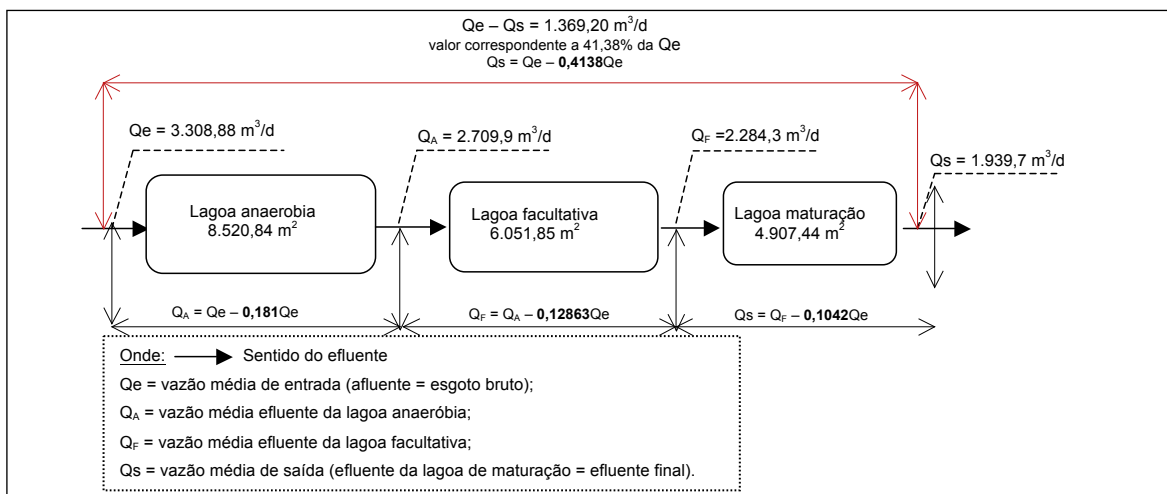


Figura 12 – Fluxograma do balanço de vazões nas lagoas de Herval D'Oeste a partir dos dados médios obtidos durante o período de 06/2010 a 02/2012

4.6 Medição de lodo – Batimetria

Os resultados obtidos a partir da batimetria realizada em 2010 e 2012 nas lagoas de Arroio Trinta e considerando a cobertura do sistema, pode-se inferir:

- lagoa anaeróbia: ocorreu um acúmulo médio de 17,909 m³ lodo/ano, sendo a taxa de acúmulo *per capita* calculada de 0,0075 m³/hab.ano, ou seja, inferior ao preconizado pela literatura que é de 0,03 a 0,04 m³/hab.ano (MENDONÇA, 1990). A taxa de acúmulo de lodo foi de 3,8 cm/ano, valor esse dentro da faixa apresentada na literatura que varia entre 2,2 a 5,7 cm/ano (VON SPERLING, 1996).
- lagoa facultativa: ocorreu um acúmulo médio de 7,235 m³ lodo/ano, sendo a taxa de acúmulo *per capita* calculada de 0,0030 m³/hab.ano. A taxa de acúmulo de lodo foi de 2,1 cm/ano.

Já os resultados obtidos a partir da batimetria realizada em 2010 e 2012 nas lagoas de Herval D'Oeste e considerando a cobertura do sistema, pode-se inferir:

- lagoa anaeróbia: ocorreu um acúmulo médio de 737,40 m³ lodo/ano, sendo a taxa de acúmulo *per capita* calculada de 0,035 m³/hab.ano, ou seja, corroborando com os valores preconizados pela literatura que são de 0,03 a 0,04 m³/hab.ano (MENDONÇA, 1990). Contudo, a taxa de acúmulo de lodo foi de 25 cm/ano, valor esse acima da faixa apresentada na literatura que varia entre 2,2 a 5,7 cm/ano (VON SPERLING, 1996).

5. Conclusões

5.1 Lagoas de Estabilização de Arroio Trinta

Tendo como base as 60 determinações físico-químicas e biológicas realizadas em amostragens pontuais do afluente e efluente das unidades de tratamento de Arroio Trinta, conclui-se que:

- A qualidade do esgoto bruto afluente à ETE apresenta ampla variação especialmente em relação a alcalinidade total, DBO₅, DQO, ST, SS, SD, Nitrogênio Amoniacal e Ortofosfato reativo;

- O esgoto bruto afluente a ETE de Arroio Trinta é classificado como forte com 376mg/L de DBO₅ média, 712mg/L de DQO média, 82mg/L N-NH₃ e 16mg/L de P-PO₄³⁻;
- O plâncton nas lagoas de Arroio Trinta foi composto por nove grupos de organismos planctônicos, sendo os mais frequentes e, também, os mais abundantes pertencentes às famílias Chlamydomphyceae e Euglenophyceae;
- A diversidade biológica do mesoplâncton foi bastante reduzida para esse tipo de sistema, com ocorrência de espécies de nove gêneros na LA, 18 gêneros na LF e 25 gêneros na LM;
- As espécies predominantes na comunidade fitoplanctônica das lagoas são indicativas de ambiente com elevada carga de poluentes orgânicos e nutrientes, tolerantes à baixa pressão de oxigênio, com mobilidade por flagelos, sendo algumas espécies heterotróficas facultativas;
- As concentrações de oxigênio dissolvido na superfície das lagoas facultativa e de maturação são insuficientes para degradação aeróbia da matéria orgânica carbonácea;
- A remoção via metabolismo microbiano aeróbio de DBO₅ nas lagoas aeróbias foi limitada pela carência de oxigênio oriunda da baixa atividade fotossintética atrelada à sobrecarga orgânica e a geometria das lagoas (reduzida área superficial, profundidade elevada);
- As lagoas facultativa e de maturação se comportam como lagoas facultativas em sequência, sendo a zona fótica e aeróbia bastante restrita, predominando os processos bioquímicos anaeróbios;
- O sistema não foi eficiente na remoção de carbono orgânico (DBO₅ e DQO), na remoção de nutrientes inorgânicos (N-NH₃ e P-PO₄³⁻) e na desinfecção do esgoto;
- O sistema removeu 49% dos ST e 66% dos SS do esgoto bruto, sendo a maior fração retida na lagoa anaeróbia (34% para ST e 53% para SS);
- A remoção dos sólidos na lagoa anaeróbia é considerada satisfatória para essa unidade;

- A alta densidade de *E. coli* no efluente da lagoa de maturação (média de $5,2 \times 10^5$ NMP/100mL) indicou a ineficiência do tratamento na redução de patógenos (remoção média de 1,5 unidades log);
- Em termos de performance individual, a lagoa anaeróbia reduziu 42% da DBO₅ afluyente enquanto que na lagoa facultativa a redução média foi de 57% da DBO₅ afluyente (efluente da LA) e na lagoa de maturação a média de remoção foi de 48%;
- Os elevados percentuais de remoção de DBO₅ e DQO nas lagoas secundária e terciária apontam para um carregamento excessivo dessas unidades;
- O sistema removeu em média 82% da DBO afluyente, desses, 42% foram retidos na lagoa anaeróbia; 33% na lagoa facultativa e 7% na lagoa de maturação;
- A relação DQO:DBO₅ de 1,7 obtida para o efluente do sistema indica a sobrecarga orgânica e a ineficiência do tratamento biológico na ETE;
- Das frações de sólidos presentes no efluente, 77% correspondem a sólidos dissolvidos, revelando a ineficiência e inadequação do tratamento do esgoto no sistema;
- Não houve redução representativa das concentrações de nutrientes inorgânicos durante o tratamento (médias de 41% para N-NH₃ e 50% para P-PO₄³⁻);
- O efluente final produzido na ETE está em desacordo com o estabelecido pelo Decreto Estadual N°.14.250/81 (SC, 1981) em termos de concentração média de DBO₅, apresentando 68mg/L quando o máximo permitido é de 60mg/L; de nitrogênio, com média de 48mgN-NH₃, quando o máximo permitido é de 10mgNT/L e em termos de fósforo, apresentando média de 8mgP-PO₄³⁻/L sendo 1,0mgPT o valor máximo permitido.

Em termos de carga de DBO₅, parâmetro obtido a partir do momento em que houve monitoramento das vazões afluyente e efluente (período compreendido entre março/2011 a fevereiro/2012), a ETE removeu em média 83% da carga afluyente. Contudo, o efluente final da ETE apresentou 35% do total dos resultados obtidos em desacordo com o preconizado no Decreto Estadual N°. 14.25/81 (SC, 1981), o qual destaca que o efluente tratado deve apresentar uma concentração máxima de 60 mg-DBO₅/L ou remoção superior a 80% da carga de DBO₅ afluyente.

Tendo como base os parâmetros operacionais e de performance de tratamento, conclui-se que:

- A contribuição *per capita* de esgoto apresentou valor médio de 158 L/hab.dia;
- A carga de DBO_5 *per capita* apresentou valor médio de 59 $\text{gDBO}_5/\text{hab.d}$;
- Na lagoa anaeróbia ocorreu um acúmulo médio de 17,909 m^3 lodo/ano, sendo a taxa de acúmulo *per capita* calculado de 0,0075 $\text{m}^3/\text{hab.ano}$, e uma taxa de acúmulo de 3,8 cm/ano;
- Para a lagoa anaeróbia a carga orgânica volumétrica aplicada (λ_v) foi em média de 54 $\text{gDBO}_5/\text{m}^3.\text{d}$ em temperatura média de 17°C, profundidade de 2,5 m e tempo de retenção hidráulica (TRH) de 7 dias, apresentando performance de remoção de 42% de DBO_5 ;
- Para a lagoa facultativa o carregamento orgânico superficial ($\text{KgDBO}_5/\text{ha.d}$) é muito superior a máxima relação de carregamento recomendada na literatura, apresentando valores de 606 $\text{KgDBO}_5/\text{ha.d}$;
- A lagoa de maturação não atuou na promoção do decaimento bacteriano, apresentando um decaimento inferior a 1 unidade logarítmica.

5.2 Lagoas de Estabilização de Herval D'Oeste

Tendo como base as 61 determinações físico-químicas e biológicas realizadas em amostragens pontuais do afluente e efluente das unidades de tratamento de Herval D'Oeste, conclui-se que:

- O esgoto bruto afluente é qualitativamente heterogêneo especialmente em relação a DBO_5 , DQO, ST, SD e Nitrogênio Amoniacal, fato esse que dificulta a interpretação e a obtenção de tendências de cargas afluentes;
- O esgoto bruto afluente a ETE de Herval D'Oeste é classificado como forte com 342mg/L de DBO_5 média, 45mg/L N-NH_3 e 8mg/L de P-PO_4^{3-} ;
- A lagoa facultativa manteve-se em anoxia no estrato horizontal superior durante a maioria das amostragens enquanto que na lagoa de maturação a concentração mediana foi próxima a 1mg/L não ultrapassando 5mg/L na maioria do período;

- A concentração de oxigênio dissolvido na superfície da lagoas facultativa foi insuficiente para degradação aeróbia da matéria orgânica carbonácea afluyente;
- A remoção via metabolismo microbiano aeróbio de DBO_5 nas lagoas aeróbias foi limitada pela carência de oxigênio;
- O plâncton nas lagoas de Herval D'Oeste foi composto por 8 grupos de organismos planctônicos; sendo as espécies mais frequentes pertencentes a 3 famílias: Chlorophyceae, Euglenophyceae e Chlamydomonadaceae;
- Em termos de diversidade biológica da comunidade do mesoplâncton, foram identificadas espécies de 32 gêneros na LA, 40 gêneros na LF e 37 gêneros na LM;
- O plâncton foi dominado por espécies de *Chlamydomonas* e *Euglena* nas lagoas anaeróbia e facultativa, sendo essa última incrementada por espécies de Chlorophyta com destaque para *Scenedesmus* e *Chlorella*;
- As espécies fitoplanctônicas móveis de rápido crescimento e heterotróficas facultativas indicaram que nas lagoas primária e secundária prevaleceram condições instáveis, com altas concentrações de macronutrientes e elevada turbidez;
- As frequências em que ocorreram os táxons na lagoa de maturação foram similares àquelas verificadas na lagoa facultativa;
- A medida que avança o tratamento na ETE, aumenta a densidade de espécies de Chlorophyceae, sendo essa família responsável por 25% dos indivíduos na LA e 42% na LM;
- Predadores de bactérias e microalgas, especialmente os protozoários da classe Ciliata, foram detectados com elevada frequência de ocorrência e reduzida abundância nas lagoas aeróbias;
- A diversidade de táxons de diferentes posições na cadeia alimentar presentes no plâncton das lagoas aeróbias de Herval D'Oeste caracteriza a complexidade das relações bióticas nesse sistema com conseqüente benefício ao tratamento biológico do esgoto;

- A diversidade de táxons verificada nas lagoas de Herval D'Oeste é similar às obtidas em outros estudos em lagoas de estabilização de efluentes;
- Em termos de performance individual, a lagoa anaeróbia reduziu 32% da DBO_5 afluente enquanto que na lagoa facultativa a redução média foi de 50% da DBO_5 afluente (efluente da LA) e na lagoa de maturação a média de remoção foi de 35%;
- Os elevados percentuais de remoção de DBO_5 e DQO nas lagoas secundária e terciária apontam para um carregamento excessivo dessas unidades;
- A alta densidade de *E. coli* no efluente da lagoa de maturação (média de $5,1 \times 10^4$ NMP/100mL) indicou a ineficiência do tratamento na redução de patógenos (remoção média de 2 unidades log);
- O sistema removeu em média 76% da DBO_5 afluente, desses, 32% foram retidos na lagoa anaeróbia; 34% na lagoa facultativa e 10% na lagoa de maturação;
- O sistema removeu 25% dos ST e 40% dos SS do esgoto bruto, sendo a maior fração retida na lagoa anaeróbia (15% para ST e 28% para SS);
- A remoção dos sólidos na lagoa anaeróbia é considerada insatisfatória para essa unidade;
- A relação DQO: DBO_5 de aproximadamente 1,5 obtida para o efluente do sistema indica a sobrecarga orgânica e a ineficiência do tratamento biológico na ETE;
- Das frações de sólidos presentes no efluente, 81% correspondem a sólidos dissolvidos, revelando a ineficiência e inadequação do tratamento do esgoto no sistema;
- Não houve redução representativa das concentrações de nutrientes inorgânicos durante o tratamento (médias de 33% para $N-NH_3$ e 37% para $P-PO_4^{3-}$);
- O efluente final produzido na ETE está em desacordo com o estabelecido pelo Decreto Estadual N°. 14.25/81 (SC, 1981) em termos de concentração média de DBO_5 , apresentando 83mg/L quando o máximo permitido é de 60mg/L; de nitrogênio, com média de 30mgN- NH_3 , quando o máximo permitido é

de 10mgNT/L e em termos de fósforo, apresentando média de 5mgP-PO₄³⁻/L sendo 1,0mgPT o valor máximo permitido;

Em termos de carga de DBO₅, parâmetro obtido a partir do momento em que houve monitoramento das vazões afluente e efluente (período compreendido entre junho/2010 a fevereiro/2012), a ETE removeu em média 81% da carga afluente. Contudo, o efluente final da ETE apresentou 31% do total dos resultados obtidos em desacordo com o preconizado no Decreto Estadual N°. 14.25/81 (SC, 1981), o qual destaca que o efluente tratado deve apresentar uma concentração máxima de 60 mg-DBO₅/L ou remoção superior a 80% da carga de DBO₅ afluente.

Tendo como base os parâmetros operacionais e de performance de tratamento, conclui-se que:

- A contribuição *per capita* de esgoto apresentou valor médio de 158 L/hab.dia;
- A carga de DBO₅ *per capita* apresentou valor médio de 54 gDBO₅/hab.d;
- Na lagoa anaeróbia ocorreu um acúmulo médio de 737,40 m³ lodo/ano, sendo a taxa de acúmulo *per capita* calculada de 0,035 m³/hab.ano e taxa de acúmulo de 25 cm/ano;
- Para a lagoa anaeróbia a carga orgânica volumétrica aplicada (λ_v) foi em média de 55 gDBO₅/m³.d em temperatura média de 16°C, profundidade de 2,43 m e tempo de retenção hidráulica (TRH) de seis dias, apresentando performance de remoção de 32% de DBO₅;
- Para a lagoa facultativa o carregamento orgânico superficial (KgDBO₅/ha.d) é muito superior a máxima relação de carregamento recomendada na literatura, apresentando valores de 1.048 KgDBO₅/ha.d;
- A lagoa de maturação não atuou na promoção do decaimento bacteriano, apresentando um decaimento de 1 unidade logarítmica.

Por se tratar de um estudo que visava a identificação de parâmetros de projeto e operação de lagoas de estabilização empregadas no tratamento de esgoto sanitário, adaptados às condições climáticas da Bacia Hidrográfica do Rio do Peixe, por meio de avaliação de lagoas existentes na região, os resultados apresentados deveriam orientar o dimensionamento de novas unidades passíveis de serem implantadas na bacia.

Contudo, devido às incoerências de concepção e dimensionamento quando da implantação das lagoas, período anterior ao início da pesquisa, torna-se impraticável a recomendação de tais parâmetros de projeto.

Porém, conforme as próprias conclusões e recomendações do consultor *ad hoc* da pesquisa, há que se frisar que mesmo com tais incoerências de concepção inicial, ambos os sistemas de tratamento de esgotos por meio de lagoas de estabilização em série conseguem reduzir grande parte da matéria orgânica que chega com os esgotos brutos e são despejados posteriormente nos corpos d'água.

Somente a partir dos resultados obtidos com o monitoramento físico-químico e biológico e do acompanhamento operacional das lagoas em questão, é que se pôde inferir sobre a dinâmica da depuração da matéria orgânica e sobre dados de contribuição *per capita* de esgotos e carga *per capita* de DBO_5 , relacionados às condições climáticas e aos hábitos e costumes de uma parcela da população da Bacia Hidrográfica do Rio do Peixe.

6. Recomendações para utilização dos resultados pela Funasa e indicativo de custos

Corroborando com o consultor *ad hoc*, recomenda-se que a Funasa desenvolva em conjunto com a equipe dessa pesquisa um seminário de avaliação e capacitação dirigido aos funcionários das municipalidades de Arroio Trinta e Herval D'Oeste, com o intuito de orientá-los a operar e manter adequadamente os sistemas de tratamento existentes, bem como apresentar e discutir as bases de projeto estabelecidas na literatura para sistemas de tratamento tipo lagoas de estabilização.

7. Referências bibliográficas

AGOUBI, M.; ECHIHABI, L.; FOURLANE, A.; BOURCHICH, L.; JELLAL, J.; WITTLAND, C.; YACHIOUI, M. (2000). The performance of the waste stabilization pond system at Boujaad, Morocco. *Wat. Sci. Tech.*, 42 (10-11), 9-16.

AISSE, Miguel Mansur. Sistemas Econômicos de Tratamento de Esgotos Sanitários. Rio de Janeiro: ABES: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2000. 191p.

APHA – American Public Health Association. (2005). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 21 ed. Baltimore/Maryland: APHA-AWWA-WEF.

BENTO, A. P.; LAPOLLI, F. R.; SARTORATO, J.; RIBEIRO, L. F. (2002). Wastewater Treatment Using Stabilization Ponds: Florianópolis Experience, South Brazil. In: V International Conference on Waste Stabilisation Ponds. *Proceedings*. Auckland, New Zealand. pp. 679-684.

CHERNICHARO, C. A. L. (1997). *Princípios do tratamento biológico de águas residuárias – Reatores Anaeróbios*. Volume 5. 1ª ed. Departamento de engenharia sanitária e ambiental, UFMG. Belo Horizonte, MG. 245 p.

GALVÃO, Jr, A. C.; MAGALHÃES, C. A. C. (1999). Avaliação dos sistemas de tratamento por lagoas de estabilização em cidades operadas pela unidade de negócio do médio Tietê. SABESP. *Cd room do 20º Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental*, I-078, 333-341. Rio de Janeiro, RJ.

KELLNER, E.; PIRES, E. C. (1998). *Lagoas de Estabilização: Projeto e Operação*. Rio de Janeiro: ABES. 244p.

LINDNER, E. A. (2007) Estudo de eventos hidrológicos extremos na Bacia do Rio do Peixe – SC com aplicação de índice de umidade desenvolvido a partir do Tank model. *Tese de Doutorado*. Curso de pós graduação em Engenharia Ambiental, UFSC. 215 p.

MAYNARD, H. E.; OUKI, S. K.; WILLIAMS, S. C. (1999). Tertiary Lagoons: A review of removal mechanisms and performance. *Wat. Res.* 33 (7): 1-13.

MAYO, A. W.; NOIKE, T. (1996). Effects of temperature and pH on the growth of heterotrophic bacteria in waste stabilization ponds. *Wat. Res.* 30(2): 447-455.

MENDONÇA, S. R. (1990). Lagoas de estabilização e aeradas mecanicamente: novos conceitos. CIP-Brasil. Catalogação na fonte. Sindicato nacional dos editores de livros, Rio de Janeiro/RJ. 388p.

MURAKAMI, E. A.; RODRIGUES, L. (2009). Resposta das algas perifíticas às alterações de temperatura e ao enriquecimento artificial de nutrientes em curto período de tempo. *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, Maringá: Universidade Estadual de Maringá, v. 31, n.3, p. 273-284.

PICOT, B.; BAHLAOUI, A., MOERSIDIK, S.; BALEUX, B.; BONToux, J. (1992). *Comparison of the purifying efficiency of high rate algal pond with stabilization pond.* *Wat. Sci. Tech.*, 25(12): 197-206.

UEHARA, M. Y.; VIDAL, W. L. (1989). *Operação e Manutenção de Lagoas Anaeróbias e Facultativas.* São Paulo: CETESB – Série manuais. 91p.

VON SPERLING, M. (1996). *Lagoas de Estabilização.* Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 134 p.

VON SPERLING, M. (1997). *Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias, Lodos Ativados.* v4. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – DESA-UFMG, Belo Horizonte, 428p.

VON SPERLING, M. (2002). *Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias. Lagoas de Estabilização.* v. 3. 2. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental: Universidade Federal de Minas Gerais, 196p.

Modelos de Gestão dos Serviços de Saneamento no Brasil: Limites e Possibilidades

Luiz Roberto Santos Moraes, PhD (Coordenador) –
Universidade Federal da Bahia (UFBA)

Patrícia Campos Borja, Prof^a Dra. – Universidade
Federal da Bahia (UFBA)

Rosimeire Fiaccone, Prof^a Dra. – Universidade Federal
da Bahia (UFBA)

Maiara Macedo Silva, MSc, Eng^a Sanitarista e
Ambiental – Universidade Federal da Bahia

Yang Borges Chung, MSc, Sociólogo – Universidade
Federal da Bahia

Proponente: Fundação de Amparo à Pesquisa e
Extensão Universitária

Executora: Universidade Federal da Bahia

Resumo

A Pesquisa teve como objetivo geral estudar os diferentes modelos de gestão dos serviços públicos de saneamento básico no Brasil, identificando seus limites e possibilidades. Foram utilizados dados secundários sobre gestão dos serviços obtidos da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB 2008), sobre prestação dos serviços de abastecimento de água, esgotamento sanitário e limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos obtidos do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS 2007), e de experiências de autogestão dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitários de pequenas localidades obtidos de empresas estaduais e na internet, bem como dados primários sobre a gestão dos serviços públicos de saneamento básico, por meio de questionário elaborado para tal, respondidos por uma amostra de 295 municípios com população de até 50.000 habitantes e de entrevistas semiestruturadas com gestores, prestadores de serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário de diferentes naturezas jurídicas

e representantes de organizações da sociedade civil dos municípios de Serrana-SP, Timbó-SC, Dois Irmãos-RS e Arraial do Cabo-RJ.

Os resultados mostram que a maioria dos municípios da amostra não dispõe ainda de política municipal de saneamento básico, de entidade de planejamento dos serviços e de plano municipal como instrumento de planejamento, de entidades e instrumentos de regulação e de fiscalização e de instâncias de controle social dos serviços públicos de saneamento básico, sendo similares aos resultados da PNSB 2008, não atendendo assim o que preconiza a Lei nº 11.445/2007.

Os modelos de gestão de serviços públicos de saneamento básico são o resultado de projetos sociais, tendo relação direta com o processo histórico de uma nação, com a economia e com as relações de poder no seio da sociedade. Os modelos são fortemente influenciados por fatores econômicos e políticos e refletem interesses de classe e apresentam limites e possibilidades.

Palavras-chave: Saneamento Básico; Gestão; Planejamento; Regulação; Prestação de serviço; Fiscalização; Controle Social.

Abstract

The research aimed to study the different management models of public services of basic sanitation in Brazil, identifying its limitations and possibilities. Secondary data on the management of services obtained from the National Research of Basic Sanitation (PNSB 2008), on the services of water supply, sanitation, drainage and solid wastes obtained from the National Information System on Sanitation (SNIS 2007), and experiences of self-management services for water supply and sanitation in small localities obtained from water supply and sanitation companies and the Internet, as well as primary data on the management of public services of basic sanitation, through a questionnaire prepared for that, answered by a sample of 295 municipalities with a population until 50,000 inhabitants and semi-structured interviews with managers, service providers of water supply and sanitation of different legal nature and representatives of civil society organizations from the municipalities of Serrana-SP, Timbó-SC, Dois Irmãos-RS and Arraial do Cabo-RJ.

The results show that the majority of municipalities in the sample still has no policy of municipal basic sanitation, entity of planning and municipal basic sanitation plan as a planning instrument, of entities and instruments of regulation and fiscaliza-

tion and democratic control instances of public services of basic sanitation, similar to the results of PNSB 2008, thus not attending what the law no. 11.445/2007 calls for.

Management models of public services of basic sanitation are the result of social projects, having direct relation to the history of a nation, with the economy and power relations within society. The models are heavily influenced by economic and political factors and reflect class interests and present limitations and possibilities.

Keywords: basic sanitation; management; planning; regulation; provision of public service; supervision; democratic control.

1. Introdução

A história recente da política de saneamento no Brasil tem sido marcada por intensas transformações. A extinção do BNH em 1986 e a falência do Plano Nacional de Saneamento (Planasa), no bojo da crise financeira dos anos 80 no País, trouxeram como consequência a redução drástica dos investimentos e um vazio institucional. A partir daí, diversas orientações passam a ser dadas pelo governo brasileiro visando alterar o papel do Estado no âmbito das políticas de saneamento.

Foi o governo do Presidente Fernando Henrique Cardoso (FHC) que imprimiu maior ritmo para a modificação do papel do Estado nessa área. No quinto dia de seu primeiro mandato, o Presidente FHC vetou o Projeto de Lei da Câmara (PLC) nº 199/1993 aprovado pelo Congresso Nacional em 1994, que se constituía em um projeto de consenso de diversos setores da sociedade civil brasileira após quatro anos de intensas discussões. Tal PLC representava uma clara defesa do saneamento público e da responsabilidade do Estado na sua promoção. Esse veto foi o primeiro sinal de que FHC iria atender as orientações das Instituições Financeiras Internacionais (IFI), no sentido de privatizar os serviços públicos de saneamento. No âmbito do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), uma equipe já desenvolvia o então Projeto de Modernização do Setor Saneamento (PMSS), depois Programa, que tinha como objetivo realizar um amplo diagnóstico da área e propor um novo arcabouço jurídico e institucional nos marcos da modernização e flexibilização com vistas à privatização.

Fruto dessas iniciativas foi proposto o Projeto de Lei do Senado (PLS) nº 266/1996, de autoria do então senador José Serra (PSDB/SP), ex-ministro do Ministério do Planejamento e Orçamento (MPO), ex-chefe da equipe da Secretaria de Políticas Urbanas (Sepurb) e do PMSS, e depois Ministro da Saúde. Tal projeto buscava garantir

instrumentos adequados para que as ações de saneamento pudessem ser exercidas de forma eficiente, permitindo que a execução dos serviços se tornasse atrativa e segura para a iniciativa privada. Em 2001, o Poder Executivo envia à Câmara Federal o PL nº 4.147/2001, solicitando aprovação em regime de urgência constitucional. Esse PL amplia o anterior, tendo o mesmo objetivo fundamental: propiciar a privatização dos serviços de saneamento, principalmente nas áreas mais rentáveis - no caso, as Regiões Metropolitanas. O interesse principal dos PL era o de transferir para os estados a titularidade dos serviços garantida pela Constituição Federal ao município, o qual tem a competência para organizar e prestar os serviços públicos de saneamento básico. Essa operação viria a facilitar o processo, já antecipado em alguns estados e impulsionado e sustentado pelo Governo Federal, de privatização das 27 Companhias de Águas e Esgotos dos Estados e do Distrito Federal visando atender ao Memorando de Política Econômica firmado em 1999 com o FMI (MORAES; BORJA, 2001).

Em 1995, o governo federal, na busca de uma maior regulação dos serviços públicos concedidos, institui a Lei nº 8.987, que dispõe sobre o regime de concessão e permissão da prestação de serviços públicos previstos no art. 175 da Constituição Federal de 1988.

Além das iniciativas no campo legal, o governo do Presidente FHC adotou diversas medidas para restringir o acesso aos recursos públicos pelas Companhias Estaduais e serviços municipais e, por outro lado, passou a ampliar o acesso à iniciativa privada (MORAES; BORJA, 2001).

Outra iniciativa do Governo Federal, via Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), foi dar início ao processo de privatização das Companhia Espírito Santense de Saneamento (Cesan), Companhia Pernambucana de Saneamento (Compesa) e Empresa Baiana de Águas e Saneamento (Embasa). Em setembro de 1999, o Governo de Pernambuco assinou Contrato de Promessa de Compra e Venda de Ações da Compesa com a Caixa Econômica Federal (Caixa) e, em dezembro do mesmo ano, o Governo da Bahia firmou contrato similar visando à privatização da Embasa. No entanto, esse processo não logrou êxito, tanto pela fragilidade da modelagem de compra e venda das empresas, como pela falta de um marco legal e regulatório e também pela pressão da sociedade civil, que se colocou contrária à privatização.

No governo do presidente Luiz Inácio Lula da Silva a área de saneamento passa a ser ligada ao Ministério das Cidades, no âmbito da Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Além da retomada dos investimentos na área, a equipe de governo elabora um projeto de lei para a instituição de uma política nacional de saneamento. Após discussões com a sociedade e aprovação pelos Conselhos das Cidades e da Saú-

de, o Projeto de Lei é apresentado pelo Executivo federal à Câmara dos Deputados, passando a ser denominado de PL nº 5.296/2005. O Projeto, após sua tramitação no Congresso Nacional, foi apensado a outros que também tinham o objetivo de regular a área de saneamento no País. Em julho de 2006 foi aprovado pelo Senado Federal, após acordo entre a Comissão Parlamentar Mista e o governo federal, o Projeto de Lei nº 219/2006 que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. Em 5 de janeiro de 2007, o Presidente Luiz Inácio Lula da Silva sanciona a Lei Nacional de Saneamento Básico, Lei nº 11.445/2007, que estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico e a Política Federal de Saneamento Básico (BRASIL, 2007), instituindo, assim, o marco legal da área de saneamento básico do Brasil. Aliada a essas iniciativas, foram aprovadas no Congresso Nacional três outros importantes instrumentos legais, a Lei nº 11.079/2004 que institui normas gerais para licitação e contratação de parceria público-privada no âmbito da Administração Pública (BRASIL, 2004), a Lei nº 11.107/2005, que dispõe sobre normas gerais de contratação de consórcios públicos (BRASIL, 2005) e a Lei nº 12.305/2010 que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010).

É no bojo desse processo que emergem no Brasil diversas experiências de gestão dos serviços públicos de saneamento básico. Segundo dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), em 2004, 73,3% da população brasileira possuíam serviços públicos de água e esgoto prestados por sociedades de economia mista da Administração Pública, por meio de 29 empresas; 6,1%, da população eram atendidos por sociedades de economia mista; 14,5% por autarquias (213 em todo o Brasil); 0,5% por empresa pública; 1,3% por administração direta; e 4,2% por empresas privadas.

Com a instituição da lei de concessão dos serviços públicos e da lei dos consórcios públicos, outras formas de gestão, instituições e instâncias de participação têm emergido no Brasil, como as Agências Reguladoras de Serviços de Saneamento Básico do Município de Natal e de Joinville, além de agências estaduais; o Conselho Municipal de Gestão e Saneamento Ambiental de Santo André/SP; o Conselho Municipal de Saneamento Ambiental de Alagoinhas/BA; e o Consórcio Regional de Saneamento Ambiental do Sul do Piauí (Coresa), o Consórcio Público Intermunicipal de Saneamento Ambiental do Vale do Rio Sinos no Rio Grande do Sul, os Consórcios Intermunicipais de Saneamento Ambiental/Região Norte e Região Sul de Santa Catarina, o Consórcio Intermunicipal de Serviços Municipais de Água e Esgoto do Paraná, dentre outros.

Esses antigos e novos arranjos institucionais e de gestão ainda não foram objeto de reflexão quanto aos seus limites e possibilidades para a reversão do quadro de saneamento básico do País.

Assim, a presente pesquisa, realizada em 2009-2010, se mostrou relevante em face da parca literatura brasileira que aborde a questão dos diferentes modelos de gestão dos serviços públicos de saneamento básico no Brasil, vindo então a contribuir para uma reflexão sobre essa temática tão relevante para a alteração do quadro sanitário do País. Ela pretende, no âmbito de suas limitações, promover uma análise dos diversos modelos de gestão dos serviços públicos de saneamento básico no País, à luz da literatura e de pesquisa empírica, com geração de dados primários e a partir de dados secundários coletados junto ao Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) de 2007 e à Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB) de 2008.

Após uma análise dos princípios da política pública de saneamento básico no Brasil, contemplando seus pressupostos históricos e conteúdos, em que o saneamento básico, entendido como abastecimento de água, esgotamento sanitário, manejo de águas pluviais e de resíduos sólidos, é considerado como uma ação coletiva, devendo constituir-se em uma meta social, sendo a natureza de suas ações de cunho social e não apenas de infraestrutura e que o esforço para a sua promoção deve se dar em vários níveis, envolvendo a sociedade e o Estado (BORJA, 2004; BORJA; MORAES, 2006), foi também realizada uma revisão bibliográfica sobre o conteúdo da gestão dos serviços públicos de saneamento básico, incluindo as funções de planejamento, regulação, prestação dos serviços e fiscalização, com o controle social transversal a todas elas, como estabelecido pelas Leis nº 11.107/2005 e nº 11.445/2007 (Figura 1).



Figura 1 – Gestão dos Serviços Públicos de Saneamento Básico

Porém, devido à limitação de páginas, foi dada prioridade, no presente Resumo Executivo, à apresentação dos resultados apenas do estudo empírico, de base de dados primários, sobre a gestão dos serviços públicos de saneamento básico, a partir de pesquisa realizada em uma amostra de municípios do País, de até 50.000 habitantes.

2. Objetivos

Estudar os diferentes modelos de gestão dos serviços públicos de saneamento básico no Brasil, identificando seus limites e possibilidades.

2.1 Objetivos específicos

- Realizar revisão crítica da literatura sobre gestão dos serviços públicos de saneamento básico, em aspectos relacionados à sua natureza; diretrizes; conceitos, princípios norteadores, campo de ação; práticas institucionais, gerenciais, operacionais, legais e financeiras adotadas, contextos socioculturais e institucionais onde são adotadas; e a conteúdos das políticas públicas, envolvendo os modelos de concessão a companhias estaduais, serviços municipais operados por autarquias e serviços municipais com administração direta, dentre outros.
- Realizar estudo empírico, de base de dados primários, sobre a gestão de serviços públicos de saneamento básico no Brasil, a partir da pesquisa realizada em uma amostra representativa de municípios de até 50.000 habitantes.
- Realizar estudo empírico, de base de dados secundários, sobre os diferentes modelos de gestão da prestação dos serviços públicos de saneamento básico no Brasil, a partir da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico e do Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento, envolvendo os modelos de concessão a companhias estaduais e empresas privadas, como os serviços municipais prestados por autarquias e por órgão da administração direta, dentre outros.
- Desenvolver estudo empírico, de cunho qualitativo, junto a gestores, prestadores de serviços e organizações da sociedade civil relacionado à participação e controle social de serviços públicos de saneamento básico.
- Identificar limites e possibilidades dos diferentes modelos de gestão dos serviços públicos de saneamento básico no Brasil.

3. Metodologia

3.1 Considerações iniciais

O presente estudo se insere no campo disciplinar da avaliação de políticas públicas, uma vez que se pretende realizar uma análise sobre a efetividade dos modelos de gestão dos serviços públicos de saneamento básico, ou seja, identificar os limites e possibilidades de os modelos de gestão de se aproximarem dos princípios de uma política pública de saneamento básico, os quais estão relacionados aos ideais de igualdade e justiça social preconizados pela Constituição da República Federativa do Brasil.

A pesquisa envolveu os seguintes estudos:

- 1) Pesquisa bibliográfica.
- 2) Pesquisa empírica, de cunho quantitativo, realizada a partir de dados secundários coletados junto à Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008 (IBGE, 2010) e ao Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento 2007 (BRASIL, 2009a, 2009b).
- 3) Pesquisa empírica, de cunho quantitativo, realizada junto a uma amostra de municípios de até 50.000 habitantes.
- 4) Estudo empírico, de cunho qualitativo, junto a gestores, prestadores de serviços públicos de abastecimento de água e de esgotamento sanitário e organizações da sociedade civil sobre os serviços prestados.

3.2 Campos de análise

A avaliação dos modelos de gestão se dará, a priori, a partir de três campos e doze componentes de análises: institucional, social e salubridade ambiental (Quadro 1). Tais campos de análise deverão atender aos seguintes aspectos.

Selecionados esses três aspectos – ou, como se estará aqui denominando, campos de análise, foram definidos, ainda, os seguintes enfoques para cada um desses campos:

- **Institucional:** ações que incorporam os seguintes enfoques básicos: o gerencial (manutenção; regularidade, continuidade, qualidade da prestação dos serviços, etc.); e o financeiro, envolvendo os aspectos e situação financeira do prestador do serviço, a existência de planos de ação e investimento, estrutura tarifária, etc.
- **Social:** igualdade no acesso e na qualidade do serviço, modicidade da tarifa, ações que promovam a educação sanitária e ambiental, participação, etc.
- **Salubridade ambiental:** ações envolvendo o acesso e qualidade da prestação do serviço de abastecimento de água, esgotamento sanitário, drenagem e manejo de águas pluviais e limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos.

Campo	Componente
Institucional	Técnico-gerencial, operacional, financeira, instrumentos de planejamento
Social	Tarifa, desigualdade no acesso e qualidade dos serviços, participação e controle social, educação sanitária e ambiental
Salubridade	Abastecimento de água, esgotamento sanitário, drenagem e manejo de águas pluviais, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos

Quadro 1 – Campos e Componentes de Análise

3.3 Técnicas de pesquisa

3.3.1 Pesquisa bibliográfica

Revisão da literatura, nacional e internacional, que permita realizar uma análise crítica dos diversos modelos de gestão presentes no País, a fim de construir um marco teórico sobre gestão dos serviços de saneamento e estabelecer metodologia de avaliação da efetividade, eficácia e eficiência dos serviços, a exemplo dos modelos de concessão dos serviços às companhias estaduais, serviços municipais operados por autarquias e serviços municipais com administração direta, dentre outros.

3.3.2 Pesquisa empírica, de base amostral, de cunho quantitativo, com dados primários

O desenvolvimento dessa pesquisa contou com as seguintes etapas:

Seleção da amostra

Para a seleção da amostra no universo dos prestadores de serviços de água e esgoto, foi construído um banco utilizando informações do SNIS, da Assemae e da Abcon. Apenas os municípios com população menor que 50.000 habitantes entraram na seleção, pois além de representarem 89,15% do total dos municípios brasileiros, a atuação da Funasa em saneamento é voltada para municípios com esse porte populacional.

Para essa seleção, foi utilizada a técnica de amostragem aleatória estratificada.

A amostra estratificada é obtida separando-se as unidades da população (número de municípios) em grupos não superpostos, ou seja, independentes, chamados estratos. Para o alcance dos objetivos propostos, dividiu-se o banco em quatro estratos, adotando-se como base os tipos de prestação dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário por: administração direta municipal (AD), administração indireta municipal (AI), companhia estadual de economia mista (CIA) e empresa privada (Privado).

Selecionou-se uma amostra aleatória simples de cada estrato proporcionalmente, cujo processo para encontrar o tamanho amostral é:

$N \rightarrow N^\circ$ de unidades da população

$n \rightarrow N^\circ$ de unidades das amostras

$N_a \rightarrow N^\circ$ de unidades do estrato A

$n_a \rightarrow N^\circ$ de amostras de A

$$\frac{N_a}{N} = \frac{n_a}{n} \rightarrow n_a = \frac{n}{N} \cdot N_a$$

Considerando um grau de confiança de 95% de forma a estimar essa proporção de cobertura de rede de esgoto e de rede de água com um erro máximo em torno de 4% a 6%. Além disso, um adicional de 15% foi utilizado para representar as perdas por não resposta ao questionário enviado. A Tabela 1 contém três opções para o tamanho amostral.

Tabela 1 – Tamanho da amostra, segundo o seu erro de estimação e tipo de prestador de serviço

Estratos	Tamanho populacional do estrato	(a) Tamanho amostral com erro máximo de estimação de 2% (adicional de 15%)	(b) Tamanho amostral com erro máximo de estimação de 4% (adicional de 15%)	(c) Tamanho amostral com erro máximo de estimação de 6% (adicional de 15%)
AD	470	166 (191)	56 (64)	27 (31)
AI	386	136 (156)	46 (53)	22 (25)
CIA	3.463	1.221 (1.404)	415 (477)	196 (225)
PRIVADA	34	12 (14)	4 (5)	2 (2)
TOTAL	4.357	1.535 (1.765)	521 (599)	247 (283)

Na primeira seleção, considerou-se um excedente de 15% com um erro estimado de 2%, que totalizou uma amostra de 1.765 municípios.

Com a dificuldade na obtenção do retorno dos questionários encaminhados aos 1.765 municípios, foi refeita a amostra aleatória sem adição desse excedente e chegou-se ao tamanho amostral de 521 municípios (com um erro máximo de estimação de 4%), sendo o questionário enviado de novo para 450 municípios e, como a dificuldade persistiu, calculou-se o tamanho amostral de 247 municípios (com um erro máximo de estimação de 6%).

Elaboração de questionários fechados

Na elaboração dos questionários foram consideradas variáveis relacionadas às funções de gestão: planejamento, prestação, fiscalização, regulação e controle social.

Para cada uma dessas funções, foram elaboradas questões que dão apoio à investigação da gestão dos serviços públicos de saneamento básico nos municípios selecionados. Assim, foi possível identificar os instrumentos de planejamento, a existência de entidades reguladoras e fiscalizadoras, os prestadores de serviços, além de obter informações sobre as instâncias de participação e controle social, dentre outras informações que não existem nos bancos de dados.

No questionário foram considerados os quatro componentes do saneamento básico: abastecimento de água, esgotamento sanitário, drenagem urbana e manejo de águas pluviais e limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos.

Coleta de dados

Os questionários foram encaminhados a 1.765 municípios (primeira amostra). Junto ao questionário seguiu o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, que tem como objetivo atender a Resolução no 196/1996 do Conselho Nacional da Saúde (BRASIL, 1996) e um ofício da Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental do Ministério das Cidades em apoio à pesquisa. Para os municípios que o questionário foi enviado pela segunda vez seguiu junto também um ofício do diretor do Departamento de Saúde Pública da Funasa.

Análise estatística dos dados coletados

Após a análise de consistência dos questionários recebidos, os mesmos foram digitados em planilha Excel e posteriormente analisados com o uso do programa Stata.

4. Resultados alcançados frente aos objetivos propostos e discussão

4.1 A gestão dos serviços públicos de saneamento básico no Brasil, segundo pesquisa com geração de dados primários

A pesquisa foi realizada junto a uma amostra de municípios com população de até 50.000 habitantes, conforme metodologia apresentada no item 3.3.2, resultando em 295 municípios que responderam ao questionário enviado, distribuídos nas macrorregiões brasileiras como apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 – Número de municípios pesquisados com população de até 50.000 habitantes, segundo macrorregião

Região	n	%
Centro-Oeste	22	7,46
Nordeste	81	27,46
Norte	16	5,42
Sudeste	93	31,53
Sul	83	28,13
Total	295	100,00

4.1.1 Entendimento sobre o conceito de saneamento básico e das competências institucionais

A investigação junto aos municípios sobre gestão dos serviços de saneamento básico buscou inicialmente estudar o entendimento dos informantes sobre o conceito de saneamento básico. Os dados revelaram que a grande maioria (73,1%) declarou considerar o saneamento básico como sendo as ações de abastecimento de água, esgotamento sanitário, drenagem das águas pluviais e resíduos sólidos (Figura 3). No entanto, uma parcela importante, 27,0%, omitiu algum componente do saneamento básico. Esses dados revelam que o entendimento do conceito de saneamento básico constante da Lei Nacional de Saneamento Básico ainda merece disseminação, embora também indique uma superação da noção que prevaleceu na época do Planasa, a qual limitou o conceito para as ações de abastecimento de água e esgotamento sanitário.

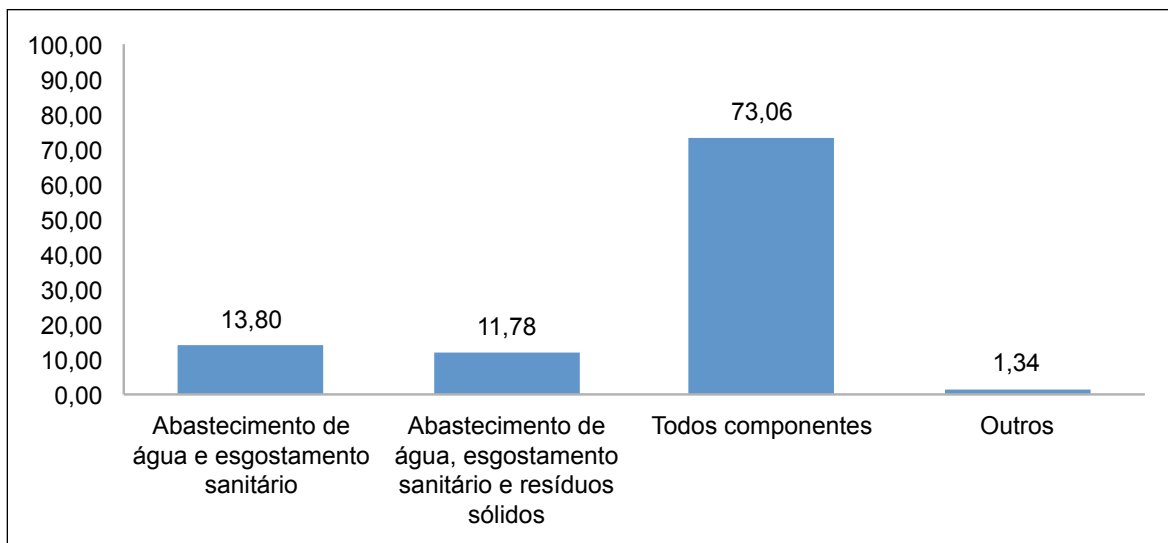


Figura 3 – Entendimento dos informantes sobre o conceito de saneamento básico (n = 294), 2010

A falta de entendimento do conceito de saneamento de básico implica dificuldades para os titulares dos serviços passarem a exercer as suas competências nessa área, com consequências para os processos de planejamento.

O entendimento dos informantes quanto aos objetivos do saneamento básico incorpora a noção de que essa ação está voltada tanto para a prevenção de doenças como para a proteção do meio ambiente ou da salubridade ambiental (Figura 4).

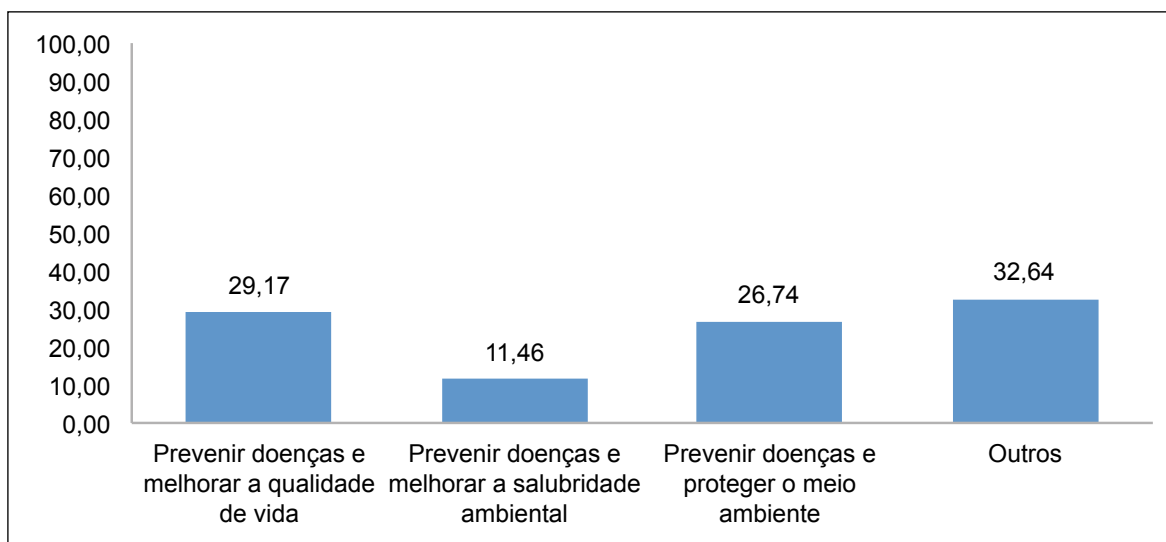


Figura 4 – Entendimento dos informantes quanto aos objetivos do saneamento básico (n=288), 2010

Apesar desse entendimento, a prática da integração entre os diferentes órgãos, tão necessária à promoção do saneamento básico, ainda deve ser alvo de atenção nos municípios pesquisados. Segundo 59,0% dos informantes, a integração ainda não é feita e 23,9% revelaram que existem reuniões periódicas para tal esforço (Figura 5).

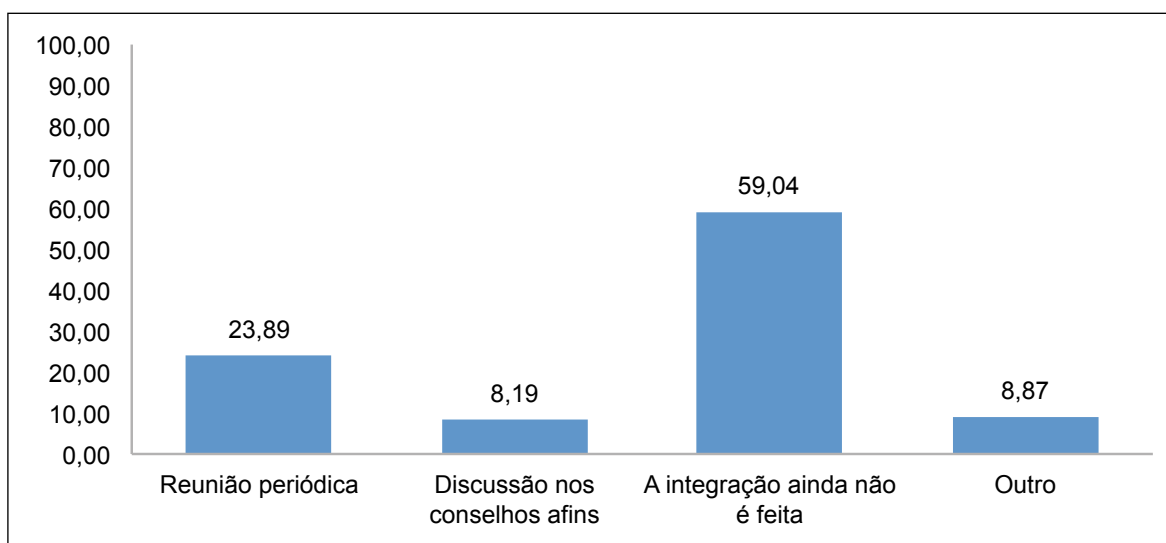


Figura 5 – Informação sobre a prática da integração entre os órgãos, em percentual de municípios (n=293), 2010

Ao se questionar aos informantes sobre a instituição que deveria prestar os serviços públicos de saneamento básico, apenas 43,8% indicaram o município, sendo que 25,2% acreditam que essa responsabilidade deveria ser do estado ou da federação e 12,8% de empresas privadas (Figura 6). Assim, o caráter público das ações e a competência municipal quanto à prestação dos serviços são aspectos susceptíveis a entendimentos diferentes.

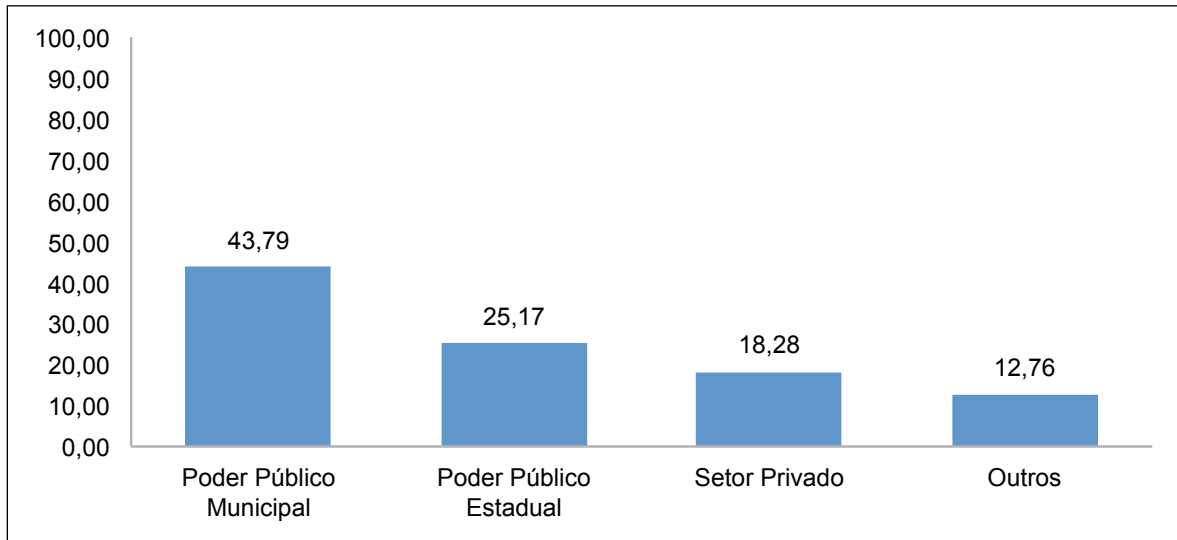


Figura 6 – Opinião quanto ao tipo de instituição que deve ser responsável pela prestação dos serviços de saneamento básico, em percentual de municípios (n=290), 2010

4.1.2 Planejamento das ações

De acordo com a Lei Nacional de Saneamento Básico (BRASIL, 2007), os titulares dos serviços devem formular suas políticas públicas de saneamento básico. Nos municípios pesquisados, apenas 28,8% informaram dispor de tal política e 26,7% declararam estar em formulação. Não se verificou diferenças significativas desse indicador entre as macrorregiões, embora a Região Norte tenha apresentado o menor percentual de municípios que contam com a referida política (Figura 7).

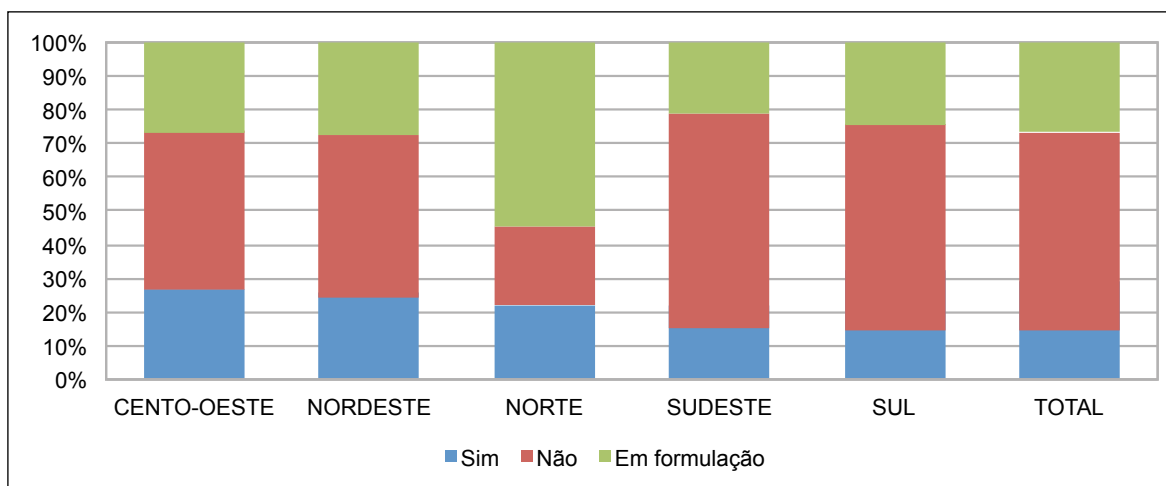


Figura 7 – Proporção de municípios que dispõem de política pública de saneamento básico, segundo regiões brasileiras (n=292), 2010

Dentre os 84 municípios onde se informou que havia a política pública de saneamento básico, apenas 11 especificaram o tipo de instrumento utilizado. Nessas declarações constata-se que algumas não podem ser consideradas políticas municipais, a exemplo da Lei Nacional de Saneamento Básico, contrato de concessão ou normas/leis estaduais e plano diretor, código de obras ou de postura. Esses dados indicam que o percentual de municípios que, de fato, contam com uma política pública para a área é um pouco menor do que o declarado (Tabela 3).

Tabela 3 – Tipo de instrumento declarado da Política Pública de Saneamento, em percentual de municípios (n=11), 2010

Tipo de instrumento da política	n	%
Contrato de concessão ou normas/leis estaduais	1	9,09
Lei Nacional de Saneamento Básico	3	27,27
Lei, decreto ou resolução sem especificação clara	4	36,36
Lei, decreto ou resolução com especificação clara	2	18,18
Plano Diretor, código de obras ou de postura	1	9,09
Total	11	100,00

Entre os municípios pesquisados poucos são os que dispõem de Plano de Saneamento Básico (cerca de 18,3%). Considerando as macrorregiões brasileiras, não

existem diferenças significativas da proporção de municípios com tais planos, sendo que esse indicador varia de 14% na Região Nordeste a 24% na Região Sul (Figura 8).

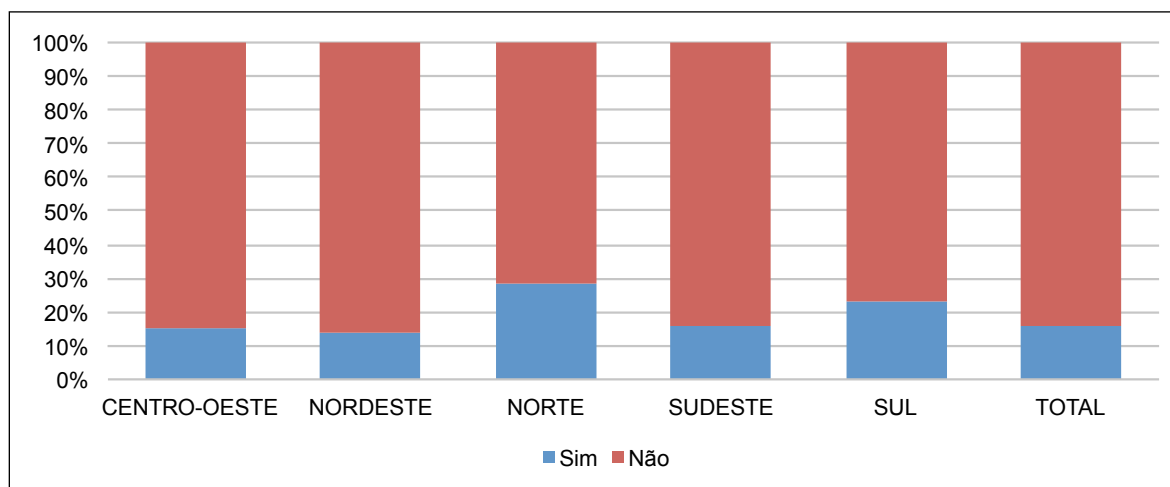


Figura 8 – Proporção de municípios com Planos de Saneamento Básico (n=290), 2010

Os dados sugerem que há uma relação entre a existência de Plano de Saneamento Básico e a presença de instância de planejamento dos serviços. Dentre os municípios que declararam possuir Plano, 46% tinham instância de planejamento (Tabela 5). Os dados também indicam uma forte relação entre a existência desse instrumento de planejamento e a presença de instância de discussão das questões de saneamento nos municípios estudados. 74,51% dos municípios que informaram dispor de plano também registraram contar com instância de discussão (Tabela 4), havendo uma diferença significativa ($p < 0,05$) com os que não tem.

Tabela 4 – Existência de Plano de Saneamento e instância de discussão das questões de saneamento básico, em percentual de municípios (n=278), 2010

Existência de Plano	Instância de discussão das questões de saneamento básico					
	Sim		Não		Total	
	n	%	n	%	n	%
Sim	38	74,51	13	25,49	51	100,00
Não	108	47,58	119	52,42	227	100,00
Total	146	52,52	132	47,48	278	100,00

Pearson $\chi^2 = 12,1136$, $p = 0,001$.

A existência de Plano parece estimular a elaboração de projetos relacionados ao saneamento básico, 80,77% dos municípios que possuíam plano também dispunham de programas ou projetos (Tabela 6).

Tabela 5 – Existência de Plano de Saneamento Básico e de Instância de Planejamento dos Serviços, em percentual de municípios (n=281), 2010

Existência de Plano	Existência de instância de planejamento dos serviços					
	Sim		Não		Total	
	n	%	n	%	n	%
Sim	23	46,00	27	54,00	50	100,00
Não	39	16,88	192	83,12	231	100,00
Total	62	22,06	219	77,94	281	100,00

Pearson $\chi^2 = 20,2648$ p = 0,000.

Tabela 6 – Existência de Plano de Saneamento Básico e de programas ou projetos para a área, em percentual de municípios (n=278), 2010

Existência de Plano	Existem projetos e vinculado ao Plano		Existem projetos e não vinculado ao Plano		Não existe		Total	
	n	%	n	%	n	%	n	%
Sim	42	80,77	6	11,54	4	7,69	52	100,00
Não	21	9,29	95	42,04	110	48,67	226	100,00
Total	63	22,66	101	36,33	114	41,01	278	100,00

Fisher's exact = 0,000.

Dentre os municípios que declararam possuir Plano de Saneamento Básico a maior parte (75,5%) tem seus serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário prestados por Companhias Estaduais de Água e Esgoto (Tabela 7). Apesar desse percentual, não se verificou diferenças significativas entre os diferentes tipos de prestadores e a existência ou não de plano (teste de qui-quadrado de Pearson, com $p > 0,05$).

Tabela 7 – Existência de Plano de Saneamento Básico, segundo tipo de prestador dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário, em percentual de municípios (n=285), 2010

Existência de Plano	Companhia Estadual		Administração Direta		Autarquia Municipal		Empresa Privada		Total	
	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
Sim	40	75,47	5	9,43	3	5,66	5	9,43	53	100,00
Não	157	67,67	38	16,38	25	10,78	12	5,17	232	100,00
Total	197	69,12	43	15,09	28	9,82	17	5,96	285	100,00

Pearson $\chi^2 = 4,2218$, $p = 0,238$.

4.1.3 Regulação e Fiscalização

A regulação e fiscalização dos serviços é competência do titular que pode delegar essa atribuição a outro ente, desde que sejam definidos os procedimentos a serem atendidos, principalmente quanto às normas técnicas, sociais, econômicas e financeiras da prestação dos serviços e satisfação dos usuários.

Segundo informações dos participantes da pesquisa, cerca de 44,0% dos municípios estudados dispunham de entidade reguladora (Figura 9). No entanto, ao se verificar a indicação da entidade reguladora, constata-se que os informantes não conhecem a definição da atividade de regulação, uma vez que 51,9% desses informaram que o ente regulador era o prestador dos serviços. Além disso, 11,63% informaram que essa função de gestão era realizada pela Vigilância Sanitária e/ou Ambiental. Apenas 7,75% informaram que essa atividade era realizada por agências e 6,98% pela Prefeitura (Tabela 8).

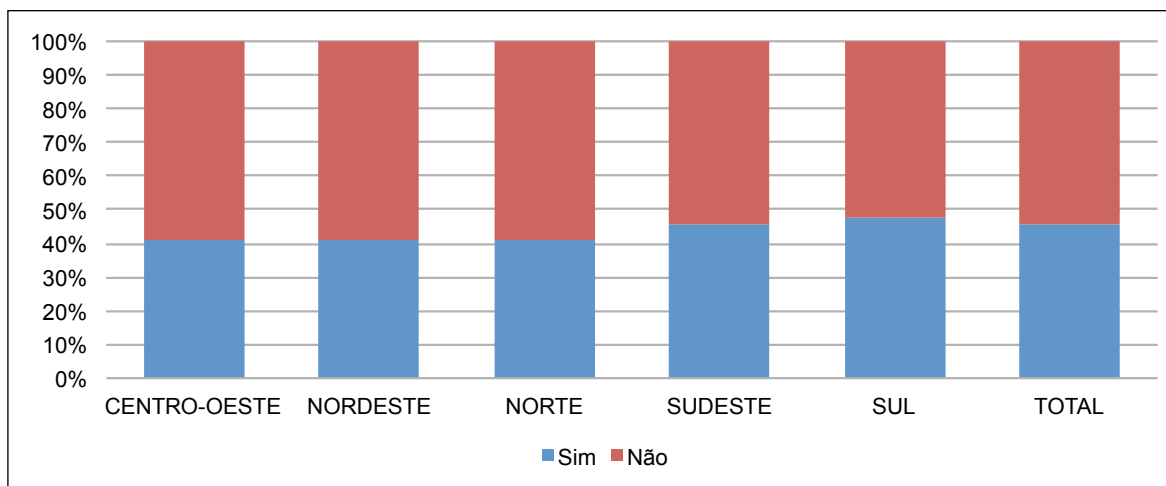


Figura 9 – Proporção de municípios que dispõem de entidade reguladora, segundo declaração dos informantes e macrorregião (n=293), 2010

Tabela 8 – Tipo de ente regulador, segundo a declaração dos informantes, em percentual de municípios (n=129), 2010

Tipo de ente regulador	n	%
Prestador	67	51,94
Vigilância sanitária e/ou ambiental	15	11,63
Agência	10	7,75
Prefeitura	9	6,98
Outro	7	5,43
Cetesb	3	2,33
Comissão/Conselho	2	1,55
Feam	2	1,55
Idema	2	1,55
Ministério Público	2	1,55
Não informou	10	7,75
Total	129	100,00

O entendimento da atividade de fiscalização também é um problema identificado na pesquisa. Segundo os informantes, cerca de 37,7% (n=109) dos municípios possuíam entidade fiscalizadora dos serviços de saneamento básico. Para 33,94%

dos informantes a entidade fiscalizadora é realizada pela Vigilância Sanitária e/ou Ambiental, 16,51% indicaram o próprio prestador dos serviços. Ocorreram também indicações de órgãos estaduais e federais como os responsáveis por essa atividade (Tabela 9).

Tabela 9 – Tipo de ente fiscalizador, segundo os informantes da pesquisa, em percentual de municípios (n=109), 2010

Tipo de ente fiscalizador	n	%
Vigilância sanitária/ambiental	37	33,94
Prestador	18	16,51
Prefeitura	13	11,93
Agência	8	7,34
IEF-IGAM-FEAM	5	4,59
Outro	5	4,59
Conselho/Comissão	4	3,67
Cetesb	3	2,75
Prestador e Prefeitura	3	2,75
Ministério Público	2	1,83
Iap	1	0,92
Ibama	1	0,92
Idema	1	0,92
Ministério Público e Prefeitura	1	0,92
Não informou	7	6,42
Total	109	100,00

Obviamente que o desconhecimento por parte dos técnicos dos titulares dos serviços sobre os conceitos de planejamento, regulação, fiscalização e prestação dos serviços implicam dificuldades para o exercício da titularidade municipal, indicando a necessidade premente da promoção, por parte do Governo Federal, de programas e projetos que visem capacitar os municípios a assumir as suas competências quanto à área de saneamento básico, agora reforçadas com a Lei nº 11.445/2007 (BRASIL, 2007).

De acordo com a Lei Nacional de Saneamento Básico todas as funções de gestão dos serviços devem contar com a participação e controle social. Nos municípios estudados essa condição ainda não é uma realidade. Segundo os informantes, apenas 18,1% (n=51) dos municípios dispunham de instância de controle social da regulação e 19,5% (n=54) da fiscalização dos serviços. A análise dos dados da Tabela 10 revela que em cerca de 56,0% dos municípios a participação e o controle social da regulação e fiscalização ocorrem em Conselhos Municipais. Uma parcela dos informantes declarou que a regulação e fiscalização eram realizadas pela Câmara Municipal e por órgão ou secretaria municipal, indicando o desconhecimento das instâncias apropriadas e legítimas para o exercício do controle social das políticas públicas de saneamento básico, definidas, inclusive, pela referida Lei. Os dados revelam o grande vácuo existente para a promoção do controle social das ações municipais no campo do saneamento básico.

Tabela 10 – Tipo de instância de participação e controle social nas atividades de regulação e fiscalização dos serviços, em percentual de municípios, 2010

Tipo de instância de participação	Regulação		Fiscalização	
	n	%	n	%
Conferência	1	1,96	0	-
Conselho	30	58,82	29	53,70
Câmara de Vereadores	4	7,84	6	11,11
Não respondeu	5	9,80	4	7,41
Outro	5	9,80	6	11,11
Órgão/Secretaria da Prefeitura	6	11,76	9	16,67
Total	51	100,00	54	100,00

Segundo os informantes, cerca de 21% dos municípios contam com um órgão que recebe e processa reclamações sobre os serviços públicos de saneamento básico (Figura 10). A maior parte das reclamações é recebida por telefone. Os dados revelam que ainda existe a necessidade da ampliação dos mecanismos de comunicação social, abrindo espaço para o exercício cidadania.

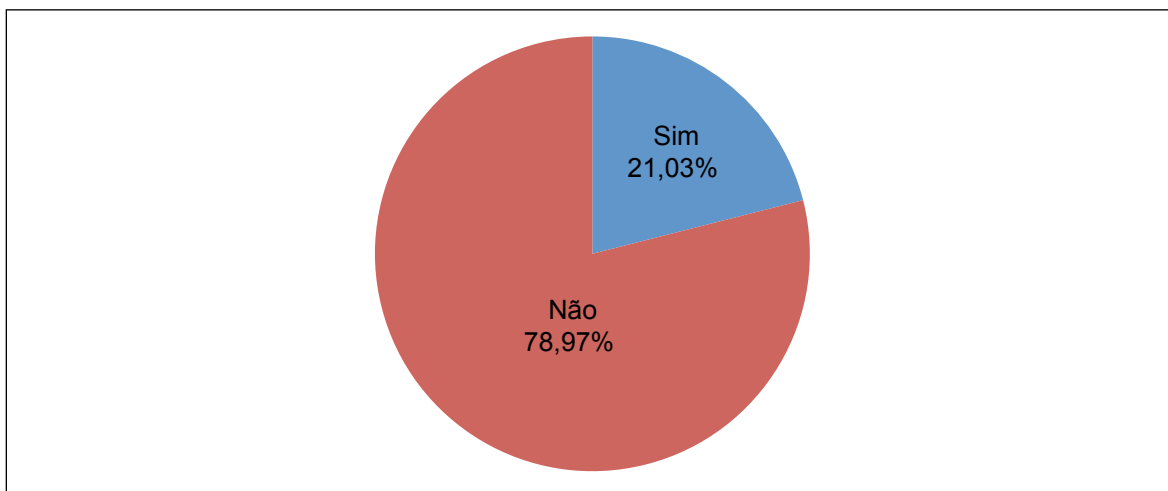


Figura 10 – Existência de ouvidoria na área de saneamento básico, em percentual de municípios (n=290), 2010

4.1.4 Prestação dos serviços

4.1.4.1 Serviços de abastecimento de água e de esgotamento sanitário

A prestação dos serviços de abastecimento de água e de esgotamento sanitário é uma competência municipal definida na Constituição Federal em seu art. 30. O município, no entanto, pode delegar a prestação dos serviços a outro ente por meio de um contrato de programa, no caso de um ente público, ou por meio de um contrato de concessão, no caso da contratação de uma empresa privada.

De acordo com os dados levantados e segundo os informantes, em cerca de 68,5% dos municípios a prestação dos serviços de água e esgoto ocorre via Companhia Estadual de Água e Esgoto; em 24,1% os municípios responsabilizam-se por essa prestação, sendo que em 14,6% ocorre por meio da administração direta e 9,5% por meio de autarquia municipal. Para os informantes em cerca de 5,8% dos municípios os serviços são prestados por empresas privadas. As Companhias aparecem como o maior prestador dos serviços em todas as regiões brasileiras, com destaque para a Região Sul (77,1% dos municípios). A Região Sudeste aparece com o maior percentual de municípios onde essa prestação é de responsabilidade do município. As Regiões Norte e Nordeste apresentam a maior proporção com prestação via empresas privadas, com, aproximadamente, 9,0% (Figura 11).

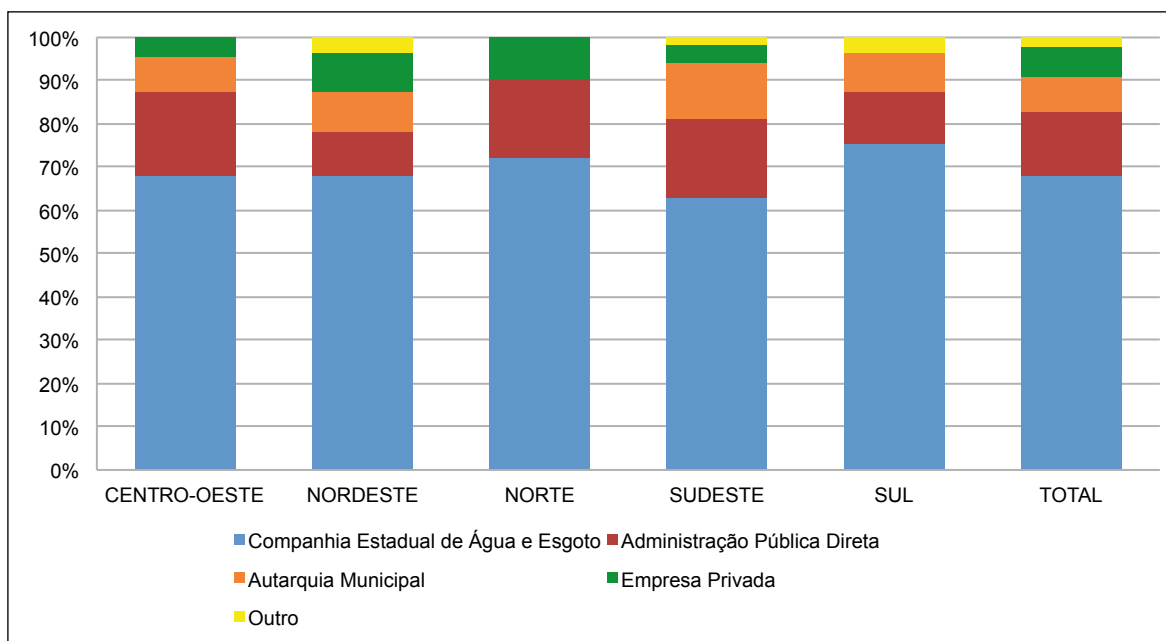


Figura 11 – Tipo de prestador dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário, em percentual de municípios (n=295), 2010

Segundo os informantes, dentre os municípios que delegaram a prestação dos serviços, cerca de 70,7% dispunham de contratos, sendo que apenas 40,2% contam com o acompanhamento por parte da prefeitura municipal (Figuras 12 e 13). Esses dados indicam as dificuldades dos municípios de exercerem a titularidade dos serviços, por meio do devido acompanhamento dos contratos de delegação dos serviços, atividade que com a Lei Nacional de Saneamento Básico ficou mais explícita e discriminada. Essas dificuldades têm vínculos com carência de pessoal técnico capacitado e, principalmente, com a cultura das administrações municipais que ao longo de décadas transferiram as responsabilidades da prestação dos serviços aos prestadores, herança herdada do período do Planasa que necessita ser superada.

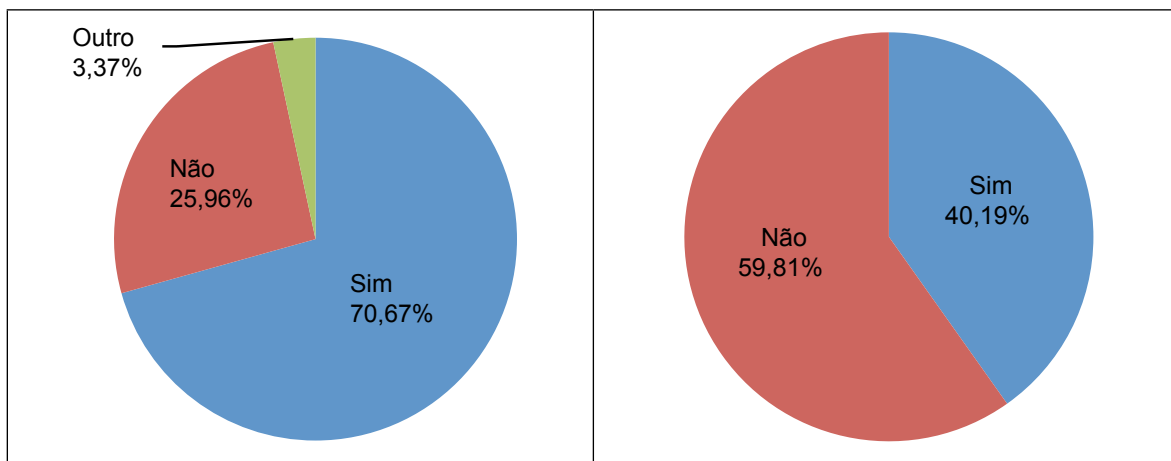


Figura 12 – Existência de contrato para a prestação dos serviços, segundo os informantes, em percentual de municípios (n=208), 2010

Figura 13 – Existência de acompanhamento do contrato para a prestação dos serviços, segundo os informantes, em percentual de municípios (n=209), 2010

Os estudos sobre a prestação dos serviços têm buscado elementos para avaliar a qualidade dos serviços por meio de diversos indicadores como os índices de perdas de água, pessoal técnico disponível, qualidade da água fornecida, regularidade no fornecimento, dentre outros.

Os índices de perdas de água têm sido um importante indicador para avaliar a eficácia e eficiência da prestação dos serviços. Também a existência de atividades de controle de perdas de água é um parâmetro importante para analisar os esforços dos prestadores para enfrentar os altos níveis de perdas nos sistemas de abastecimento de água. Na presente pesquisa, de acordo com os informantes, apenas 26,6% dos municípios estudados realizam conjuntamente atividades de controle de vazamentos, micro e macromedição e capacitam seus técnicos; cerca de 20,0% não contam com programa/projetos para controle de perdas e 17,8% realizam apenas o controle de vazamentos (Figura 14).

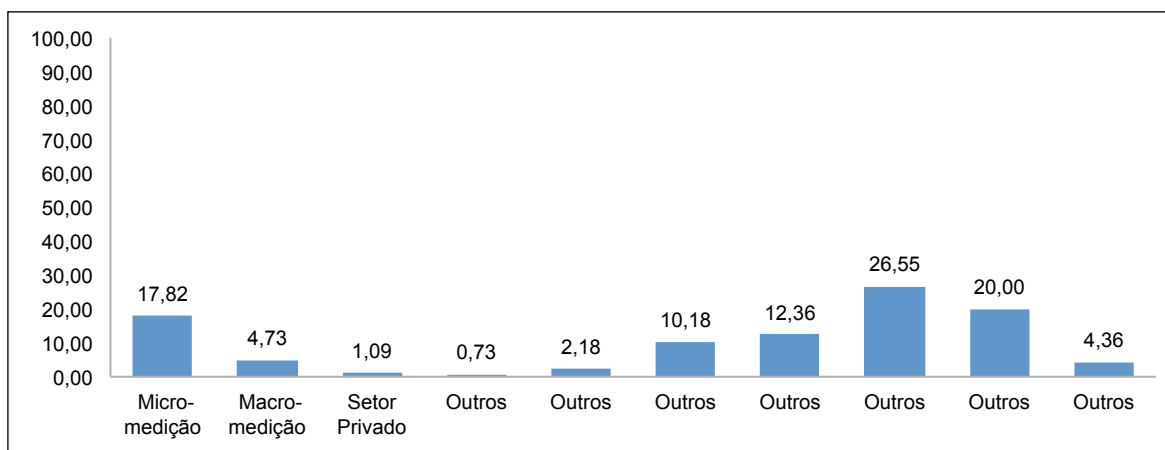


Figura 14 – Percentual de municípios cujos prestadores dos serviços realizam atividades de controle de desperdício de água (n=275), 2010

Com exceção das administrações diretas, de acordo com os dados, os prestadores dos serviços priorizam a realização de mais de uma atividade para o controle de perdas de água em seus sistemas de abastecimento. No entanto, avaliando os tipos de atividades realizadas em relação ao tipo de prestador por meio do teste de qui-quadrado de Fisher, foram observadas diferenças significativas de abordagens ($p < 0,05$). Na Tabela 11 pode-se verificar que as autarquias municipais apresentam o menor percentual dentre os municípios que não realizam ações de controle de perdas (dois municípios).

Tabela 11 – Tipo de prestador e desenvolvimento de atividade de controle de perdas de água (n=270), 2010

Tipo de prestador	Mais de uma atividade de controle		Apenas uma atividade de controle		Não tem/ outro*		Total	
	n	%	n	%	n	%	n	%
Empresa Privada	9	64,29	1	7,14	4	28,57	14	100,00
Companhia Estadual de Água e Esgoto	99	52,66	48	25,53	41	21,81	188	100,00
Autarquia Municipal	15	53,57	11	39,29	2**	7,14	28	100,00
Administração Pública Direta	13	32,50	12	30,00	15	37,50	40	100,00
Total	136	50,37	72	26,67	62	22,96	270	100,00

Fisher's exact = 0,019.

(*) Com a recategorização da variável algumas observações migraram para nova categoria.

(**) Os dois são da categoria não tem.

Outro importante indicador da qualidade da prestação dos serviços é a regularidade no fornecimento de água. No presente estudo, de acordo com os informantes, a regularidade do serviço de água foi considerada entre ótima e boa em 59,5% dos municípios, sendo que em 10,7% foi avaliada como ruim (Figura 15).

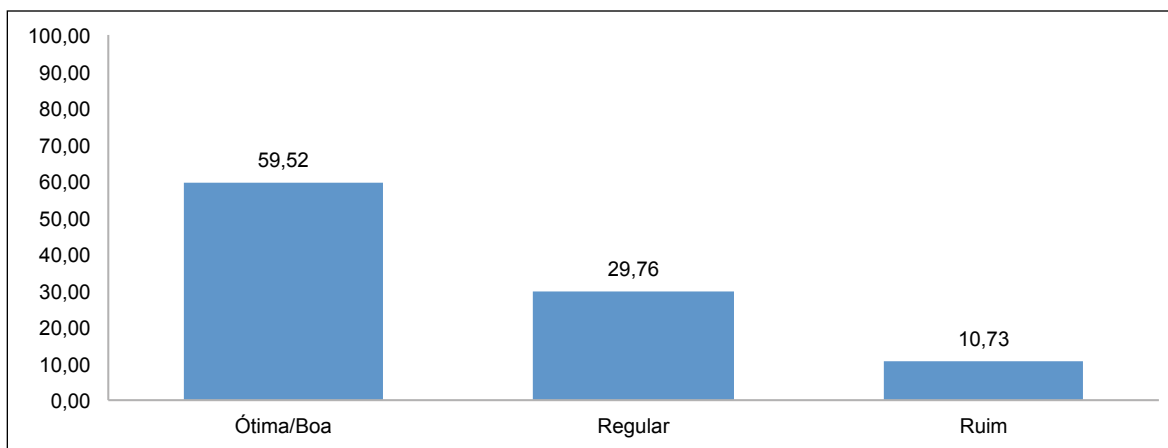


Figura 15 – Regularidade no fornecimento de água, em percentual de municípios (n=289), 2010

Analisando esse indicador em função do tipo de prestador, por meio do teste de qui-quadrado de Fisher, observa-se que não existem diferenças significativas de comportamento. A Tabela 12 mostra que na maior parte dos municípios, para todos os prestadores, o fornecimento de água foi considerado ótimo a bom. As autarquias municipais e as empresas privadas apresentaram o menor percentual de municípios com regularidade considerada ruim. As Companhias Estaduais apresentaram o maior percentual de municípios onde se considerou o fornecimento de água ruim.

Tabela 12 – Tipo de prestador e regularidade do fornecimento de água, em percentual de municípios (n=272), 2010

Tipo de prestador	Regularidade do fornecimento de água							
	Ótimo/boa		Regular		Ruim		Total	
	n	%	n	%	n	%	n	%
Empresa Privada	13	76,47	3	17,65	1	5,88	17	100,00
Companhia Estadual de Água e Esgoto	107	54,59	63	32,14	26	13,27	196	100,00
Autarquia Municipal	19	67,86	8	28,57	1	3,57	28	100,00
Administração Pública Direta	30	69,77	10	23,26	3	6,98	43	100,00
Total	169	59,51	84	29,58	31	10,92	284	100,00

Fisher's exact = 0,318.

Estudando as relações entre a existência de atividades de controle de perdas e regularidade no fornecimento de água, pode-se verificar que existem diferenças significativas segundo teste de qui-quadrado de Fisher ($p < 0,05$). Analisando a Tabela 13 verifica-se que onde houve a indicação do desenvolvimento de mais de uma atividade de controle de perdas, o fornecimento de água foi considerado ótimo a bom (70,8% dos municípios). Por outro lado, quando não existem ações de controle ou são realizadas outras atividades esse percentual diminui para 43,6% dos municípios.

Tabela 13 – Atividade de controle de perdas e regularidade do fornecimento de água, em percentual de municípios (n=272), 2010

Atividade de controle de perdas	Regularidade do fornecimento de água							
	Ótimo/boa		Regular		Ruim		Total	
	n	%	n	%	n	%	n	%
Mais de uma atividade de controle	97	70,80	29	21,17	11	8,03	137	100,00
Apenas uma atividade de controle	40	54,79	24	32,88	9	12,33	73	100,00
Não existe e Outro	27	43,55	24	38,71	11	17,74	62	100,00
Total	164	60,29	77	28,31	31	11,40	272	100,00

Fisher's exact = 0,005.

Também foi observada relação entre a condição de micromedição dos serviços de água e a regularidade do fornecimento ($p < 0,05$). De acordo com a Tabela 14 a maior parte dos municípios onde a regularidade do fornecimento de água foi considerada ótima a boa a condição de micromedição também foi avaliada como de ótima a boa.

Tabela 14 – Condição de micromedição dos serviços de água e regularidade do fornecimento, em percentual de municípios (n=270), 2010

Condição de micromedição dos serviços de água	Regularidade do fornecimento de água							
	Ótima/Boa		Regular		Ruim		Total	
	n	%	n	%	n	%	n	%
Ótimo/Boa	133	78,24	33	19,41	4	2,35	170	100,00
Regular	24	33,33	34	47,22	14	19,44	72	100,00
Ruim	4	14,29	13	46,43	11	39,29	28	100,00
Total	161	59,63	80	29,63	29	10,74	270	100,00

Fisher's exact = 0,000.

Não se observou diferenças significativas ($p>0,05$) entre os prestadores dos serviços e a condição de micromedição dos serviços (Tabela 15).

Tabela 15 – Tipo de prestador e condição de micromedição dos serviços de água, em percentual de municípios (n=268), 2010

Tipo de prestador	Condição de micromedição dos serviços de água					
	Ótima/Boa		Regular/Ruim		Total	
	n	%	n	%	n	%
Empresa Privada	13	76,47	4	23,53	17	100,00
Companhia Estadual de Água e Esgoto	119	63,64	68	36,36	187	100,00
Autarquia Municipal	18	64,29	10	35,71	28	100,00
Administração Pública Direta	17	47,22	19	52,78	36	100,00
Total	167	62,31	101	37,69	268	100,00

Fisher's exact = 0,174.

Os resultados sugerem que as ações que os prestadores dos serviços direcionam ao controle de perdas também contribuem para a regularidade no fornecimento de água.

Uma das ações mais relevantes dos prestadores dos serviços de abastecimento de água é o controle da qualidade da água de consumo humano, regulada pela então Portaria nº 518/2004 (atual Portaria no 2.914/2011) do Ministério da Saúde. Segundo os informantes, apenas 54,90% dos municípios atendem as exigências dessa Portaria (Figura 16). Não foram verificadas mudanças significativas no comportamento desse indicador em função do prestador dos serviços ($p>0,05$, segundo o teste de qui-quadrado do Fisher). Na Tabela 16 pode-se verificar que as Autarquias Municipais e as Empresas Privadas apresentam a maior proporção de municípios com atendimento à Portaria, 67,9% e 64,7%, respectivamente.

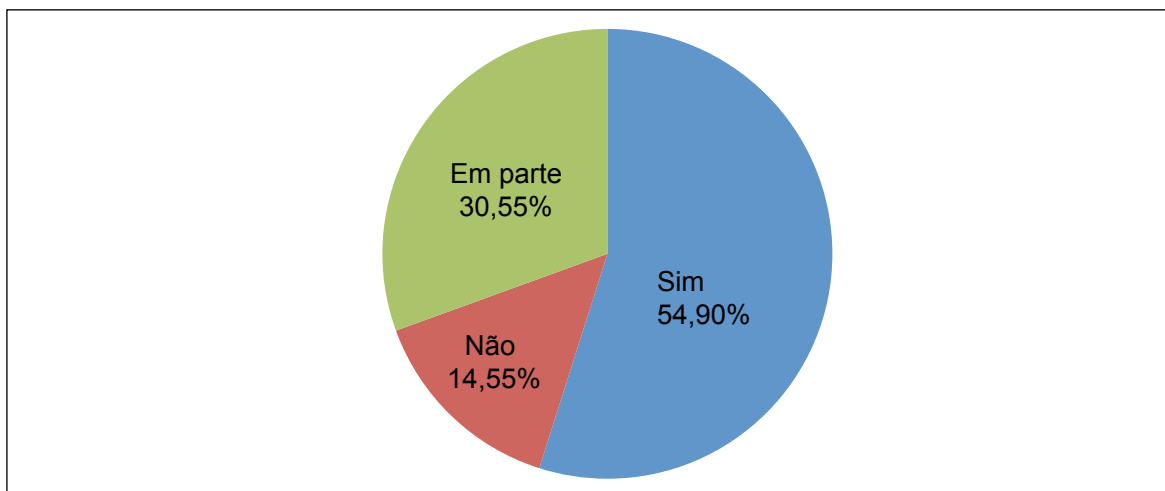


Figura 16 – Atendimento da Portaria n. 518/2004 por parte do município, em percentual de municípios (n=295), 2010

Tabela 16 – Tipo de prestador dos serviços e atendimento à Portaria nº 518/2004 (n=271), 2010

Tipo de prestador	Atendimento à Portaria n. 518/2004							
	Sim		Não		Em parte		Total	
	n	%	n	%	n	%	n	%
Empresa Privada	11	64,71	1	5,88	5	29,41	17	100,00
Companhia Estadual de Água e Esgoto	100	53,48	28	14,97	59	31,55	187	100,00
Autarquia Municipal	19	67,86	5	17,86	4	14,29	28	100,00
Administração Pública Direta	20	51,28	6	15,38	13	33,33	39	100,00
Total	150	55,35	40	14,76	81	29,89	271	100,00

Fisher's exact = 0,535.

Outros indicadores analisados para avaliar a qualidade da prestação dos serviços relacionam-se à disponibilidade e funcionamento de equipamentos dos serviços de abastecimento de água e o quadro técnico disponível. De acordo com os informantes, em 63,89% dos municípios a disponibilidade/funcionamento dos equipamentos foi avaliada como ótima a boa (Figura 17) e o quadro técnico/operacional atingiu 63,64% (Figura 18). Não foram identificadas diferenças significativas considerando esse indicador e o tipo de prestador dos serviços.

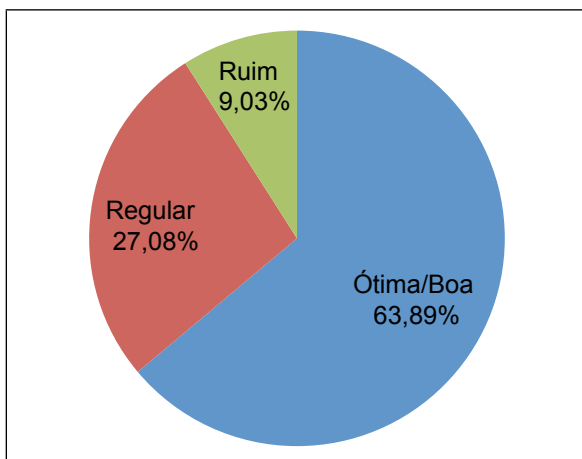


Figura 17 – Disponibilidade e funcionamento de equipamentos dos serviços de abastecimento de água, em percentual de municípios (n=288), 2010

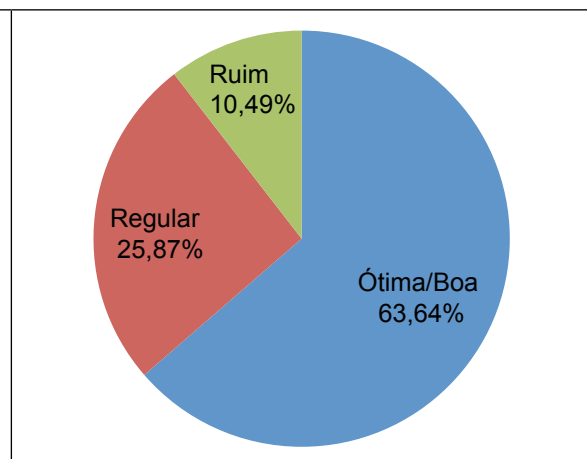


Figura 18 – Quadro Técnico/operacional dos serviços de abastecimento de água, em percentual de municípios (n=286), 2010

Segundo os informantes, as queixas mais frequentes quanto aos serviços de abastecimento de água relacionam-se ao valor da tarifa (33,56% dos municípios), intermitência e valor da tarifa (13,15%) e intermitência (12,46%) (Figura 19).

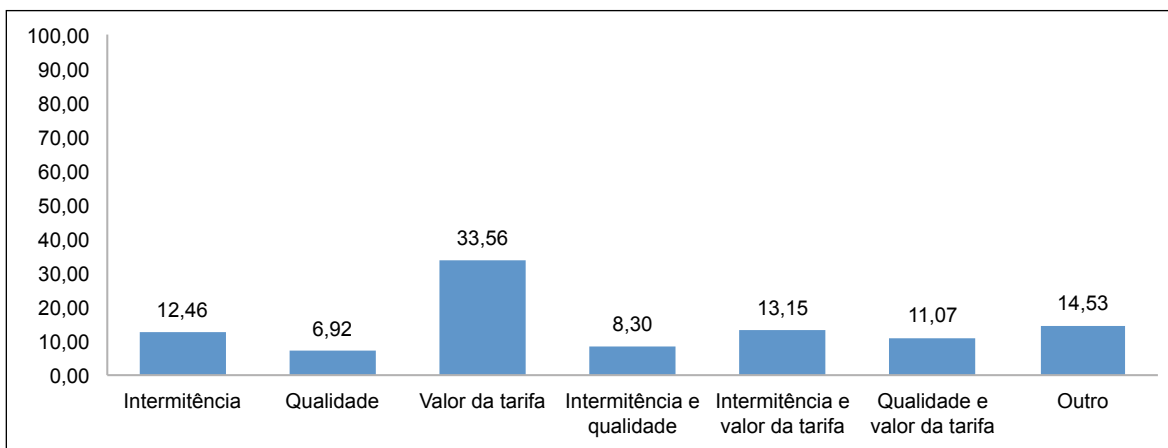


Figura 19 – Queixas mais frequentes dos serviços de abastecimento de água, em percentual de municípios (n=289), 2010

A maior parte das queixas dirigiu-se para o valor da tarifa das Companhias Estaduais (132/285 ou 46,3% dos municípios). Também, a maior parte das queixas direcionadas para as Empresas Privadas dirigiram-se para esse item (12/17 ou 70,6%). A

intermitência no fornecimento de água também somou, em separado e em conjunto com outro item, um significativo número de queixas (97/285 ou 34,0% dos municípios) (Figura 17).

Tabela 17 – Tipo de prestador e queixas mais frequentes da prestação dos serviços de abastecimento de água (n= 285), 2010

Tipo de prestador	Intermitência	Qualidade	Valor da tarifa	Intermitência e qualidade	Intermitência e valor da tarifa	Qualidade e valor da tarifa	Outro	Total
Empresa Privada	1	0	8	0	2	2	4	17
Companhia Estadual de Água e Esgoto	17	13	78	16	30	24	20	198
Autarquia Municipal	5	3	7	2	3	1	6	27
Administração Pública Direta	13	2	4	5	3	5	11	43
Total	36	18	97	23	38	32	41	285

De acordo com os informantes de 42,5% dos municípios pesquisados, a tarifa praticada pelo prestador é adequada à capacidade de pagamento de todas as faixas de renda da população. Constatou-se que em 20,6% não existia cobrança de tarifa, fato que implica em maiores dificuldades para o avanço da cobertura dos serviços (Figura 20).

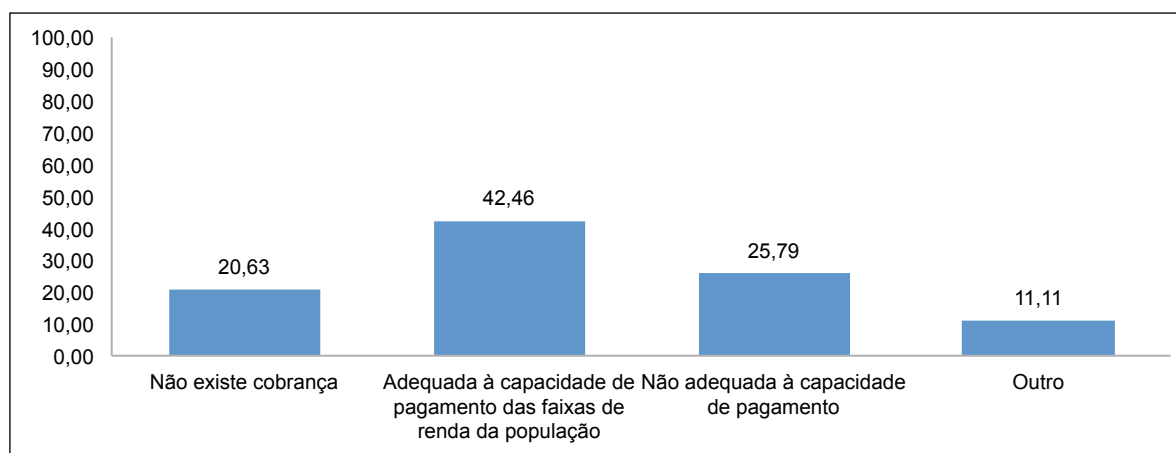


Figura 20 – Opinião quanto à tarifa praticada pelos prestadores dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário (n=252), 2010

Dentre os municípios que cobram tarifa, em 62,20% os informantes declararam que existia tarifa social, indicador aparentemente elevado (Figura 21).

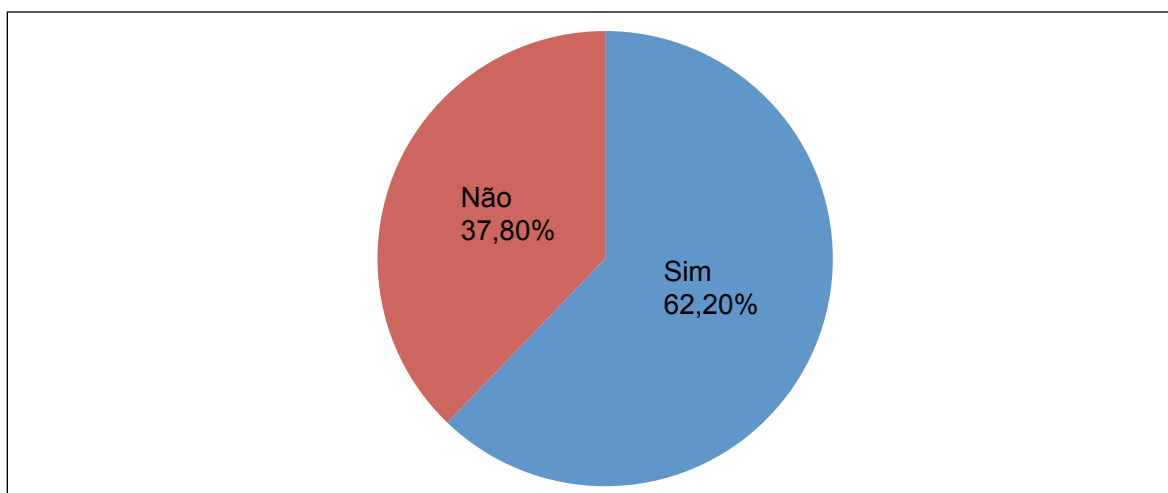


Figura 21 – Existência de tarifa social, segundo percentual de municípios (n=209), 2010

Analisando as relações entre a existência de tarifa social e o tipo de prestador observa-se que não existem diferenças significativas para esse indicador (Tabela 18).

Tabela 18 – Tipo de prestador e existência de tarifa social, segundo percentual de municípios (n=207), 2010

Tipo do prestador	Sim		Não		Total	
	n	%	n	%	n	%
Empresa Privada	10	71,43	4	28,57	14	100,00
Companhia Estadual de Água e Esgoto	92	64,34	51	35,66	143	100,00
Autarquia Municipal	11	45,83	13	54,17	24	100,00
Administração Pública Direta	16	61,54	10	38,46	26	100,00
Total	129	62,32	78	37,68	207	100,00

Fisher's exact = 0,333.

A avaliação da prestação dos serviços de esgotamento sanitário também é uma necessidade premente. Para tanto a presente pesquisa levantou uma série de indicadores que a seguir serão discutidos.

De acordo com os informantes, o quadro técnico/operacional foi considerado de ótimo a bom em apenas 48,02% dos municípios (Figura 22) e em cerca de 41,67%, a disponibilidade/funcionamento dos equipamentos teve essa avaliação (Figura 23).

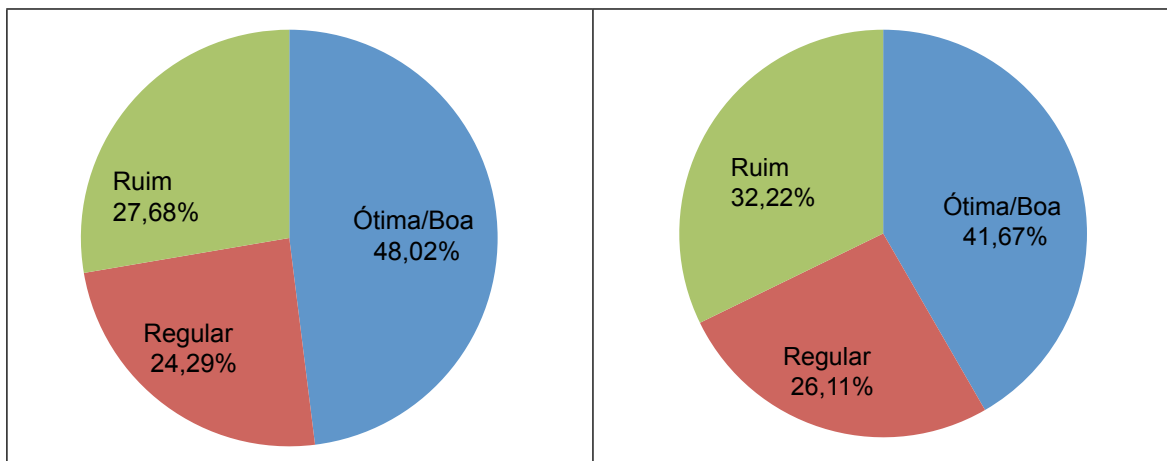


Figura 22 – Quadro Técnico/operacional dos serviços de esgotamento sanitário, em percentual de municípios (n=177), 2010

Figura 23 – Disponibilidade e funcionamento de equipamentos dos serviços de esgotamento sanitário, em percentual de municípios (n=180), 2010

Os dados evidenciam diferenças significativas entre o tipo de prestador e a qualificação do quadro técnico/operacional ($n < 0,05$). As Autarquias Municipais apresentaram o melhor desempenho, com 73,91% dos municípios avaliados como tendo um quadro técnico/operacional de ótimo a bom, seguida das Empresas Privadas (71,43%). Já as Companhias Estaduais tiveram a pior avaliação com 58,04% dos municípios com esse quadro considerado entre regular e ruim (Tabela 19).

Tabela 19 – Tipo de prestador e quadro técnico/operacional dos serviços de esgotamento sanitário, em percentual de municípios (n=174), 2010

Tipo do prestador	Ótimo/Boa		Regular/ruim		Total	
	n	%	n	%	n	%
Empresa Privada	5	71,43	2	28,57	7	100,00
Companhia Estadual de Água e Esgoto	47	41,96	65	58,04	112	100,00
Autarquia Municipal	17	73,91	6	26,09	23	100,00
Administração Pública Direta	16	50,00	16	50,00	32	100,00
Total	85	48,85	89	51,15	174	100,00

Fisher's exact = 0,023.

Analisando o tipo de prestador e a disponibilidade e funcionamento de equipamentos para os serviços de esgotamento sanitário observa-se que não existem diferenças significativas ($p>0,05$). Avaliando o comportamento do indicador por tipo de prestador constata-se uma uniformidade na sua distribuição por cada categoria. No entanto, as Autarquias Municipais apresentaram o melhor desempenho do indicador (Tabela 20).

Tabela 20 – Tipo de prestador e disponibilidade e funcionamento de equipamentos para os serviços de esgotamento sanitário, em percentual de municípios (n=215), 2010

Tipo do prestador	Ótimo/Boa		Regular		Ruim		Total	
	n	%	n	%	n	%	n	%
Empresa Privada	3	37,50	2	25,00	3	37,50	8	100,00
Companhia Estadual de Água e Esgoto	47	41,59	26	23,01	40	35,40	113	100,00
Autarquia Municipal	12	52,17	6	26,09	5	21,74	23	100,00
Administração Pública Direta	13	39,39	10	30,30	10	30,30	33	100,00
Total	75	42,37	44	24,86	58	32,77	177	100,00

Fisher's exact = 0,866.

A maior parte das queixas aos serviços de esgotamento sanitário dirigiu-se para os entupimentos, mau cheiro e extravasamentos (Figura 24).

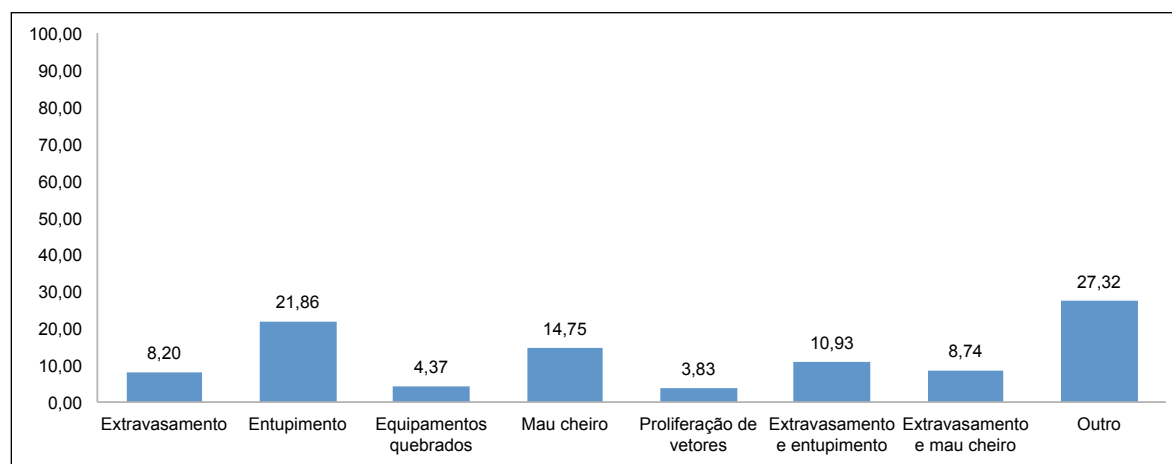


Figura 24 – Queixas mais frequentes dos serviços de esgotamento sanitário, em percentual de municípios (n=183), 2010

Avaliando o comportamento desse indicador por tipo de prestador, observam-se diferenças significativas do ponto de vista estatístico ($p < 0,05$). Na Tabela 21 pode-se perceber que as Companhias Estaduais, as Administrações Diretas e as Empresas Privadas apresentaram as maiores proporções de municípios em que os informantes indicaram mais de um problema nos serviços de esgotamento sanitário. Dentre os prestadores, os que apresentaram o melhor desempenho do indicador foram as Autarquias Municipais.

Tabela 21 – Queixas mais frequentes dos serviços de esgotamento sanitário, em percentual de municípios (n=180), 2010

Tipo do prestador	Problemas indiretos (mau cheiro, vetores, equipamentos)		Problemas diretos nas redes de esgoto (entupimento e extravasamento)		Mais de um problema		Total	
	n	%	n	%	n	%	n	%
Empresa Privada	2	28,57	2	28,57	3	42,86	7	100,00
Companhia Estadual de Água e Esgoto	31	26,50	30	25,64	56	47,86	117	100,00
Autarquia Municipal	7	30,43	9	39,13	7	30,43	23	100,00
Administração Pública Direta	1	3,03	12	36,36	20	60,61	33	100,00
Total	41	22,78	53	29,44	86	47,78	180	100,00

Fisher's exact = 0,022.

Um dos princípios fundamentais da Lei Nacional de Saneamento Básico é o controle social, que deve ser promovido pelo titular dos serviços em todas as funções de gestão: planejamento, regulação, fiscalização e prestação dos serviços (BRASIL, 2007). No entanto, esse princípio fundamental ainda está longe de ser efetivado. De acordo com os informantes em cerca de 87,6% dos municípios não existe participação e controle social para o acompanhamento da prestação dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário (Figura 25).

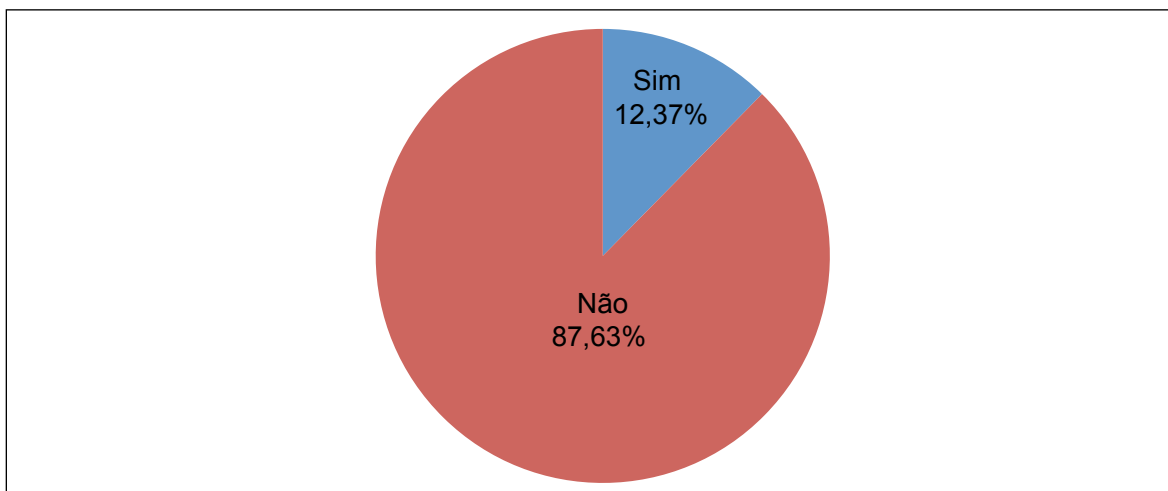


Figura 25 – Existência de instância para a participação e controle social (n=283), 2010

Os níveis de participação são extremamente baixos independentemente do prestador dos serviços, não existindo diferenças significativas ($p > 0,05$ segundo teste de qui-quadrado de Fisher – Tabela 22).

Tabela 22 – Tipo de prestador de serviços e existência de instância para a participação e controle social para o acompanhamento da prestação dos serviços, segundo percentual de municípios (n=278), 2010

Tipo do prestador	Sim		Não		Total	
	n	%	n	%	n	%
Empresa Privada	2	13,33	13	86,67	15	100,00
Companhia Estadual de Água e Esgoto	24	12,50	168	87,50	192	100,00
Autarquia Municipal	5	17,86	23	82,14	28	100,00
Administração Pública Direta	4	9,30	39	90,70	43	100,00
Total	35	12,59	243	87,41	278	100,00

Fisher's exact = 0,720.

4.1.4.2 Drenagem das Águas Pluviais

De acordo com as declarações dos informantes, cerca de 69,5% dos municípios prestam os serviços de drenagem das águas pluviais via administração pública direta

e em cerca de 5,2% essa prestação ocorre por meio das autarquias municipais e em 4,8% através de empresa estadual de economia mista (Figura 26).

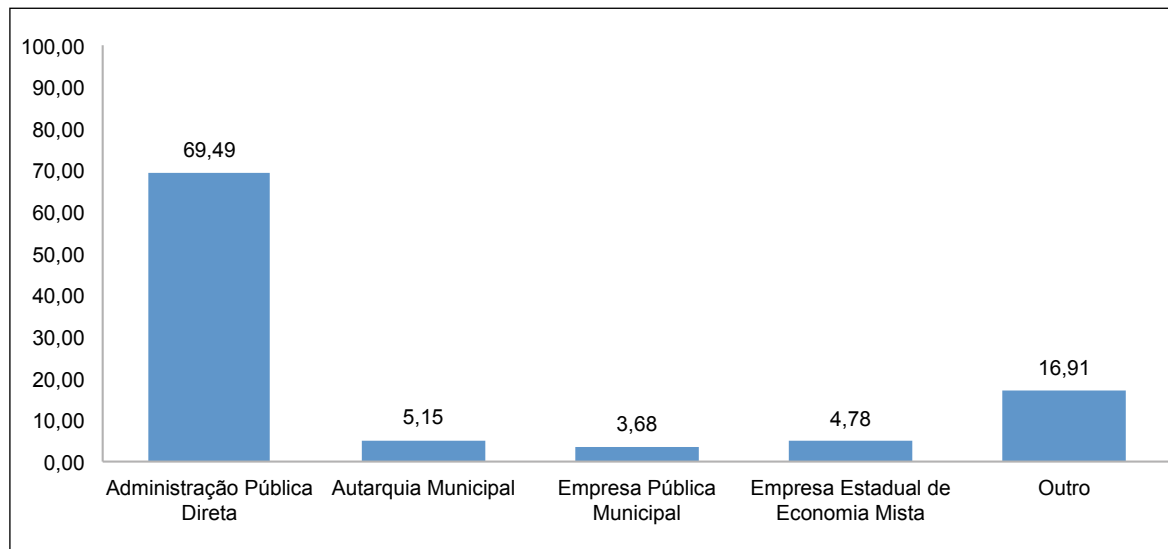


Figura 26 – Tipo de prestador dos serviços de drenagem das águas pluviais (n=272), 2010

Segundo declaração dos informantes, nos municípios onde existem sistemas de drenagem, em cerca de 62,18% existe manutenção e conservação dos sistemas (Figura 27). Por outro lado, os informantes de 33,5% dos municípios avaliaram a disponibilidade e funcionamento de equipamentos como de ótima a boa, e 21,18% consideraram ruim (Figura 30). O quadro técnico de 43,41% dos municípios foi avaliado como de ótimo a bom (Figura 29). Não foram identificadas diferenças significativas desses indicadores em relação ao tipo de prestador dos serviços. Em 47,65% dos municípios estudados foram relatados casos de estrangulamentos que geram problemas de inundação (Figura 28).

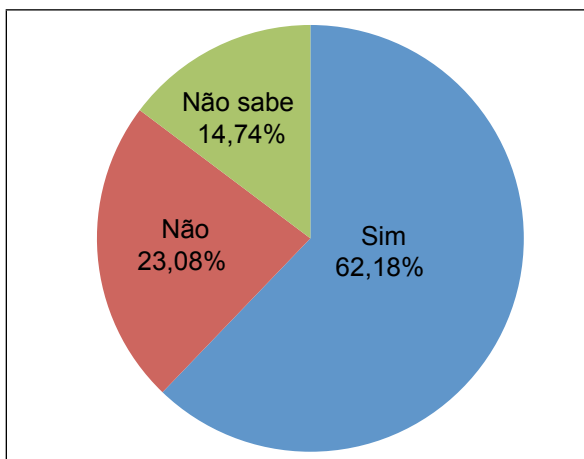


Figura 27 – Existência de manutenção e conservação periódica dos sistemas de drenagem, segundo percentual de municípios (n=156), 2010

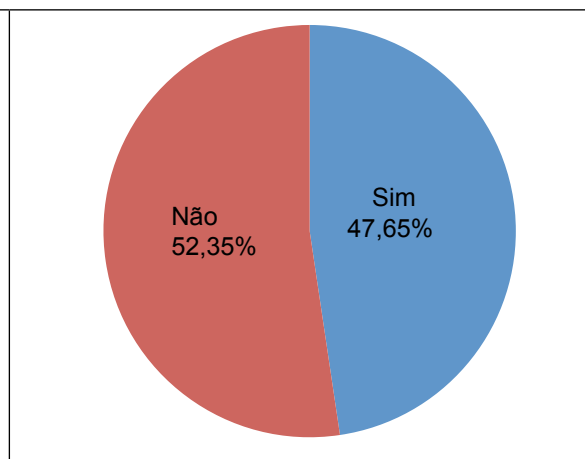


Figura 28 – Existência de pontos de estrangulamento que resultam em inundações nas sedes municipais (n=277), 2010

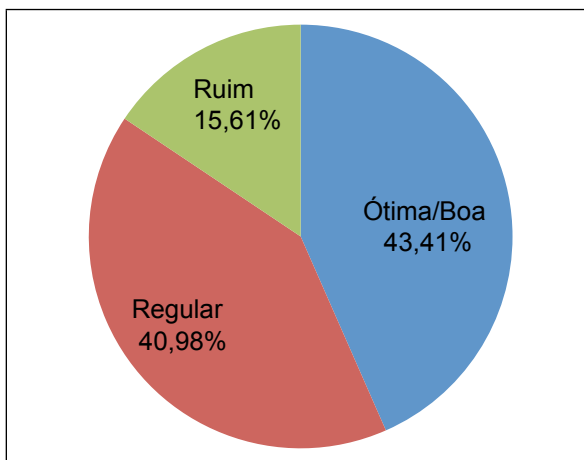


Figura 29 – Quadro técnico/operacional dos serviços de drenagem, em percentual de municípios (n=205), 2010

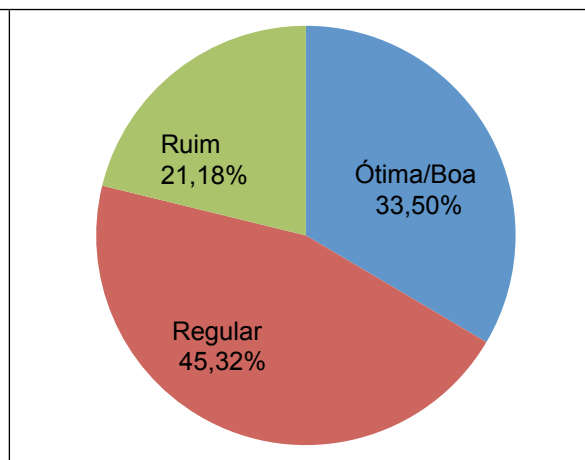


Figura 30 – Disponibilidade e funcionamento de equipamentos dos serviços de drenagem, em percentual de municípios (n=203), 2010

Dentre as queixas mais frequentes relatadas destacam-se os alagamentos quer seja isoladamente ou seguidos de outro problema, como proliferação de vetores e mau cheiro. Foram declarados casos de inundações de casas (4,23% dos municípios) e de escorregamentos de encostas (1,92%). A proliferação de vetores transmissores de doenças foi referida em 12,69% dos municípios (Figura 31).

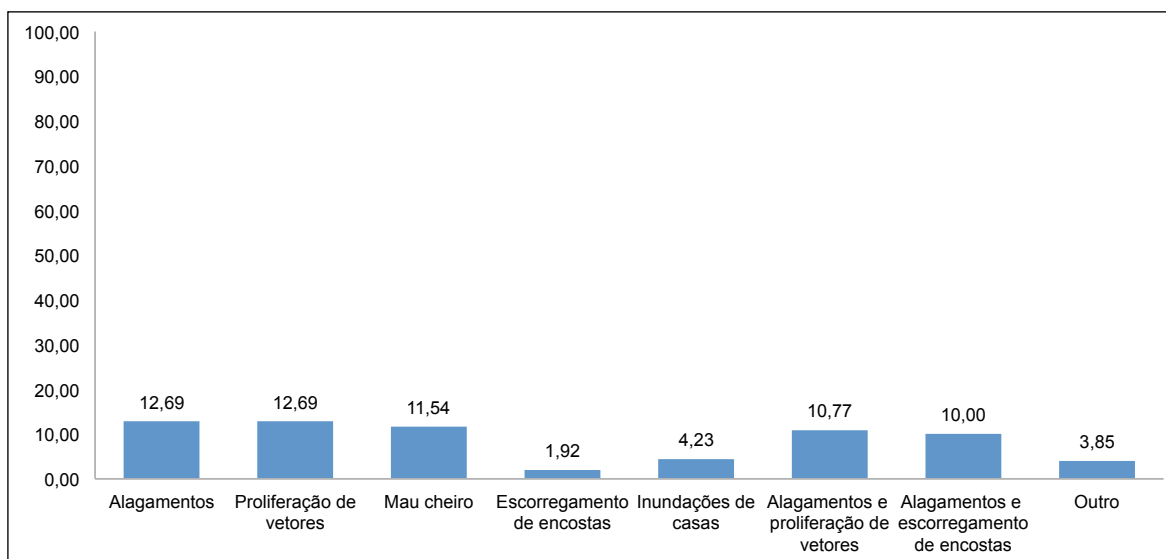


Figura 31 – Queixas mais frequentes quanto aos serviços de drenagem das águas pluviais (n=260), 2010

Certamente, dentre outras questões que justificam os dados relatados, a falta de planejamento das ações de drenagem desponta como elemento importante. De acordo com os dados levantados, a metade dos municípios não realizou despesas com o planejamento das ações de drenagem nos últimos dois anos. As despesas com operação e conservação da drenagem nos últimos dois anos foram declaradas em 60,3% dos municípios. Essas declarações de despesas com drenagem não se mostraram significativas em função dos prestadores de serviços¹ (Tabelas 23 e 24).

Tabela 23 – Tipo de prestador dos serviços de drenagem das águas pluviais e ocorrência de despesas com o planejamento das ações de drenagem nos últimos dois anos, em percentual de municípios (n=265), 2010

Tipo do prestador	Sim		Não		Total	
	n	%	n	%	n	%
Administração Pública Direta	109	58,60	77	41,40	186	100,00
Autarquia Municipal/Empresa Pública Municipal	13	54,17	11	45,83	24	100,00
Empresa Estadual de Economia Mista	7	53,85	6	46,15	13	100,00
Outro	9	21,43	33	78,57	42	100,00
Total	138	52,08	127	47,92	265	100,00

1 Para essa avaliação excluíram-se os prestadores identificados como “outro”.

Tabela 24 – Tipo de prestador dos serviços de drenagem das águas pluviais e ocorrência de despesas com operação e conservação dos sistemas de drenagem nos últimos dois anos, em percentual de municípios (n=267), 2010

Tipo do prestador	Sim		Não		Total	
	n	%	n	%	n	%
Administração Pública Direta	133	71,51	54	29,03	187	100,00
Autarquia Municipal/Empresa Pública Municipal	16	66,67	8	33,33	24	100,00
Empresa Estadual de Economia Mista	9	69,23	4	30,77	13	100,00
Outro	9	21,43	34	80,95	43	100,00
Total	167	63,02	100	37,74	267	100,00

De acordo com as informações prestadas, apenas 1,07% dos municípios cobra taxa para a prestação dos serviços de drenagem das águas pluviais (Figura 32). De fato, ainda existem poucos municípios brasileiros, principalmente na faixa populacional da presente pesquisa (população menor que 50.000 habitantes), que contam com a cobrança de taxas para a prestação dos serviços. Alguns municípios da Região Sudeste têm instituído essa cobrança para áreas urbanas, cujos valores são definidos em função da taxa de impermeabilização dos lotes urbanos. Apesar das controvérsias ainda existentes sobre essa questão, as situações críticas das áreas urbanas densamente ocupadas têm exigido uma maior estruturação da prestação dos serviços de drenagem, o que pode passar pela instituição de algum tipo de taxa.

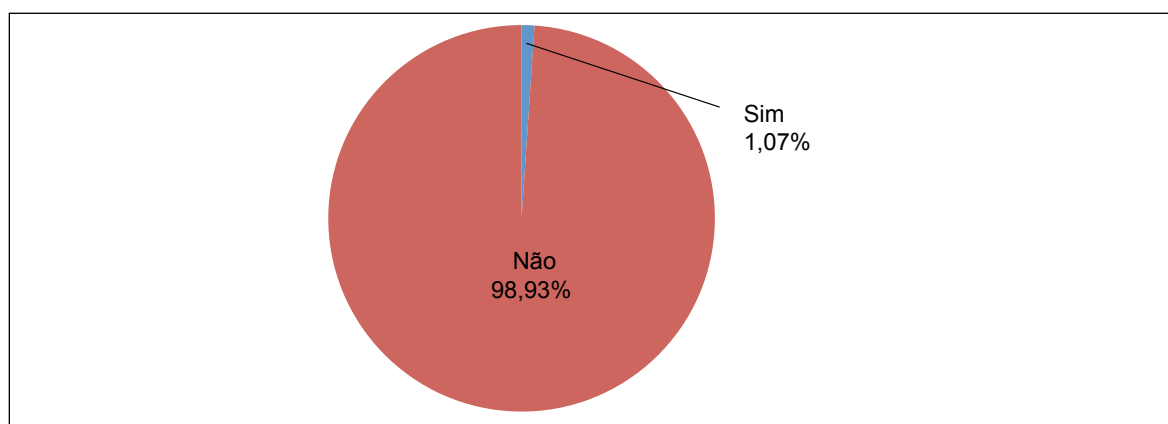


Figura 32 – Existência de cobrança de taxa de drenagem, em percentual de municípios (n=280), 2010

Os dados permitem concluir que ainda são necessários esforços para a estruturação da prestação dos serviços de drenagem, onde a elaboração do Plano de Saneamento Básico, contemplando esse componente, é um passo importante.

4.1.4.3 Resíduos Sólidos

Segundo os dados levantados, as prefeituras municipais ainda são o maior prestador dos serviços de resíduos sólidos, sendo que em 62,1% essa responsabilidade é da Administração Direta; em 3,41% de uma Autarquia Municipal e 3,4% de empresas municipais. Em 22,2% dos municípios os serviços são prestados por empresas privadas (Figura 33).

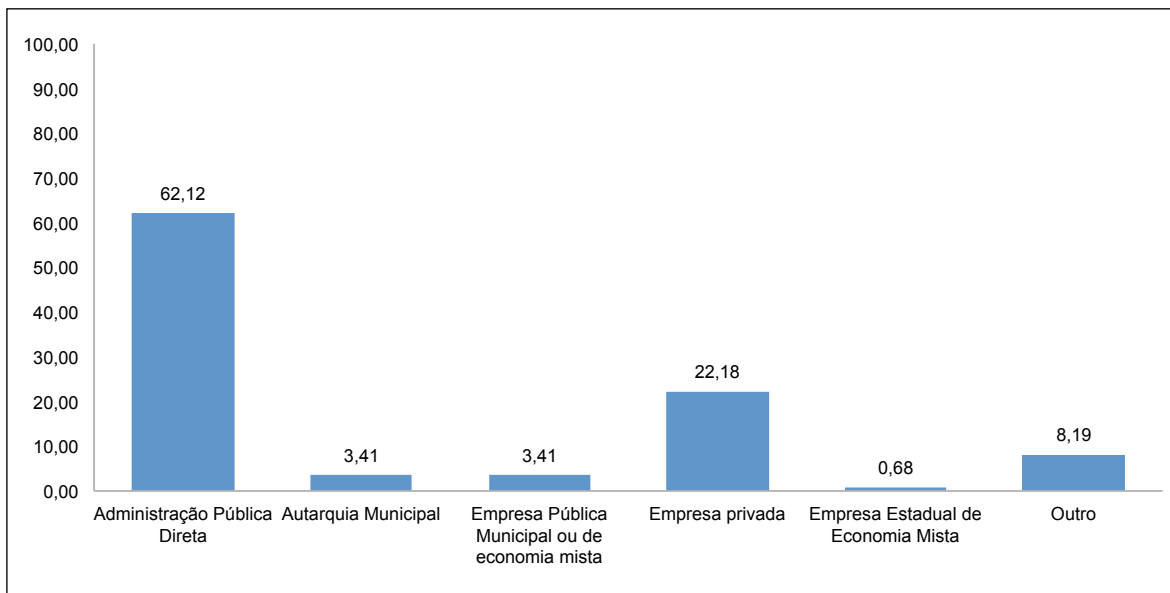


Figura 33 – Tipo de prestador dos serviços de resíduos sólidos, em percentual de municípios (n=293), 2010

A análise da Figura 34 permite perceber que a prestação dos serviços por meio da Administração Pública Direta é uma realidade da maioria dos municípios de todas as macrorregiões brasileiras. Exceto a Região Norte todas as outras dispõem de municípios com todos os tipos de prestadores de serviços. A participação privada na prestação dos serviços ocorre em municípios de todas as macrorregiões, com destaque para a Região Norte. A maior participação das autarquias municipais ocorre nas Regiões Centro-Oeste e Sul.

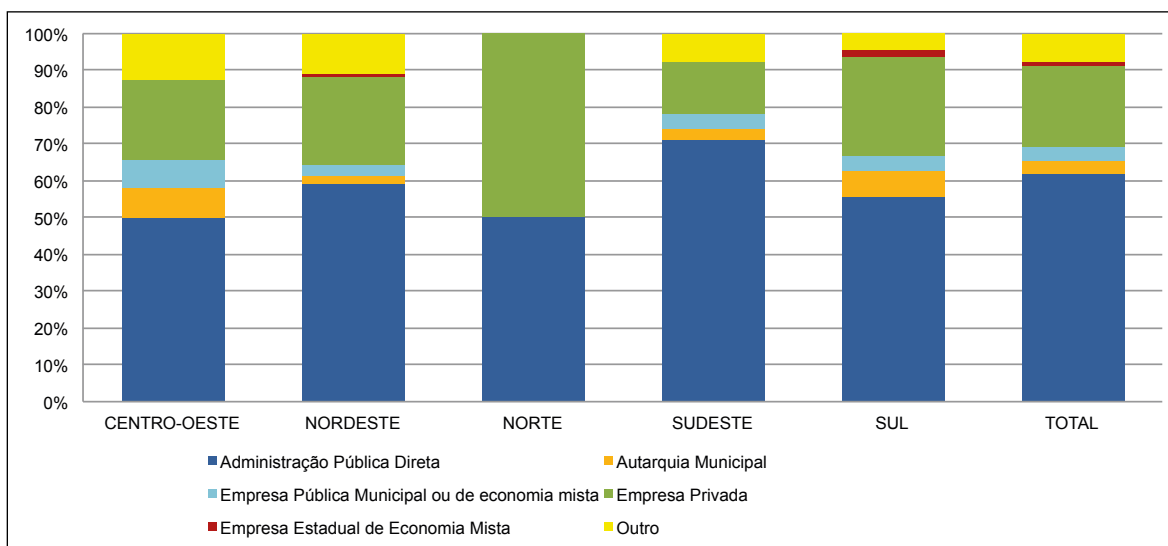


Figura 34 – Tipo de prestador dos serviços de limpeza urbana e resíduos sólidos, em percentual de municípios (n=293), 2010

De acordo com os informantes, os prestadores realizam uma série de serviços, como coleta de lixo domiciliar, remoção de entulho, coleta de resíduos dos serviços de saúde, capinação e roçagem, dentre outros (Tabela 25). Os serviços de coleta de lixo domiciliar na sede municipal, segundo os informantes, ocorrem diariamente em 46,7% dos municípios e alternadamente em 27,3%. Mas, ainda em 13,2% dos municípios esses serviços acontecem duas vezes por semana (Figura 35).

Tabela 25 – Tipo de serviço executado pelos Prestadores, em percentual de municípios (n=278), 2010

Tipo de serviço	n	%
Coleta de lixo domiciliar	21	7,55
Remoção de entulho	1	0,36
Coleta de lixo dos serviços de saúde	1	0,36
Coleta de lixo domiciliar/remoção de entulho	19	6,83
Coleta de lixo domiciliar/dos serviços de saúde e remoção de entulho	33	11,87
Coleta de lixo domiciliar/dos serviços de saúde/remoção de entulho/capinação e roçagem	34	12,23
Outro (diversos serviços)	169	60,79
Total	278	100,00

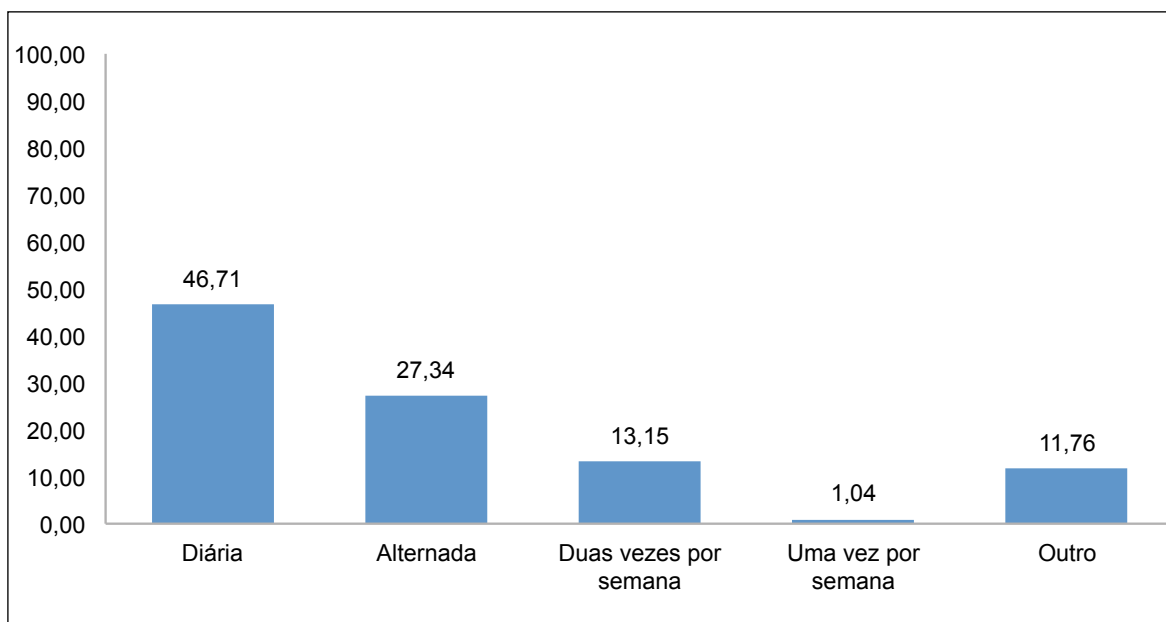


Figura 35 – Frequência da coleta de lixo domiciliar na sede municipal, em percentual de municípios (n=289), 2010

Considerando o tipo de prestador dos serviços e as condições de regularidade da coleta de lixo domiciliar na sede municipal, verifica-se que não existem diferenças significativas quanto a esse indicador. A maior parte dos municípios, segundo declaração dos informantes, realiza coleta dos resíduos domiciliares na sede municipal diariamente ou em dias alternados (Tabela 26).

Tabela 26 – Tipo de prestador e frequência da coleta de lixo domiciliar na sede do município, em percentual de municípios (n=265), 2010

Tipo de prestador	Diária/Alternada		Irregular e outro		Total	
	n	%	n	%	n	%
Administração Pública Direta	139	77,65	40	22,35	179	100,00
Autarquia Municipal	6	60,00	4	40,00	10	100,00
Empresa Pública Municipal ou de economia mista	7	70,00	3	30,00	10	100,00
Empresa Privada	45	70,31	19	29,69	64	100,00
Empresa Estadual de Economia Mista	2	100,00	0	-	2	100,00
Total	199	75,09	66	24,91	265	100,00

Fisher's exact = 0,456.

De acordo com o levantamento, cerca de 30,7% dos municípios dispõem de aterro sanitário para a destinação final dos resíduos, 13,9% contam com aterro controlado e 31,7% lançam seus resíduos em lixões (Figura 36).

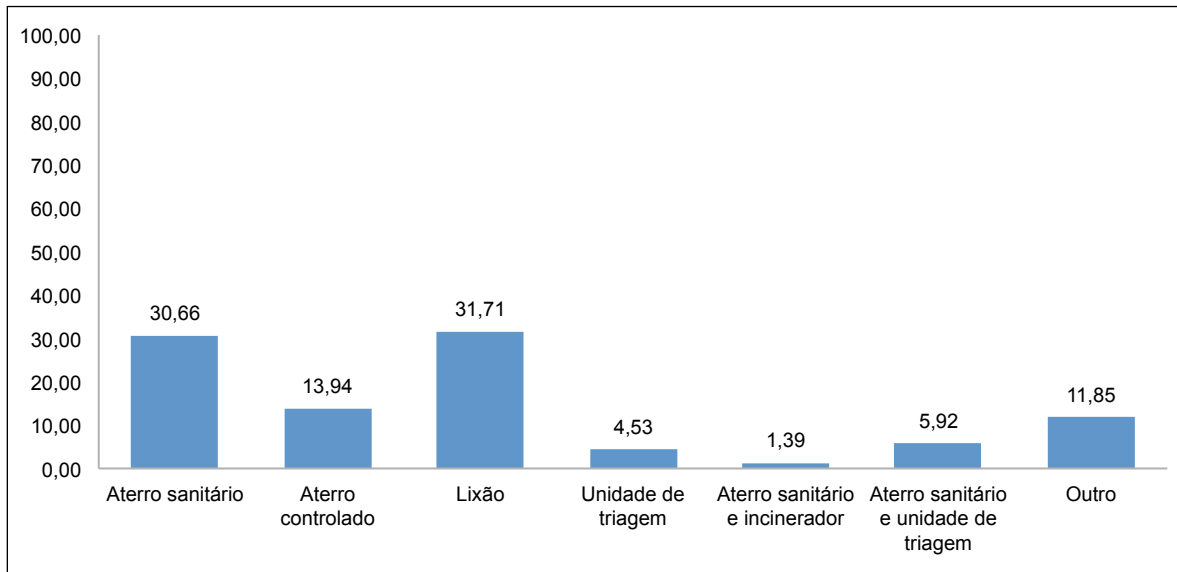


Figura 36 – Tipo de unidade de destino final dos resíduos sólidos, em percentual de municípios (n=287), 2010

Segundo a pesquisa, os municípios cujos prestadores são empresas públicas municipais apresentam a situação mais inadequada de destino dos resíduos sólidos (Tabela 27).

Tabela 27 – Tipo de destino final por prestador dos serviços, em percentual de municípios (n=264), 2010

Tipo de prestador	Adequado		Parcialmente adequado		Não adequado		Outro		Total	
	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
Administração Pública Direta	72	40,68	29	16,38	66	37,29	10	5,65	177	100,00
Autarquia Municipal	5	50,00	1	10,00	4	40,00	0	-	10	100,00
Empresa Pública Municipal ou de economia mista	2	20,00	2	20,00	5	50,00	1	10,00	10	100,00
Empresa Privada	31	47,69	10	15,38	14	21,54	10	15,38	65	100,00
Empresa Estadual de Economia Mista	1	50,00	0	-	1	50,00	0	-	2	100,00
Total	111	42,05	42	15,91	90	34,09	21	7,95	264	100,00

Os resultados indicam que 76,42% das unidades de destino final estavam em estado de conservação entre ótimo e bom (Figura 37).

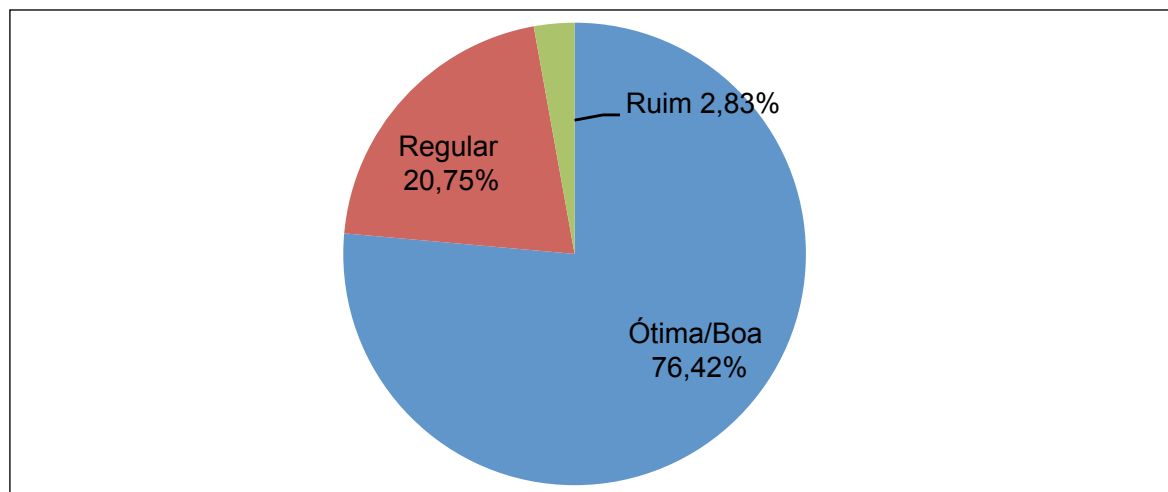


Figura 37 – Estado de conservação do destino final, em percentual de municípios (n=106), 2010

Segundo os informantes, apenas 29,7% (n=263) dos municípios têm coleta seletiva dos resíduos sólidos. As administrações diretas e as empresas privadas apresentaram os menores percentuais de municípios com esse tipo de serviço (Tabela 28). No entanto, não existem diferenças para esse indicador entre os prestadores, excluindo-se a Empresa Estadual de Economia Mista.

Tabela 28 – Tipo de prestador e existência de coleta seletiva, em percentual de municípios (n=263), 2010

Tipo de prestador	Sim		Não		Total	
	n	%	n	%	n	%
Administração Pública Direta	45	25,28	133	74,72	178	100,00
Autarquia Municipal	5	50,00	5	50,00	10	100,00
Empresa Pública Municipal ou de economia mista	4	44,44	5	55,56	9	100,00
Empresa Privada	17	26,56	47	73,44	64	100,00
Empresa Estadual de Economia Mista	1	50,00	1	50,00	2	100,00
Total	72	27,38	191	72,62	263	100,00

De acordo com as informações, apenas 31,93% dos municípios fazem cobrança pela prestação dos serviços de limpeza urbana e resíduos sólidos, dado que coincide com o da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico de 2008 (IBGE, 2010) (Figura 38).

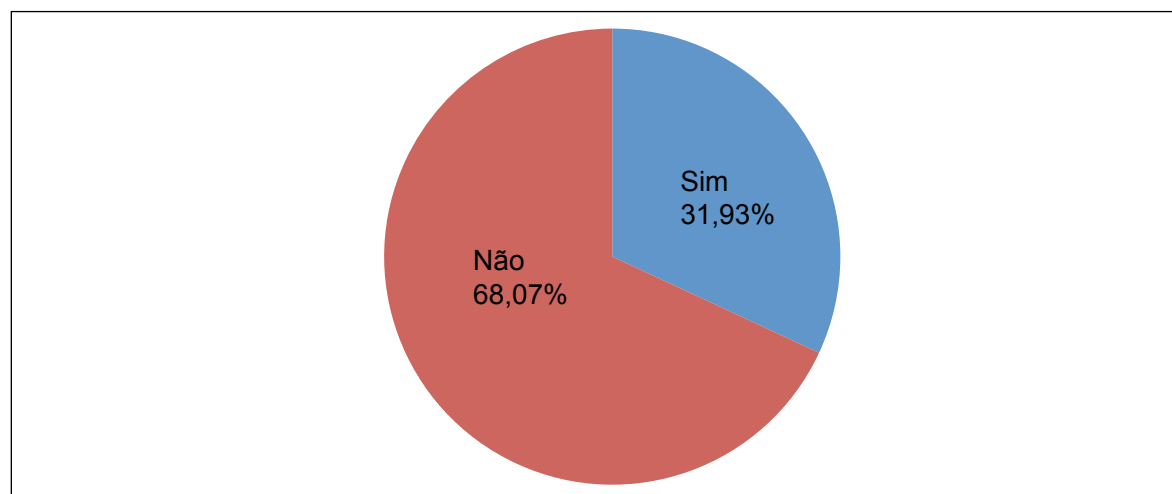


Figura 38 – Existência de cobrança pelos serviços de manejo dos resíduos sólidos, segundo percentual de municípios (n=285), 2010

As autarquias municipais e as empresas privadas apresentaram os maiores percentuais de municípios com cobrança pelos serviços, aproximadamente 40,0% (Tabela 29).

Tabela 29 – Tipo de prestador e existência de cobrança pelos serviços (n=261), 2010

Tipo de prestador	Sim		Não		Total	
	n	%	n	%	n	%
Administração Pública Direta	49	28,00	126	72,00	175	100,00
Autarquia Municipal	4	40,00	6	60,00	10	100,00
Empresa Pública Municipal ou de economia mista	2	20,00	8	80,00	10	100,00
Empresa Privada	26	40,63	38	59,38	64	100,00
Empresa Estadual de Economia Mista	0	-	2	100,00	2	100,00
Total	81	31,03	180	68,97	261	100,00

De acordo com as informações prestadas, 40,0% dos municípios não realizam ações de planejamento para o manejo dos resíduos sólidos. Esse indicador não varia muito entre os prestadores de serviços: 39,7% para as administrações públicas diretas e 50,0% para as empresa estadual de economia mista. Além disso, nos últimos dois anos 53,7% dos municípios não realizaram despesas com o planejamento dessas ações, indicador que não varia muito entre os prestadores. Cerca de 58% do quadro técnico/operacional foram considerados entre ótimo a bom. Segundo os informantes, o quadro das administrações públicas diretas e o das empresas privadas têm melhor desempenho (Tabela 30).

Tabela 30 – Tipo de prestador dos serviços de limpeza urbana e resíduos sólidos e condição do quadro técnico/operacional disponível, segundo percentual de municípios (n=233), 2010

Tipo de prestador	Ótima/boa		Regular		Ruim		Total	
	n	%	n	%	n	%	n	%
Administração Pública Direta	88	56,41	50	32,05	18	11,54	156	100,00
Autarquia Municipal	5	50,00	5	50,00	0	-	10	100,00
Empresa Pública Municipal ou de economia mista	4	50,00	2	25,00	2	25,00	8	100,00
Empresa Privada	36	63,16	15	26,32	6	10,53	57	100,00
Empresa Estadual de Economia Mista	0	-	2	100,00	0	-	2	100,00
Total	133	57,08	74	31,76	26	11,16	233	100,00

Cerca de 53,4% dos municípios tiveram a disponibilidade e o funcionamento de equipamentos considerados entre boa e ótima. Segundo os informantes, empresas privadas e as administrações públicas diretas tinham melhor desempenho desse indicador (Tabela 31). As diferenças de desempenho foram significativas ($p < 0,05$) quando são excluídos dessa análise os municípios com prestação por Empresa Estadual de Economia Mista.

Tabela 31 – Tipo de prestador dos serviços de limpeza urbana e resíduos sólidos e disponibilidade e funcionamento de equipamentos, segundo percentual de municípios (n=235), 2010

Tipo de prestador	Ótima/boa		Regular		Ruim		Total	
	n	%	n	%	n	%	n	%
Administração Pública Direta	74	46,25	59	36,88	27	16,88	160	100,00
Autarquia Municipal	4	40,00	5	50,00	1	10,00	10	100,00
Empresa Pública Municipal ou de economia mista	4	44,44	5	55,56	0	-	9	100,00
Empresa Privada	39	72,22	7	12,96	8	14,81	54	100,00
Empresa Estadual de Economia Mista	0	-	1	50,00	1	50,00	2	100,00
Total	121	51,49	77	32,77	37	15,74	235	100,00

Os resultados indicam a necessidade da implementação de uma política pública mais agressiva no campo dos resíduos sólidos com foco para os municípios da faixa populacional da presente pesquisa.

4.1.5 Participação e Controle Social

A importância da participação social para a promoção de justiça social é um reconhecimento entre pesquisadores, segmentos organizados da sociedade e setores políticos progressistas, tendo assumido no Brasil, a partir da Constituição Federal de 1988, uma diretriz para a formulação e implementação de políticas públicas (BRASIL, 1988). A Lei Nacional de Saneamento Básico estabelece o controle social como um dos princípios fundamentais.

Diversos mecanismos podem ser usados para a promoção da participação social, a exemplo da realização de conferências e audiências e consultas públicas, criação de conselhos com participação de diversos segmentos da sociedade, garantia do acesso às informações, dentre outros. Segundo a referida Lei, o controle social deve

ser promovido em todas as funções de gestão, ou seja: no planejamento, na regulação, na prestação dos serviços e na sua fiscalização.

A pesquisa buscou estudar também a participação e controle social nos municípios investigados. Os resultados indicam que em apenas 22,3% dos municípios existe a realização regular de conferência, audiência, reunião para debater o saneamento básico (Figura 39). Em cerca de 52,3% dos municípios existem instâncias de participação como conselho, comitê ou comissão para debater as questões de saneamento básico (Figura 40). Cerca de 37,9% desses espaços de participação têm o caráter deliberativo e 25,5% consultivo e, aproximadamente, 84,7% funciona de forma regular.

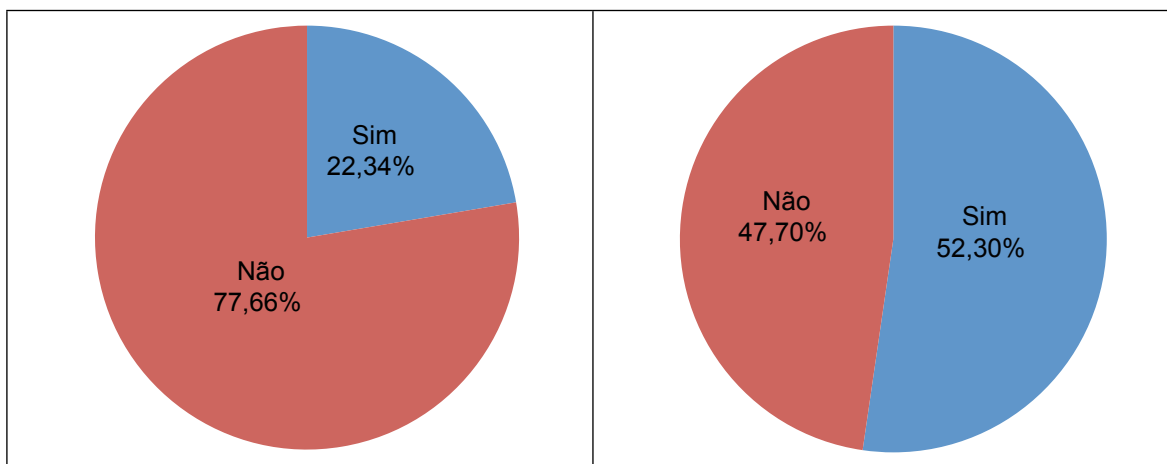


Figura 39 – Existência de realização regular de conferência, audiência, reunião para debater o saneamento básico, em percentual de municípios (n=291), 2010

Figura 40 – Existência de instância (conselho, comitê ou comissão) para discutir o saneamento básico, segundo percentual de municípios (n=283), 2010

De acordo com os dados, dentre os municípios que realizam regularmente de conferência, audiência, reunião 38,5% estão na Região Nordeste e 32,3% na Sudeste (Figura 41). A Região Centro-Oeste apresentou o menor percentual (7,69%).

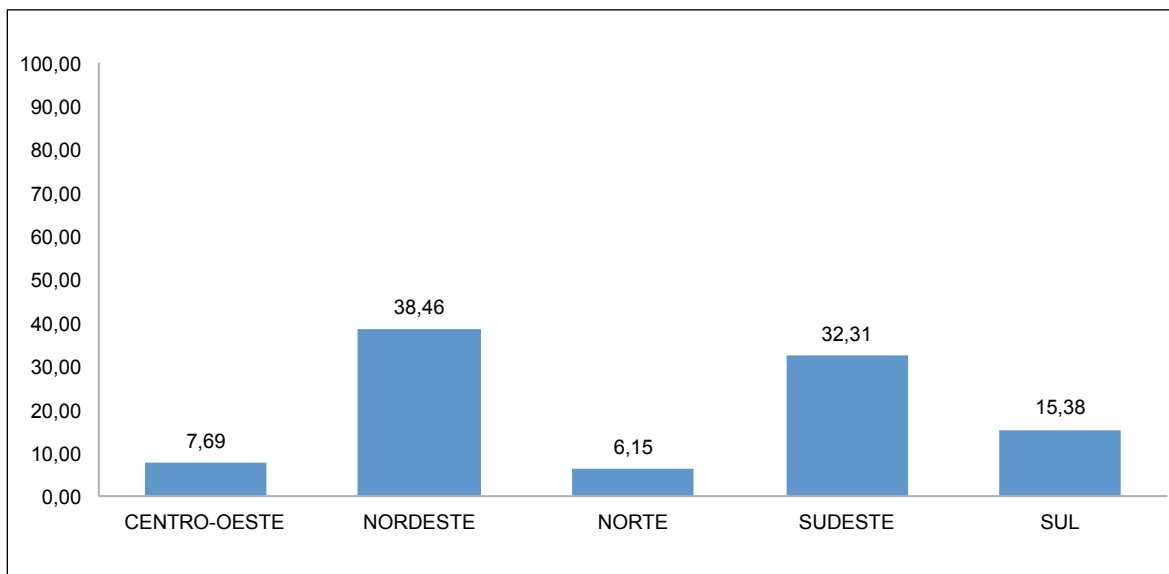


Figura 41 – Percentual de municípios que realizam regularmente conferência, audiência, reunião sobre saneamento básico, segundo as macrorregiões brasileiras (n=65), 2010

Dentre os municípios que dispõem de instâncias de participação para a discussão sobre o saneamento básico, 81,5% estão na Região Nordeste e 69,2% na Região Sudeste (Figura 42). A Região Centro-Oeste apresentou o menor percentual (12,3%).

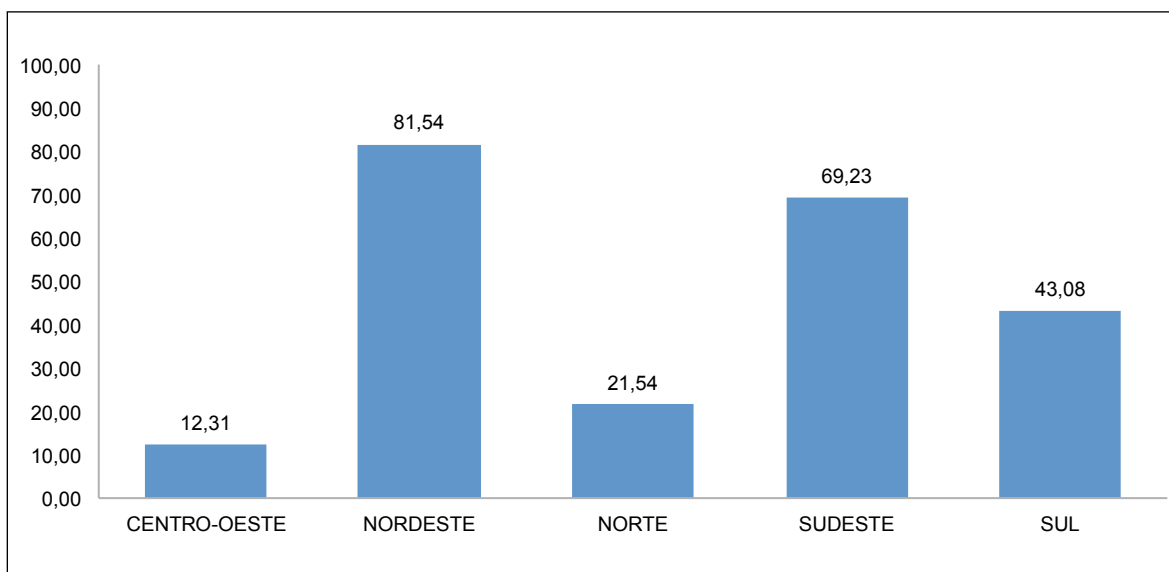


Figura 42 – Percentual de municípios que dispõem de instâncias para a discussão do saneamento básico, segundo as regiões brasileiras (n=148), 2010

Para os informantes, a atuação da sociedade civil nos questionamentos sobre a prestação dos serviços de saneamento é satisfatória em 47,6% dos municípios e insatisfatória em 49,2% (Figura 43).

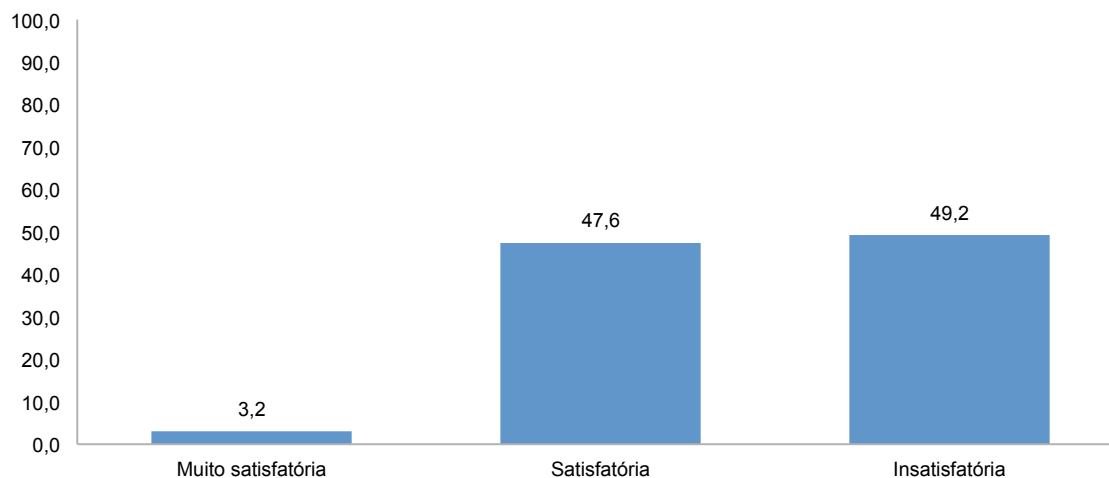


Figura 43 – Qualificação da atuação da sociedade civil, em percentual de municípios (n=250), 2010

Esse quadro da participação social no campo do saneamento básico, nos municípios com população menor que 50.000 habitantes, onde os déficits são mais amplos, revela um importante limite para a conquista da universalização dos serviços no Brasil.

5. Conclusão

O protagonista do atual cenário do saneamento no Brasil é o município, titular dos serviços, que com a Lei nº 11.445/2007 passa a ter um papel claro na prestação dos serviços de saneamento. Além do planejamento, função indelegável a outro ente, a prestação dos serviços, a regulação e a fiscalização podem ser realizadas diretamente ou delegadas a outro ente. Os arranjos de gestão envolvem uma série de decisões, principalmente de ordem política, mas também administrativas e financeiras.

A análise realizada das condições de saneamento nos municípios pesquisados apresentou um quadro de deficiências e assimetrias na prestação dos serviços entre as diferentes componentes do saneamento básico e entre os municípios, principalmente, devido à falta de marco legal para o saneamento básico; à falta de investimentos pú-

blicos na área; à fragilidade da atuação da concessionária estadual de água e esgoto; e às dificuldades dos municípios em exercer o seu papel de titular dos serviços.

A pesquisa indicou a necessidade de melhorar a gestão dos serviços públicos de saneamento básico. Caberia a cada município empreender esforços para organizar as ações de planejamento e instituir instância de controle social que teria a competência de discutir e aprovar de forma democrática e participativa a política e o plano municipal de saneamento básico. As funções de regulação e de fiscalização da prestação dos serviços públicos de saneamento básico de cada município, hoje uma exigência da Lei nº 11.445/2007, poderiam ser exercidas por um ente regulador e fiscalizador municipal ou delegada a um Consórcio Intermunicipal, que seria criado e instrumentalizado para exercer tais funções. O Consórcio também poderia atuar dando apoio às Prefeituras na elaboração de planos, projetos e programas ou no fornecimento de materiais e serviços como, por exemplo, a realização de atividades de vigilância da qualidade da água de consumo humano, o que exigiria a implantação de laboratório.

O estudo identificou quatro tipos para a prestação dos serviços públicos de saneamento básico nos municípios. Dentre os municípios estudados identificou-se que aqueles de maior porte poderiam vir a estruturar um serviço autônomo municipal. Os serviços de água e esgoto de municípios menores, exceto no caso da constituição de um Serviço Intermunicipal de Saneamento Básico, poderiam continuar sendo prestados pelas Companhias Estaduais de Água e Esgoto, a partir de convênios de cooperação entre cada município e os Governos Estaduais e sob condições contratuais diferentes daquelas que vigoraram até hoje.

A decisão quanto à prestação dos serviços de água e esgoto cabe a cada município. No entanto, a decisão para garantir a execução das ações de planejamento, o que envolve formular, acompanhar e avaliar a política e o plano municipal de saneamento básico é urgente e necessária não só para a garantia do atendimento às exigências da Lei nº 11.445/2007, mas, principalmente, para estabelecer os mecanismos, as estratégias e os recursos necessários para a universalização de serviços públicos de saneamento básico de qualidade. A regulação e a fiscalização, também uma exigência da Lei Nacional do Saneamento Básico, podem ser delegadas a Consórcios formados para atender a tal finalidade, devendo, no entanto, tal decisão ser realizada a partir de debates nos municípios e em suas Câmaras Municipais.

A constituição de conselhos municipais, compostos pelos diversos segmentos da sociedade, com competência para deliberar sobre a implementação da política e do plano municipal de saneamento básico se mostra imprescindível para que se garanta a

participação e o controle social e a definição de políticas, planos, programas, projetos e ações voltados para o interesse da maioria.

Os modelos de gestão de serviços públicos de saneamento básico são o resultado de projetos sociais, tendo relação direta com o processo histórico de uma nação, com a economia e com as relações de poder no seio da sociedade. Os modelos são fortemente influenciados por fatores econômicos e políticos e refletem interesses de classe. Essa perspectiva permite um olhar que extrapola o entendimento de que as diferenças entre modelos de gestão relacionam-se a algo específico, isolado e ligado unicamente a questões administrativas e jurídicas. Os nexos entre a economia e a política constantes em projetos sociais distintos devem ser devidamente estudados com vistas à compreensão e ao empoderamento da sociedade para a superação da realidade desigual e de exclusão do acesso aos serviços públicos de saneamento básico no Brasil (ATAÍDE *et al.*, 2010). Os modelos pesquisados apresentam limites e possibilidades.

6. Recomendações para utilização dos resultados pela Funasa

Recomenda-se à Funasa:

- a divulgação dos resultados dessa Pesquisa junto ao seu corpo técnico-funcional, bem como junto aos órgãos municipais, estaduais e federais e as entidades da área de saneamento básico, como a Assemae, a ABES, a Abcon e a Aesbe, dentre outras;
- realizar gestões, junto ao Ministério das Cidades/Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, no sentido de ampliar a participação dos municípios de até 50.000 habitantes no Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico (SINISA), com a incorporação de informações sobre os assentamentos, quilombolas, aldeias indígenas e pequenas localidades cuja prestação dos serviços públicos de saneamento básico se dá por meio de autogestão e envolver esforços para incluir no referido Sistema um módulo sobre gestão dos serviços;
- disseminar informações sobre política e gestão de serviços públicos de saneamento básico para o empoderamento dos movimentos sociais organizados;

- ampliar o apoio financeiro aos municípios com população até 50 mil habitantes para a realização de ações estruturantes e estruturais dos serviços públicos de saneamento básico, bem como rever os critérios de exigibilidade e prioridade utilizados atualmente;
- criar uma linha de apoio financeiro aos municípios com população de até 50.000 habitantes para possibilitar o fortalecimento da capacidade de gestão, para o desenvolvimento de projetos, estudos e capacitação de pessoal, com aquisição de equipamentos para suporte às atividades.
- ampliar o apoio ao planejamento do saneamento básico dos municípios com até 50.000 habitantes, por meio de dotação orçamentária para elaboração de planos, elaboração e disseminação de material didático-pedagógico, realização de seminários e oficinas para capacitação de gestores, técnicos e representantes da sociedade civil organizada, com foco nos representantes de conselhos municipais (de saúde, da cidade, do meio ambiente, dentre outros).
- elaborar estudos visando o estabelecimento de procedimentos e normas técnicas, operacionais, administrativas e financeiras para o suporte à regulação e fiscalização da prestação dos serviços públicos de saneamento básico em municípios com até 50.000 habitantes;
- promover programa de capacitação de profissionais dos gestores e prestadores de serviços públicos de saneamento básico em relação aos aspectos técnico-operacionais (controle de perdas, controle e vigilância da qualidade da água), de planejamento, de regulação/fiscalização, legais, administrativos, contábeis e de educação e comunicação social, por meio de suas Superintendências Estaduais, dos Institutos Federais de Educação, Ciência e Tecnologia e das Universidades;
- proceder a avaliação dos programas, projetos e ações de saneamento básico sob sua responsabilidade quanto a eficiência, efetividade e eficácia dos mesmos.
- buscar a equidade macrorregional com o apoio financeiro aos municípios, melhoria da gestão e prestação dos serviços, capacitação de pessoal, em função dos déficits e da capacidade de gestão dos serviços públicos de saneamento básico, dando maior prioridade a macrorregião Norte;
- estimular e realizar pesquisas sobre as experiências de autogestão e sobre os consórcios públicos de saneamento básico existentes no País.

7. Referências bibliográficas

ATAÍDE, Gabriela de T. V. L; SILVA, Maiara Macedo; BORJA, Patrícia Campos; CHUNG, Yang Borges; MORAES, Luiz Roberto Santos. Percepção de atores sociais sobre os diferentes modelos de prestação de serviços de saneamento básico no Brasil. Revista MAGISTRA, v.22, n. especial, p. 68-75, 2010.

BORJA, Patrícia Campos. Política de Saneamento, Instituições Financeiras Internacionais e Mega Programas: um olhar através do Programa Bahia Azul. 2004. 400f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal Bahia, Salvador, 2004.

BORJA, Patrícia Campos; MORAES, Luiz Roberto Santos. O Acesso às Ações e Serviços de Saneamento Básico como um Direito Social. In: SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 12., 2006, Figueira da Foz. Anais... Figueira da Foz-Portugal: APRH; APESB; ABES, 2006. 1 CD-ROM.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos... Brasília: Diário Oficial União, 03/08/2010.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Programa de Modernização do Setor Saneamento - PMSS. Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento - SNIS. Diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos - 2007. Brasília: MCidades, 2009a.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Programa de Modernização do Setor Saneamento - PMSS. Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento - SNIS. Diagnóstico dos serviços de água e esgoto - 2007. Brasília: MCidades, 2009b.

BRASIL. Lei nº 11.445 de 5 de janeiro de 2007. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico e para a política federal de saneamento básico... Brasília: Diário Oficial União, 08/01/2007.

BRASIL. Lei nº 11.107 de 06 de abril de 2005. Dispõe sobre as normas gerais de contratação de consórcios públicos e dá outras providências. Brasília, Diário Oficial da União, 07/04/2005.

BRASIL. Lei nº 11.079 de 30 de dezembro de 2004. Institui normas gerais para licitação e contratação de parceria público-privada no âmbito da administração pública. Brasília: Diário Oficial União, 31/12/2004.

BRASIL. Conselho Nacional de Saúde. Resolução no 196 de 10 de outubro de 1996. Aprova as diretrizes e normas regulamentadoras de pesquisas envolvendo seres humanos. Brasília, Diário Oficial da União, 16/10/1996.

BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília: Congresso Nacional, 1988.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-IBGE. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008. Rio de Janeiro, 2010.

MORAES, Luiz Roberto Santos; BORJA, Patrícia Campos. Política e Regulamentação do Saneamento na Bahia: situação atual e necessidade de arcabouço jurídico-institucional. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21., 2001, João Pessoa. Anais... Rio de Janeiro: ABES, 2001. 1 CD-ROM.



Saneamento Ambiental, Sustentabilidade e Permacultura em Assentamentos Rurais – Samspar

Coordenador

Bernardo A. N. Teixeira – Departamento de Engenharia Civil – UFSCar

Pesquisadores

Akemi Ino – IAU – USP

Ioshiaqui Shimbo – DeCiv/UFSCar

Jairo R. Jiménez-Rueda – UNESP Rio Claro

Maria Zanin – UFSCar

Rosana Rita Folz – IAU – USP

Marta Casado López- UAM – Espanha

Júlia Zanin Shimbo – UnB

Thaís Helena Martinetti – UFSCar

Bruno Garcia Silva – EESC-USP

Callil João – IAU-USP

Danielle Dutra Felicori – Unicep

Rafael de Barros A. Piccolo – UFSCar

Renata Amaral – EESC-USP

Tiliãno Martin de Siqueira – IAU-USP

Yuri Arten Forte – Unesp – Rio Claro

Organizadora do Resumo Executivo

Rosana Rita Folz – IAU-USP

Resumo

As condições de saneamento ambiental nas zonas rurais são muito precárias, com águas residuárias cinzas lançadas em sua maioria a céu aberto, uso de fossas negras contaminando o solo e o lençol raso, drenagem incipiente causando erosões, baixo uso dos resíduos orgânicos e queima dos demais resíduos. Para dimi-

nuir a ocorrência dos problemas citados, é necessária a integração do projeto da edificação com o de ocupação do lote, com o saneamento ambiental e com a produção de alimentos para obter a otimização do uso do lote e das demais infraestruturas. Nesse contexto está inserido o Projeto Samspar que foi desenvolvido no Assentamento Rural Sepé Tiaraju, SP – Brasil, com o objetivo de estudar alternativas de infraestruturas de saneamento ambiental, capacitando os agentes envolvidos na busca de soluções mais sustentáveis, utilizando técnicas e conceitos da permacultura nos sistemas de saneamento e uso e ocupação adequados dos lotes. Para cada tema investigado foram explicitadas as questões de pesquisa, as estratégias e planejamento da coleta e análise dos dados. Foram realizados encontros com os pesquisadores, com as famílias e profissionais para integração de projetos, concepções teóricas/metodológicas, planejamento e revisão dos planos de intervenção e de pesquisa e dificuldades encontradas e maneiras para superá-las. Os produtos obtidos foram: 1. Realização do zoneamento geoambiental do assentamento. 2. Escolha e implantação do sistema de tratamento de esgoto composto por fossa séptica e círculo de bananeiras. 3. Desenvolvimento e produção de um catavento para bombeamento de água. 4. Projeto e produção de cisterna para armazenamento de água pluvial. 5. Diminuição dos resíduos sólidos gerados no lote através de atividades de educação ambiental. 6. Difusão e montagem de composteiras para aproveitamento dos resíduos orgânicos. O Projeto Samspar procurou contribuir no desenvolvimento de ações em saneamento ambiental e permacultura com a finalidade de melhorar a qualidade de vida e de produção, possíveis de serem aplicados em assentamentos rurais.

Palavras-chave: Saneamento Ambiental, Sustentabilidade, Permacultura, Assentamento Rurais.

Abstract

The environmental sanitation conditions in rural areas are very precarious, with greywater being discharged mostly outdoors, use of cesspits contaminating the soil and the groundwater, incipient drainage causing erosion, low use of organic waste and burning of other waste. To reduce the occurrence of the mentioned problems, it is necessary to integrate the building design with the occupied lot, environmental sanitation and food production for the optimum use of the lot and other infrastructure. In this context it is inserted Samspar Project which was developed in the Rural Settlement Sepé Tiaraju, SP – Brazil, aiming to research alternatives to the infrastructure of environmental sanitation, enabling the stakeholders in the search for more sustainable solutions, using techniques and concepts of permaculture in sanitation systems and appropriate use and occupancy of the lots. For each research theme were explained

the issues of research, strategic planning data collection and data analysis. Meetings were held with the researchers, with families and professionals to integrate projects, theoretical and methodological concepts, planning and reviewing plans and research and to discuss the ways to overcome the difficulties encountered. The products obtained were: 1. Realization of geo-environmental zoning of the settlement. 2. Selection and implementation of a system of domestic wastewater treatment which consists of a septic tank and a circle of banana trees. 3. Development and production of a windmill for water pumping. 4. Design and production of tanks for storing rainwater. 5. Reduction of solid waste generated in the lot through environmental education activities. 6. Diffusion and assembly of composters for using the organic waste. The Samspar Project sought to contribute in actions on environmental sanitation and permaculture in order to improve the quality of life and production in rural settlements.

Key-words: environmental sanitation, sustainability, permaculture, rural settlements.

1. Introdução

Existe uma dificuldade de acesso da população rural de baixa renda à assistência técnica e de extensão rural, principalmente em se tratando de ações de saneamento ambiental. Também há pouco conhecimento sobre temas como a sustentabilidade e a participação nos processos decisórios. Por isso há a necessidade de se analisar as estratégias, condições e obstáculos para implantar ações de saneamento ambiental em assentamentos rurais, com a integração da sustentabilidade, dos processos participativos e do saneamento ambiental.

1.1 Saneamento ambiental no meio rural

A Fundação Nacional de Saúde (Funasa) define saneamento ambiental como:

- “o conjunto de ações, obras e serviços considerados prioritários em programas de saúde pública. Abrange desde o sistema de abastecimento de água (SAA), o cuidado com a destinação de resíduos e o esgotamento sanitário (ES), as melhorias sanitárias domiciliares (MSD), até obras de drenagem urbana, controle de vetores, roedores e focos de doenças transmissíveis. Inclui também a preocupação com a melhoria das condições de habitação e educação sanitária e ambiental” (BRASIL, Funasa, 2011).

Salienta ainda que a ausência desses sistemas (de água, esgotamento sanitário e gestão de resíduos) vem causando sérios problemas ambientais e sociais que afetam

principalmente pessoas de áreas rurais, pequenas cidades e periferia dos grandes centros urbanos.

Pelo Censo Demográfico de 2000 (IBGE), dos 7.460.235 domicílios particulares permanentes no meio rural, 35% não possuíam banheiro ou sanitário, 42% dispõem somente de fossa rudimentar e ainda 4% lançam seus dejetos no rio, lago ou mar. Os resíduos sólidos considerados lixo são queimados em 47% das propriedades e em 26% simplesmente são jogados em terreno baldio ou logradouro. O abastecimento de água vem em sua maioria (59%) de poço ou nascente da propriedade e apenas 18% são atendidos pela rede geral (BRASIL, IBGE, 2000).

O grande desafio é tratar de uma demanda pulverizada, representada por essa população rural, que ocupa de forma espalhada diversas áreas do território nacional. Por outro lado, essa especificidade denuncia a necessidade de políticas públicas que apoiem investimentos regionais e ações locais de saneamento ambiental com programas flexíveis que possam atender comunidades com características específicas.

1.2 Sustentabilidade e saneamento ambiental

A discussão de princípios e estratégias gerais sobre a sustentabilidade, em diferentes escalas temporais e espaciais, indica a integração entre as seguintes dimensões: ambiental – procurar manter a integridade ecológica; social – viabilizar uma maior equidade de riquezas e de oportunidades; econômica – realizar o potencial econômico priorizando a distribuição de renda e reduzindo impactos socioambientais desfavoráveis; e política – criar mecanismos que incrementem a participação da sociedade nas tomadas de decisão (SILVA, 2000).

A questão que aparece é como incorporar os conceitos e princípios da sustentabilidade em saneamento ambiental. Atualmente tem surgido um novo conceito de saneamento mais sustentável: o saneamento ecológico.

O conceito se baseia na separação dos resíduos domésticos em um ciclo das águas e um ciclo de nutrientes e energia, conforme suas características em termos de volume, teor de nutrientes e contaminação biológica. Por exemplo, a urina e fezes se relacionam com o ciclo dos nutrientes, a água cinza e pluvial com o ciclo das águas. Em lugar de um sistema linear é proposto um sistema de ciclo fechado: os excrementos, uma vez desinfetados, podem ser usados com segurança como fertilizantes para a produção de alimentos, assegurando a sustentabilidade do sistema (COHIM e COHIM, 2007).

Porém a dificuldade de acesso às informações existentes sobre sistemas locais de tratamento de efluentes faz com que as pessoas desconheçam a maioria dos sistemas que utilizam esse conceito.

A dimensão política da sustentabilidade tenta mudar esse cenário, pois enfatiza a participação das pessoas na tomada de decisão, gestão e controle coletivo dos processos de produção, por meio da compreensão da realidade, do acesso às informações e da análise das diferentes alternativas (SILVA e SHIMBO, 2006).

1.3 Dimensão política da sustentabilidade e saneamento ambiental

A dimensão política da sustentabilidade enfatiza a participação das pessoas na tomada de decisão, gestão e controle coletivo dos processos de produção, por meio da compreensão da realidade e da análise das diferentes alternativas (SILVA e SHIMBO, 2006). A utilização de processos participativos permite o acesso ao conhecimento existente e possibilita a integração entre o pesquisador e ator, com a busca de resultados que beneficiem a todos.

A pesquisa-ação participativa está no âmbito de mudança da realidade social do local, no acesso ao conhecimento e troca de experiências entre pesquisadores e comunidade.

A participação das pessoas é importante para garantir maior sustentabilidade nos processos de tomada de decisão, como abordado nessa discussão. Porém ela ainda precisa ser trabalhada e incentivada. Processos participativos em ações de saneamento ambiental são quase inexistentes pela ausência de incentivos a essa prática e de preocupação da população com relação a essa questão. Poucos autores abordam processos participativos em assentamentos rurais sobre saneamento ambiental, por isso a importância desse debate. É preciso compreender a dinâmica dos sistemas de saneamento na realidade brasileira, que é agravada pelas discrepâncias entre as classes.

1.4 Permacultura e saneamento ambiental

O conceito, estudos e experiências de permacultura foram apresentados pela primeira vez em 1978, pelos estudos de Bill Mollison e trata sobre os projetos de habitats humanos mais ecológicos e sistemas de produção de alimento. É o uso da terra, integrando a edificação, o microclima, as plantas, animais, água na paisagem. O principal tema da permacultura é o projeto de paisagens ecológicas que produzem

alimento, tratando também de edificações “energético-suficientes”, tratamento de águas residuárias, reciclagem, bom uso da terra (ATTRA, 2006).

O zoneamento utilizado na Permacultura é uma estratégia para tomada de decisões em função das necessidades de deslocamentos entre edificação (casa ou edifício) e os elementos a serem projetados na área. Esse zoneamento prevê cinco zonas: Zona zero – nessa área, situa-se o centro das atividades (a casa, o edifício, a área de trabalho, ou o centro da comunidade) e seu projeto deve se ajustar às necessidades de seus ocupantes e de preferência utilizar os princípios da Arquitetura Bioclimática; Zona 1 – é a área mais próxima da edificação onde se situam os elementos que exigem atenção e, portanto, visitas diárias (hortas de ervas culinárias e aromáticas, jardim, viveiros, pequenas árvores frutíferas, composteiras); Zona 2 – as atividades nessa área não necessitam ser feitas diariamente, sendo em períodos mais espaçados como semanais (pomar); Zona 3 – a partir dessa área, o zoneamento aplica-se especialmente às áreas rurais (plantio de roça, animais leiteiros); Zona 4 – nessa área ficam os animais de pasto e as agro-florestas silvestres a serem visitados periodicamente; Zona 5 – é a área de reserva biológica onde são observadas as estratégias da própria natureza, onde se possa preservar a maior variedade possível de nichos (RODRIGUES, 2000, p.42-43). Portanto, é importante ter um conhecimento do local (relevo, recursos hídricos, solo, vegetação, nutrientes, etc), de modo a se consumir o mínimo necessário de energia e trabalho (ANDRADE e ROMERO, 2004).

As relações entre saneamento ambiental e permacultura referem-se às possibilidades e limites para a incorporação dos princípios e das práticas de permacultura a serem utilizadas durante o processo de ocupação e uso dos espaços em assentamentos rurais.

1.5 Assentamentos rurais e o Programa de Desenvolvimento Sustentável – PDS

Até 2006, existiam no Brasil 913.046 famílias em 7.666 assentamentos rurais (GIRARDI, 2011). No território do Estado de São Paulo encontram-se cerca de 15.000 famílias em Projetos de Assentamentos federais e estaduais (INCRA, 2009). Porém, a conquista da terra concretizada pelos assentamentos não significa necessariamente a conquista de infra-estrutura social (saúde, educação, transporte e moradia) e produtiva (terras férteis, assistência técnica, eletrificação, apoio crédito e comercial) (BERGAMASCO, 1997).

Para tentar amenizar os efeitos de uma política de reforma agrária concentrada em uma simples distribuição de terras, Freitas (2008) descreve o Programa de Desen-

volvimento Sustentável (PDS), criado pelo Incra em 1999, como um modelo alternativo para uso e ocupação do solo de forma sustentável com base em uma gestão coletiva e cooperativista para evitar o parcelamento da terra com titulação individual.

1.6 O Assentamento Rural Sepé Tiaraju – Serra Azul – SP

O Assentamento Rural Sepé Tiaraju criou juntamente com o Incra, Ministério Público e MST uma proposta de assentamento modelo, “fundamentado numa agricultura familiar camponesa e num modelo de cultivo orgânico conhecido como o PDS” (FREITAS, 2008, p.754). Além de buscar uma forma mais sustentável para garantir a vida no assentamento, as famílias, juntamente com o Grupo Habis (IAU-USP/UFSCar), conseguiram recursos financeiros subsidiados pela parceria entre Caixa Econômica Federal e Incra, pelo Programa Carta de Crédito Pessoal para Operações Coletivas, para construir suas casas.

As famílias do Assentamento Rural Sepé Tiaraju, estando inseridas no PDS, assinaram no dia 09 de fevereiro de 2007 o Termo de Compromisso de Ajustamento de Conduta (TAC) juntamente com o Ministério Público, representado pelos Promotores de Justiça do Meio Ambiente e de Conflitos Fundiários, e o Incra – Instituto Nacional de Colonização. Esse TAC é o instrumento que estabelece regras de proteção ambiental e de produção agroecológica no assentamento e de educação socioambiental da comunidade dos assentados da reforma agrária, aumentando as possibilidades de implementação de tecnologias mais sustentáveis para habitação e infraestruturas de saneamento ambiental.

A área do assentamento é de 797 ha onde estão assentadas 79 famílias, as quais estão organizadas em quatro núcleos: Núcleo Zumbi dos Palmares (21 famílias), Núcleo Chico Mendes (19 famílias), Núcleo Dandara (19 famílias) e Núcleo Paulo Freire (20 famílias).

Atualmente está sendo finalizada a construção de 77 habitações com recursos financeiros subsidiados pela parceria entre Incra e Caixa Econômica Federal, pelo Programa Carta de Crédito Pessoal para Operações Coletivas, que integrados compõem o valor total da obra.

Com relação aos sistemas de saneamento, a água para abastecimento das casas do assentamento provém de captação por meio de poços rasos e minas. Foi implementado um projeto pelo Incra para abastecimento de água por meio de redes, utilizando um poço profundo do Aquífero Guarani, mas que tem apresentado problemas

constantes de distribuição. A implantação de um sistema de tratamento de esgoto em cada lote passou a ser uma das metas do Projeto Samspar.

O presente estudo abarca as questões de saneamento ambiental e sustentabilidade aliados ao conceito de permacultura em assentamentos rurais, tendo em vista a atual situação dessas áreas. Com base nessas premissas, o Projeto Samspar foi subdividido em sete diferentes metas que abordam temas referentes ao zoneamento geoambiental, tratamento de efluentes sanitários alternativo, uso da energia eólica para bombeamento de água, armazenamento de águas pluviais, caracterização dos resíduos sólidos inorgânicos, uso dos resíduos orgânicos e uma meta de produção de material para divulgação dos resultados da pesquisa.

2. Objetivos

O objetivo geral do Projeto Samspar é estudar alternativas de infraestruturas de saneamento ambiental (abastecimento de água, uso de água pluvial, tratamento de esgoto e resíduos sólidos) em assentamento rurais, capacitando os agentes envolvidos na busca de soluções mais sustentáveis, utilizando técnicas e conceitos da permacultura nos sistemas de saneamento e uso e ocupação adequados dos lotes, priorizando recursos locais e renováveis e a participação das famílias no processo de decisão, tendo em vista: a) produção de conhecimento de técnicas de saneamento ambiental com base na permacultura e a partir do zoneamento geoambiental, analisar as vulnerabilidades do meio físico (pesquisa) simultaneamente a ação na realidade social (extensão); b) formação (ensino) de diferentes pessoas (famílias do assentamento, estudantes), técnicos (engenheiros civis, agrônomos, arquitetos), estudantes de vários cursos de graduação e pós-graduação e agentes sociais (técnicos do Incra-SP); c) Participação organizada das famílias nos processos de tomada de decisão, nas várias etapas do processo de produção das infraestruturas de saneamento ambiental.

2.1 Objetivos específicos

- META 1 – ZONEAMENTO GEOAMBIENTAL – Elaborar o zoneamento geoambiental como subsídio ao planejamento adequado e participativo do saneamento ambiental e uso e ocupação do assentamento rural, com fins de definir as vulnerabilidades do meio físico principalmente para implantação de obras de saneamento, visando à conservação ambiental e qualidade de vida das famílias assentadas.

- META 2 – TRATAMENTO DE ESGOTO – Implantar sistema local de tratamento de efluentes sanitários residenciais, não convencionais, levando em conta a participação das famílias no processo de escolha e construção do sistema, a disponibilidade de recursos financeiros existentes e impactos ambientais, para as 77 famílias do Assentamento Rural Sepé-Tiaraju, Serra Azul-SP.
- META 3 – ENERGIA EÓLICA – Analisar a viabilidade de uso de energia eólica para captação de água para consumo de pessoas e animais e na irrigação em áreas coletivas e no lote.
- META 4 – ÁGUAS PLUVIAIS – Capacitar as famílias para manejo mais sustentável de águas pluviais rurais para consumo não potável e diminuição da erosão nos lotes.
- META 5 – RESÍDUOS SÓLIDOS INORGÂNICOS – Capacitar as famílias para coleta, destinação e reaproveitamento de resíduos sólidos.
- META 6 – RESÍDUOS ORGÂNICOS – Implantar alternativas de uso dos resíduos orgânicos para serem utilizados na produção de alimentos no lote.
- META 7 – MATERIAL DE DIVULGAÇÃO – elaborar uma publicação ilustrada com as experiências do Projeto enfatizando o processo e organização coletiva necessária para a implantação de cada meta, mostrando a adequação do conhecimento técnico na realidade dos assentamentos rurais.

3. Métodos

A estratégia geral do projeto proposto foi a pesquisa-ação, que segundo Thiollent (2009, p 16) “é um tipo de pesquisa social com base empírica que é concebida e realizada em estreita associação com uma ação ou com a resolução de um problema coletivo e no qual os pesquisadores e os participantes representativos da situação ou do problema estão envolvidos de modo cooperativo ou participativo”.

A pesquisa-ação pode ser assim qualificada quando houver realmente uma ação por parte das pessoas ou grupos implicados no problema sob observação. Com isso produz-se conhecimento sobre diferentes áreas juntamente com a ação na realidade, formando diversas pessoas (estudantes de diferentes níveis e cursos, famílias do assentamento), profissionais (arquitetos, engenheiros civis, ecólogos, engenheiros agrônomos e ambientais) e agentes públicos e sociais (técnicos do Incra-SP, representantes de

agricultores familiares do Assentamento e da região de Ribeirão Preto), aumentando as possibilidades da interdisciplinaridade nas ações e estudos a serem realizados.

Para cada tema investigado foram explicitadas as questões de pesquisa, as estratégias e planejamento da coleta e análise dos dados. Foram realizados encontros periódicos com os pesquisadores, as famílias e profissionais para integração de projetos, concepções teóricas/metodológicas, planejamento e revisão dos planos de intervenção e de pesquisa, dificuldades encontradas e maneiras para superá-las.

Foram utilizadas pesquisas de levantamento em literatura específica, catálogos de fabricantes, internet para cada estudo a ser realizado e visitas técnicas a experiências desenvolvidas. Foram realizadas reuniões periódicas da equipe de pesquisadores para monitoramento e avaliação das atividades implementadas, das dificuldades e conflitos identificados e para planejamento estratégico das várias metas e operações.

Foram feitas visitas periódicas ao Assentamento (distante aproximadamente 130 Km de São Carlos) pela equipe Habis, parceira do Projeto, para monitoramento e encaminhamentos das ações e recursos necessários para a construção das 77 moradias e acompanhamento da execução do tratamento de esgoto.

A estratégia geral de aprendizagem utilizada foi aprender-fazendo e refletindo sobre as práticas. Em diferentes espaços de aprendizagem (reuniões, visitas às experiências práticas identificadas, visitas ao assentamento, seminários, etc) utilizaram-se diferentes técnicas de planejamento (mapas cognitivos, análise de cenários, análise de atores, viabilidade e vulnerabilidade, planilha de ações, etc), programação e monitoramento de ações.

4. Resultados

Ao longo do projeto foram implantadas as sete diferentes metas com o objetivo de estudar e desenvolver alternativas de saneamento ambiental e permacultura juntamente com os moradores do assentamento. O Zoneamento Geoambiental gerou diversos mapas das condições geográficas e ambientais do Assentamento, foram construídas as fossas sépticas vinculadas ao círculo de bananeiras como opção escolhida pelos moradores para o sistema de tratamento de esgoto, desenvolveu-se um catavento de baixo custo para o bombeamento de água, três cisternas para armazenamento de água de chuva foram construídas juntamente com os moradores, estando estes capacitados para reproduzirem outras unidades, atividades de educação ambiental foram desenvolvidas com algumas famílias e implantaram-se composteiras para o uso

do resíduo orgânico. Está sendo preparado material de divulgação com as experiências para auxiliar na reaplicação dos projetos em outras comunidades.

4.1 Zoneamento geoambiental – realização do zoneamento geoambiental do Assentamento Sepé Tiaraju

O zoneamento geoambiental é um estudo integrado do ambiente que visa o planejamento da paisagem segundo suas potencialidades e limitações do uso da terra. Tais potenciais são apontados principalmente pelas características do meio físico, como as geológicas, climáticas, pedológicas e hidrológicas, além da integração com outros fatores ambientais e sociais.

Shimbo & Jiménez-Rueda (2007) ressaltaram que o zoneamento geoambiental pode ser um dos caminhos no Brasil para contrabalancear a ausência de diagnósticos ambientais eficientes em projetos de reforma agrária. A carência desses estudos pode contribuir negativamente para a situação ambiental nos assentamentos rurais através de processos erosivos, desgaste do solo e assoreamentos de corpos d'água, como também prejudicar a situação socioeconômica das famílias assentadas.

Nessa meta foram elaborados os seguintes mapas da região do Assentamento Rural Sepé Tiaraju: drenagem, mapas fisiográfico e morfoestrutural, zonas e subzonas geoambientais, mapas de declividade e de suscetibilidade à erosão (Figura 1), de áreas indicadas à proteção ambiental e de aptidão agrícola.

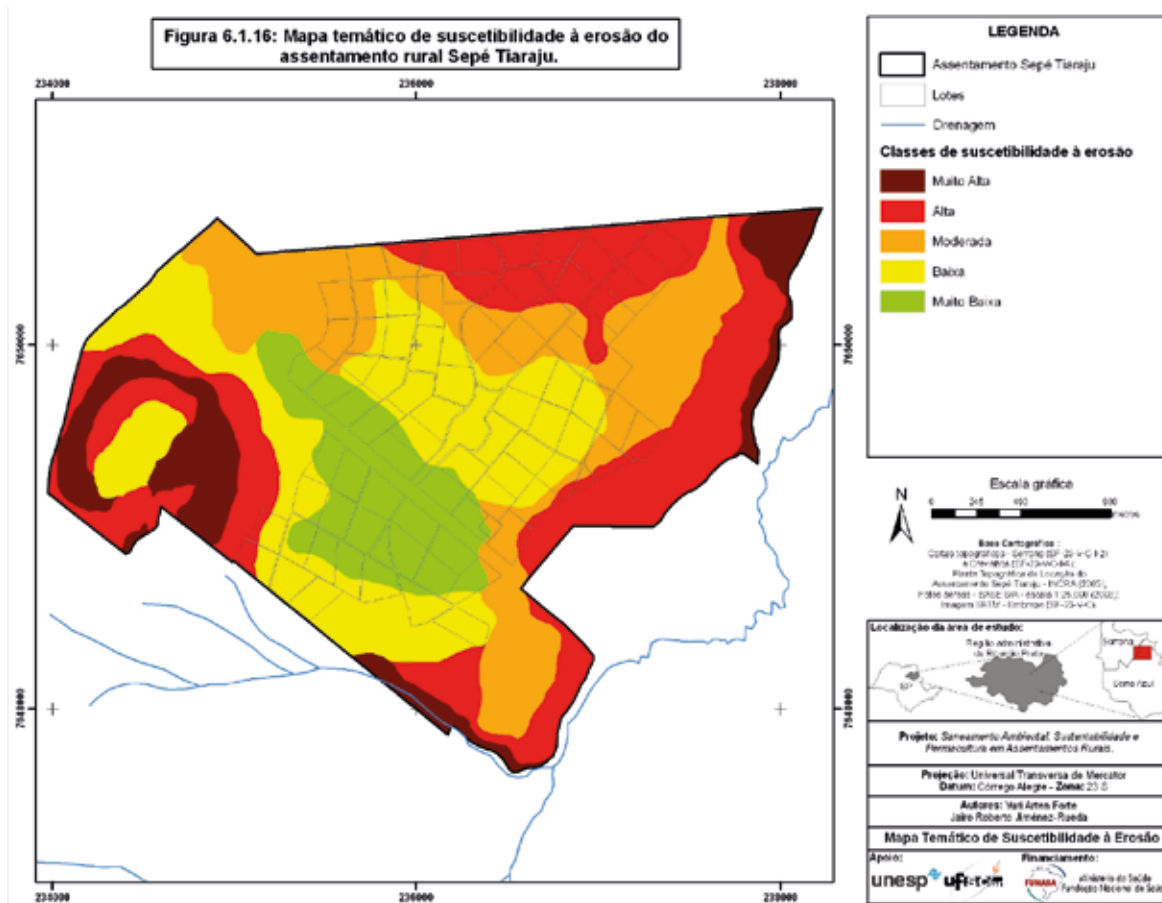


Figura 1 – Mapa temático de suscetibilidade à erosão do assentamento rural Sepé Tiaraju. Um dos mapas gerados pela realização do Zoneamento Geoambiental – Fonte: Teixeira *et al.* (2011)

O ideal seria a realização do zoneamento geoambiental (conhecimentos geológicos, climáticos, hidrológicos, geomorfológicos, pedológicos e ecológicos) da área destinada ao assentamento antes da realização do parcelamento do solo. Esse zoneamento iria definir, como resultado de seus estudos, qual seria a melhor área para cada tipo de atividade rural, tanto em consideração aos princípios da permacultura quanto à fertilidade do solo, drenagem pluvial, recuperação de áreas degradadas e áreas de preservação ambiental.

Como isso não ocorreu antes do parcelamento do solo, pois o Projeto Samspar se iniciou em um assentamento já implantado, os resultados serviram para mostrar as áreas mais suscetíveis à erosão e de melhor aptidão agrícola, mostrando que os lotes em situações mais desprivilegiados precisarão adotar ações de correção de fertilidade

do solo. O mapa de drenagem está servindo de subsídio para projetos de manejo do uso de águas pluviais, nova demanda surgida com a capacidade de armazenamento propiciada com a construção de cisternas (meta 4 – águas pluviais).

4.2 Tratamento de efluentes sanitários – implantação de fossa séptica com círculo de bananeiras

Poucos estudos abordam sistemas locais de tratamento de efluentes sanitários residenciais, necessários para atender a população que vive nas áreas rurais e em locais pouco adensados. Sabe-se que na zona rural há a predominância do uso de fossas negras ou rudimentar, principalmente por ser uma solução de baixo custo, simples operação e manutenção, ausência de consumo de água, aplicável em diferentes tipos de terrenos e permite o uso de diversos materiais de construção (BRASIL, Funasa, 2006).

A disponibilidade de recursos financeiros influencia na escolha da técnica de tratamento a ser utilizada e no grau de tratamento. Quanto maior o grau de tratamento do efluente, maior o custo do sistema. Para o caso de população rural de baixa renda, o sistema deve ser de fácil aquisição e operação e manutenção, para que os custos ao longo do tempo sejam reduzidos. A busca por técnicas mais sustentáveis, que usam materiais locais e renováveis auxiliam na obtenção da redução dos custos dos sistemas.

Ao longo do processo de construção das casas no assentamento, surgiu a questão de que tipo de tratamento de efluentes sanitários deveria ser construído tendo em vista o comprometimento com o TAC e considerando que a área ocupada é de recarga do aquífero Guarani.

Com a participação dos moradores foi escolhido o sistema de fossa séptica com círculo de bananeiras (Figura 2) após a análise de várias outras alternativas para tratamento de águas cinzas (sistema modular para separação das águas e sistema circuito fechado) e de águas negras (vala de infiltração, círculo de bananeiras, banheiro seco e sistema modular com separação das águas).

Além do processo participativo ter permitido a adoção de técnicas não convencionais de acordo com os recursos financeiros disponíveis, possibilitou também o “acesso ao conhecimento de uma população de baixa renda às técnicas existentes, de modo que pudessem fazer suas escolhas de acordo com sua realidade local e necessidades pessoais” (MARTINETTI, p.200, 2009).

Está sendo gradativamente construído esse sistema conjugado de fossa séptica com círculo de bananeiras em todos os lotes (Figuras 3 e 4), orientado inicialmente pela equipe técnica que capacitou um morador/pedreiro para apoio no acompanhamento da construção do sistema nos lotes do assentamento. A grande dificuldade, no entanto, é o funcionamento do sistema sem um abastecimento de água contínuo, situação enfrentada pelos moradores devido aos problemas constantes na rede de distribuição.

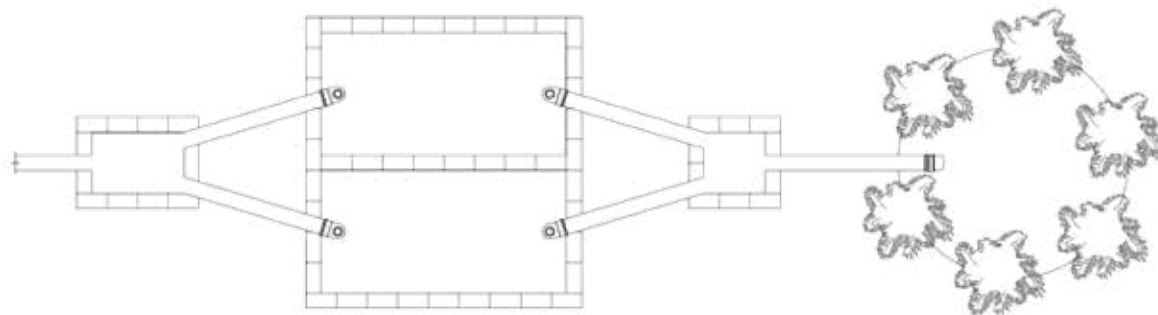


Figura 2 – Esquema do sistema fossa séptica prismática com círculo de bananeiras

Fonte: Teixeira *et al.* (2011)



Figura 3 – Fossa séptica

Fonte: Teixeira *et al.* (2011)



Figura 4 – Círculo de bananeiras

Fonte: Teixeira *et al.* (2011)

4.3 Energia eólica – desenvolvimento de catavento e sistema de bombeamento de água

De um lado existe uma deficiência no abastecimento de água e de outro um período do ano com altos índices pluviométricos. Essa realidade do assentamento demandou o estudo de alternativas para minimizar a carência e potencializar a abundância. A utilização das águas pluviais captadas em cisternas ou lagos de contenção fica dependente de um bombeamento para um reservatório superior, para posterior utilização dessas águas, principalmente nas plantações. Como alternativa para o bombeamento foi desenvolvido um catavento (tipo Savonius – Figura 5), produzido com materiais reutilizados e de baixo custo. Esse catavento vai gerar a energia suficiente para bombear a água de um reservatório inferior para um superior.

Também com materiais reaproveitados, foi produzido um sistema de transmissão do movimento do catavento para a bomba d'água (Figuras 6 e 7). Esse protótipo será levado ao assentamento e adaptado às condições das famílias (escolha de materiais e técnica construtiva). Além disso pretende-se inserir o sistema de energia eólica/bombeamento em um projeto de manejo de águas pluviais a ser apresentado para os moradores com possibilidades de implantação nos lotes.



Figura 5 – Catavento

Fonte: Teixeira *et al.* (2011)

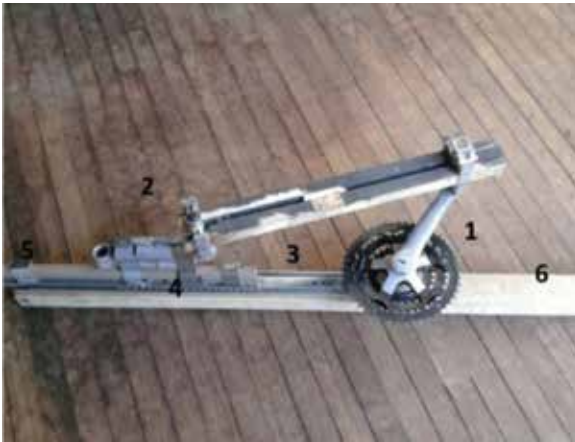


Figura 6 – Sistema de transmissão – (1) Pé de vela de bicicleta usada; (2) Pedal esquerdo de uma bicicleta usada; (3) Corrediça; (4) Braçadeiras de cano; (5) Eixo da bomba; (6) caibro de sustentação

Fonte: Teixeira *et al.* (2011)



Figura 7 – Transmissão conectada ao eixo por corrente de bicicleta

Fonte: Teixeira *et al.* (2011)

A elaboração de um sistema eólico para bombeamento de água em assentamentos rurais é uma forma simples de economizar energia elétrica ou combustível. O sistema eólico pode funcionar bem em propriedades rurais, pois não existem muitos obstáculos para o vento. Na análise de rotores identificou-se que o mais simples e que atende as necessidades de bombeamento de água, é o rotor Savonius.

O protótipo do rotor Savonius acoplado a uma bomba pistão artesanal mostrou que é possível a produção de pequenos cataventos de baixo custo, onde o agricultor tem total controle de sua fabricação e manutenção. No entanto, esse protótipo precisa agora passar para a fase de construção no assentamento rural para que possa ser avaliado e aperfeiçoado, podendo posteriormente ser reaplicado em qualquer área rural.

4.4 Águas pluviais – produção de cisternas

A produção de cisternas faz parte de uma ação maior de manejo de águas pluviais. Nesse Projeto procurou-se encontrar alternativa de produção de reservatório de baixo custo com a incorporação da participação dos moradores no desenvolvimento do projeto. Com o intuito de facilitar a produção no assentamento e poder gerar trabalho e renda, pensou-se em uma solução de pré-fabricação *in loco* das partes que compõem a cisterna (Figura 8). Chegou-se então em um modelo de reservatório de 21.000 l. de capacidade que considerou o baixo custo, a fácil reaplicação e a produção seriada.

As etapas de produção se resumem em: concretagem da base, concretagem das laterais de argamassa armada (compostas por paletas semicirculares) e dos elementos da tampa, montagem e solidarização do conjunto (Figura 9). Um grupo de cinco pessoas consegue construir esse reservatório em dois dias.



Figura 8 – Concretagem das laterais da cisterna
Fonte: Teixeira *et al.* (2011)



Figura 9 – Cisterna montada
Fonte: Teixeira *et al.* (2011)

Acredita-se que a reaplicação continuada do modelo de cisterna desenvolvido trará novas formas de produzi-lo assim como aparecerão novas possibilidades construtivas. No entanto, o modelo aqui descrito já apresentou resultados satisfatórios em sua forma, em sua facilidade reprodutiva e em seu custo final. Cada paleta possui 2,25 m² de área lateral e demora cerca de 10 minutos para ser produzida, apresentando grande vantagem em termos de economia de tempo. Essa velocidade se deve principalmente ao trabalho simplificado: a pessoa que está derramando a argamassa só trabalha com uma única ferramenta – a colher de pedreiro – e sua única preocupação é manter a espessura e as dimensões dentro dos limites estabelecidos.

Também é importante esclarecer que o reservatório é apenas uma parte da proposta – aquela em que o uso de tecnologia exige maior controle. Existe ainda um conjunto de técnicas identificadas ao longo da pesquisa que juntas compoariam o “Plano de Manejo das Águas Pluviais”, divulgado e debatido junto com alguns assentados. Nesse plano, a diretriz geral é utilizar todo o volume gerado pelo escoamento superficial através de técnicas conhecidas e consagradas.

O plano de manejo completo seria um conjunto de ações do qual o reservatório é apenas uma parte. O resultado esperado seria fazer com que o volume do escoamento superficial permaneça o maior tempo possível no lote, seja porque escoou mais

lentamente sobre o solo, sendo absorvido pelas plantas ou porque foi reservado para ser incorporado nas cadeias produtivas do lote.

Para se obter bons resultados nesse campo, é importante que a assessoria possua conhecimento técnico e repertório construtivo na área de intervenção. É importante também a vivência do técnico nessa área, pois se as soluções a serem apresentadas forem desenvolvidas longe da realidade de aplicação, corre-se o risco de insucesso. Por isso, desenvolveu-se esse projeto numa dinâmica de convivência com assentados, incorporando dados do lugar bem como buscando entender o cotidiano das famílias.

4.5 Resíduos sólidos inorgânicos – atividades de educação ambiental

Como o serviço de coleta de resíduos domésticos rurais atinge apenas 13,3% dos domicílios brasileiros (BRASIL, IBGE, 2000), os agricultores acabam fazendo a escolha mais fácil e cabível para eles: queimam ou enterram os seus resíduos como alternativa de disposição final. A primeira ação para evitar a queima e o enterramento do “lixo” seria a educação ambiental como forma de despertar a consciência sobre a questão da geração, coleta e destinação dos resíduos. Por meio da disseminação de informações se inicia a primeira fase de sensibilização para posterior organização de ações mais efetivas sobre os resíduos sólidos gerados no assentamento, em planos de manejo.

Nesse contexto foram desenvolvidas atividades de educação ambiental com um grupo de moradores (Figura 10). Utilizaram-se exposições audiovisuais sobre a geração de lixo atual, as consequências dessa produção (problemas) e os tipos de destinação existentes atualmente (lixão, aterro controlado, aterro sanitário, incineração, coleta seletiva e compostagem). Comentou-se também sobre o tipo de destino que é dado no município de Serra Azul, aterro controlado, e quais os problemas inerentes a esse destino. O tema da coleta seletiva foi abordado de maneira enfática na necessidade de separação dos resíduos, frente também a questão social, de colaborar e ajudar cooperativas de catadores ou catadores informais. Esse tema foi trabalhado com as crianças em uma “Gincana do Lixo” (Figura 11), onde os grupos tinham que separar corretamente os resíduos. Foi realizada também uma oficina de papel reciclado quando aproveitou-se para explicar sobre como é feito o papel de maneira industrial, quais são os componentes químicos empregados, a origem do recurso natural utilizado para fabricá-lo e também sobre as consequências derivadas do consumo excessivo de papel.



Figura 10 – Atividades de educação ambiental
– Apresentação de slides sobre
resíduos

Fonte: Teixeira *et al.* (2011)



Figura 11 – Gincana do lixo

Fonte: Teixeira *et al.* (2011)

A motivação para uma melhor gestão dos resíduos gerados em cada domicílio passa necessariamente por uma educação ambiental para se tomar conhecimento sobre toda sua cadeia e sobre as consequências ambientais da destinação incorreta dada aos resíduos.

Notou-se a importância dos encontros feitos com os moradores do assentamento, até mesmo para mudar a rotina dos assentados e das crianças, que apesar de terem um espaço lúdico todos os sábados com as irmãs católicas que residem no assentamento, não trabalham temas relacionados ao meio ambiente.

Porém, percebeu-se que esse processo deve ser contínuo e permanente para que haja maior envolvimento dos assentados, facilitando assim o desenvolvimento das atividades e de decisões e conversas sobre temas ambientais. Mesmo assim, foi possível inculcar ideias e reflexões sobre alguns cuidados que pode-se ter na tentativa de minimizar alguns dos grandes impactos que hoje são causados por meio de ações inconscientes dos seres humanos.

Em relação à participação, a mesma não foi muito elevada em nenhum dos dias. Em cada atividade participaram aproximadamente dez pessoas. Mesmo com essa baixa frequência, os presentes se envolveram muito com as atividades. Foi extremamente rico o encontro entre diferentes gerações (crianças e adultos), que proporcionou uma troca de saberes promovendo uma integração positiva, principalmente para o aprendizado mútuo sobre hábitos de consumo e vida em geral.

Outra atividade que poderia ter sido desenvolvida com os moradores do assentamento seria uma visita ao aterro sanitário de Serra Azul que é classificado como controlado, segundo o “Inventário estadual de resíduos sólidos domiciliares 2010” (SAVASTANO NETO, 2011). Uma cooperativa faz a triagem dos resíduos recicláveis em um espaço anexo ao aterro. O impacto de uma visita ao aterro sanitário é pedagógico e ilustrativo no intuito de dar uma dimensão do volume de lixo gerado por uma cidade de apenas 11.259 habitantes (BRASIL, IBGE, 2011), como é o caso de Serra Azul.

Por fim, vale destacar que essas atividades e os valores que se tentaram transmitir ao longo do seu desenvolvimento correm o risco de serem esquecidos se não for um processo continuado e com objetivos bem definidos, buscando uma ação mais global e participativa entre todos. Dessa maneira pontual, é pouco notável a mudança em prol da sustentabilidade da área rural, valendo pensar em um programa contínuo de educação ambiental a ser implantado nos assentamentos.

4.6 Resíduos orgânicos – montagem de composteiras

No Brasil, a agricultura é muito dependente de adubos químicos, dos quais 75% de seus nutrientes são importados (MOUTINHO, 2009). Para a agricultura familiar o custo desses adubos é significativo.

Levando isso em consideração, apresentou-se aos moradores do local, diferentes formas de lidar com os resíduos provenientes da lavoura e pasto (Figura 12), inserindo o produto novamente no ciclo de produção da família, visando melhorar a qualidade do produto e diminuir ou eliminar a dependência de produtos comercializados.

As atividades se iniciaram com o mapeamento dos moradores interessados no projeto. Depois foi mostrada uma tabela para os participantes com os diversos tipos de composteiras. A maioria escolheu a leira (Figura 13). Elaborou-se uma cartilha explicativa sobre a compostagem e as atividades dos moradores foram acompanhadas com fichas individuais.



Figura 12 – Oficina de apresentação sobre a compostagem



Figura 13 – Formando a leira

Fonte: Teixeira *et al.* (2011)

Fonte: Teixeira *et al.* (2011)

Todos os participantes que iniciaram o processo de compostagem completaram o ciclo de atividades, não havendo desistências sem justificativas. Foi possível identificar em relatos o desenvolvimento e aumento de compreensão do processo por parte de todos os envolvidos (Figura 14), sendo que em diversos momentos de atividades coletivas, ao surgimento de alguma dúvida, os próprios assentados respondiam aos seus companheiros, de forma clara e segura. Foi possível notar também o surgimento de outras pessoas interessadas em compostagem ao logo do processo de assessoria, sendo que os próprios participantes ficaram encarregados de realizar a capacitação e acompanhamento desse novo grupo.

Todos os participantes receberam no último dia de atividade uma ficha com os dados obtidos a partir do acompanhamento semanal das composteiras e um folheto elaborado a partir dos cartazes apresentados na primeira atividade coletiva, podendo ser uma fonte de consulta em caso de dúvidas.

Além das propostas de composteiras levadas pelos pesquisadores, foi desenvolvida de forma conjunta mais um tipo de composteira, construída a partir de garrafa PET (Figura 15). Essa composteira visa a criação de minhocas. Até a presente data não foi finalizada devido a falta de material. Entretanto é possível notar o potencial da tecnologia criada, apresentando diversos mecanismos para um maior aproveitamento dos produtos gerados pela composteira (composto, minhos e biofertilizante).



Figura 14 – Moradora mostrando o composto

Fonte: Teixeira *et al.* (2011)



Figura 15 – Composteira feita de garrafas PET

Fonte: Teixeira *et al.* (2011)

5. Considerações finais

Abordando o Projeto Samspar como um todo, destaca-se que o desenvolvimento de todas as metas foi embasado nos princípios da permacultura, que tem entre seus objetivos o emprego de métodos acessíveis a qualquer pessoa, a valorização, readaptação e integração de sistemas tradicionais em harmonia com os atuais, para formar padrões culturais sustentáveis. Analisando-se os resultados, pode-se verificar que as metas foram concluídas conforme previsto no Projeto.

Com o Zoneamento Geoambiental (meta 1) foi possível a elaboração de importantes mapas temáticos que sintetizam de forma clara as características físicas do local. Verificou-se que, com exceção de poucos lotes, o assentamento encontra-se em uma zona de aptidão agrícola adequada. Por outro lado, 20% da área ocupada pelos lotes estão em zonas de alta suscetibilidade à erosão, não indicado à ocupação, mas sim à proteção ambiental. Caso tivesse sido realizado o zoneamento geoambiental an-

tes da implantação do assentamento, o deslocamento de alguns lotes seria suficiente para um melhor aproveitamento do solo.

O estudo de tratamentos de esgoto mais sustentável (meta 2) possibilitou a elaboração de um quadro comparativo para levar a uma discussão com as famílias sobre a melhor solução para o assentamento. Como a estratégia de pesquisa é o uso da metodologia de pesquisa-ação, os beneficiários de qualquer sistema ou intervenção precisam participar desde a concepção até a gestão da proposta escolhida. Para tanto é necessária uma organização coletiva, inicialmente monitorada pelos pesquisadores, cuja adesão deve ser sempre livre, espontânea e esclarecida. No caso da escolha do sistema de tratamento de efluentes sanitários e sua posterior construção, essa adesão não ocorreu de maneira satisfatória. Embora o processo de escolha tenha tido a participação de grande parte dos assentados, no momento da capacitação para a construção do sistema apareceram alguns conflitos, inerentes a qualquer organização coletiva, que denunciaram uma complexidade maior quando se considera a participação dos moradores no processo de execução de qualquer atividade.

Além disso, outros fatores existiram, de um lado para pressionar a escolha, e de outro, para desestimular a construção do sistema. Referente ao primeiro caso existia a obrigatoriedade da adoção de um sistema ambientalmente adequado de coleta e tratamento de esgoto doméstico imposto pelo TAC (Termo de Ajustamento de Conduta) que foi assinado pelos assentados junto ao Ministério Público. O fator desestimulante foi a deficiência no abastecimento de água, cuja rede de distribuição sempre apresentou problemas, levando os moradores a questionar a razão de um tratamento de esgoto sem abastecimento de água.

O sistema escolhido e construído em 58 lotes precisa agora de um acompanhamento para avaliar o seu desempenho. Além disso, é importante a análise da composição do lodo que está em formação nas fossas sépticas para estudar a possibilidade de uso como composto nas plantações do assentamento.

A falta crônica de água despertou em muitos moradores o interesse no uso da água de chuva, principalmente para irrigação. Esse interesse veio de encontro às duas metas que previam o estudo da captação, armazenamento e bombeamento de águas pluviais (metas 3 e 4). Esse bombeamento se mostrou perfeitamente possível com o uso da energia eólica, fabricando-se um catavento e um sistema de transmissão com a reutilização de materiais. Porém, como a proposta aqui apresentada foi montada somente em nível de protótipo, faz-se necessário mais testes para avaliar o seu desempenho, tanto do catavento como do sistema de transmissão para o bombeamento.

O reservatório para o armazenamento de água de chuva passou por várias etapas de projeto e construção, possibilitando o seu aperfeiçoamento. Com a participação dos moradores no processo de concepção e execução das cisternas, o modelo implantado no assentamento e aprovado como solução de reservatório, foi fruto de um trabalho coletivo entre pesquisador e assentado, denunciando a importância da participação dos beneficiários como prática sustentável.

O reservatório pode estar inserido em um “Plano de Manejo de Águas Pluviais” para ser usado no armazenamento tanto da água proveniente dos telhados como do volume gerado pelo escoamento superficial no lote.

A adesão livre, espontânea e esclarecida esteve também presente no desenvolvimento das metas relativas ao aproveitamento dos resíduos gerados no assentamento (metas 5 e 6). No entanto, verificaram-se interesses bem diversos entre a participação de atividades que tratavam, de um lado, o resíduo sólido não orgânico (meta 5) e, do outro, o resíduo sólido orgânico (meta 6).

Como atualmente o assentamento é atendido pelo sistema de coleta de lixo do município de Serra Azul, passou a ser muito cômodo para os moradores simplesmente descartarem os resíduos sólidos gerados no lote sem querer questionar para onde estes resíduos serão destinados e qual é o impacto ambiental dos aterros sanitários ou mesmo lixões. Além do mais, algumas famílias acham que tem espaço suficiente no seu lote para queimar ou espalhar o seu lixo. Com isso, as atividades de educação ambiental, que abordaram a geração, uso e destino de resíduos sólidos, foram pouco frequentadas. No entanto, as irmãs católicas, que vivem no assentamento, desenvolvem várias dinâmicas com as crianças abordando constantemente a questão ambiental.

O interesse foi maior quando se tratou da utilização de resíduos orgânicos para a formação de composto. Primeiro, por ser uma prática já conhecida de muitas famílias e depois, o compromisso assumido com o TAC em adotar técnicas ambientalmente adequadas, de acordo com o processo de transição agroecológica, determinado pelo Plano de Desenvolvimento do Assentamento (PDA). Outro fator que despertou o interesse nas oficinas de compostagem foi a economia resultante da substituição de adubos químicos por composto orgânico.

Todas as pesquisas e práticas desenvolvidas nesse Projeto estão sendo trabalhadas para compor uma publicação mostrando as ações de saneamento ambiental e permacultura possíveis de serem reaplicadas em outras comunidades (meta 7). Essa publicação tentará mostrar não somente as soluções adotadas, baseadas em muitas experiências já existentes e fartamente divulgadas, mas, principalmente, a organiza-

ção coletiva necessária para a implantação dessas ações e para a garantia de sustentabilidade dessas práticas.

Quando houve a participação dos beneficiários nas atividades de modo espontâneo, ganhou-se muito no aprimoramento dos resultados e capacitou-se uma comunidade para ações de melhorias do saneamento ambiental e práticas permaculturais, vindo de encontro ao processo de transição agroecológica do assentamento.

6. Recomendações para utilização dos resultados pela Funasa e indicativos de custos

Como mencionado anteriormente, a adesão livre, espontânea e esclarecida dos beneficiários é condição fundamental para a sustentabilidade da implantação de qualquer projeto. Essa adesão precisa ser construída com a comunidade para as ações do projeto não se perderem e para garantir sua continuidade promovida pelos próprios moradores que participaram do processo de transferência e construção de um novo conhecimento.

Essa estratégia demanda um tempo e uma preparação dos pesquisadores/técnicos para saber observar e ouvir as verdadeiras necessidades da comunidade, além de prever o acompanhamento constante da implantação das ações até os moradores estarem devidamente capacitados para reproduzir sozinhos as práticas aprendidas.

Portanto, trata-se de um trabalho conjunto entre pesquisadores/técnicos e moradores da comunidade rural. Percebeu-se no Projeto Samspar que a equipe aprendeu muito com o conhecimento empírico dos assentados e com a troca de saberes, o que gerou melhorias significativas no projeto inicial, como aconteceu na construção do sistema de tratamento de esgoto, da cisterna e das composteiras.

A seguir estão as tabelas dos preços de materiais utilizados nos equipamentos construídos (sistema de tratamento de esgoto, catavento e sistema de transmissão para bombeamento e cisterna), demonstrando o baixo custo alcançado.

6.1 Tratamento de esgoto

Os preços dos materiais mostrados na Tabela 1 são do ano de 2009 para a execução de apenas um projeto piloto do sistema de tratamento de esgoto. Percebeu-se que a construção em escala, e conseqüentemente, a compra de maior quantidade de

materiais interfere diretamente no preço final. Quando foram comprados os materiais para a construção do sistema de tratamento de esgoto para todas as casas do assentamento conseguiu-se uma diminuição do preço de até 20%.

Tabela 1 – Lista e custo de materiais utilizados na construção do projeto piloto do sistema de tratamento de esgoto. Data base: janeiro de 2009.

Item	Descrição	Unid.	QTD	Valor Unitário	Valor Total
1	Malha de ferro 15 x 15 cm e=4,2mm	un	2	R\$ 26,00	R\$ 52,00
2	Cal saco 20Kg	sc	5	R\$ 7,26	R\$ 36,30
3	Cimento saco 50Kg	sc	7	R\$ 20,90	R\$ 146,30
4	Pedra britada 5/8	m ³	1	R\$ 60,00	R\$ 60,00
5	Tijolo comum	un	1.500	R\$ 0,24	R\$ 360,00
6	Areia média fina	m ³	1	R\$ 50,00	R\$ 50,00
7	Caixa de gordura cimento	un	1	R\$ 25,50	R\$ 25,50
8	Joelho 90º esgoto DN 100	un	2	R\$ 3,90	R\$ 7,80
9	Joelho 90º esgoto DN 50	un	2	R\$ 2,00	R\$ 4,00
10	Joelho 45º esgoto DN 100	un	2	R\$ 4,50	R\$ 9,00
11	Joelho 45º esgoto DN 50	un	2	R\$ 2,60	R\$ 5,20
12	Joelho esgoto com visita DN 100	un	4	R\$ 11,00	R\$ 44,00
13	Anel vedação esgoto DN 100	un	10	R\$ 1,30	R\$ 13,00
14	Anel vedação esgoto DN 50	un	6	R\$ 0,85	R\$ 5,10
15	Tubo esgoto DN 100	m	24	R\$ 6,00	R\$ 144,00
16	Tubo esgoto DN 50	m	12	R\$ 4,30	R\$ 51,80
17	Lixa d água nº 100	un	1	R\$ 1,00	R\$ 1,00
18	Chapa de madeirit 1,10 x 2,20 m	un	2	R\$ 30,00	R\$ 60,00
19	Sarrafo 2 metros 2,5 x 5,0 cm	un	5	R\$ 3,00	R\$ 15,00
20	Pasta lubrificante para juntas	tb	1	R\$ 21,84	R\$ 21,84
TOTAL					R\$ 1.111,64

Esse custo se refere apenas ao custo de materiais empregados na construção do sistema. O custo da mão de obra não foi incluído uma vez que a obra deveria ser executada em regime de mutirão, em que as famílias auxiliam uma as outras no processo de construção.

Observa-se que o custo foi superior ao orçado devido às variações de preço que ocorreram ao longo do tempo, sendo que o último orçamento foi realizado em outubro de 2008 e a compra efetuada apenas em janeiro de 2009.

Deve-se também considerar que alguns materiais comprados podem ser utilizados para mais de uma habitação, como a chapa de *madeirit*, para fôrma e os sarrafos que podem ser aproveitados para até quatro concretagens, e a pasta lubrificante para juntas que pode ser utilizada em mais de três sistemas. Os tijolos que restam também podem ser transferidos para outras habitações, reduzindo seu custo ao final do processo.

6.2 Energia eólica

Na Tabela 2, que apresenta os custos da produção do protótipo do catavento com o sistema de transmissão para o bombeamento, além dos materiais, também está incluída a mão de obra do serralheiro que fez a estrutura metálica para o catavento. Esse custo pode ser subtraído caso a estrutura seja produzida em roliços de eucalipto ou treliçados de madeira, com junções parafusadas, podendo ser executada pelos próprios assentados.

Tabela 2 – Gastos com material e mão de obra na construção do protótipo do catavento com o sistema de transmissão e bombeamento. Data base: novembro de 2010

Item	Descrição	Valor total
01	Serralheiro, para confecção da estrutura	R\$ 450,00
02	2 tambores de 200 litros usado	R\$ 60,00
03	Eixo – 8mts de tubo de ferro galvanizado	R\$ 200,00
04	Rolamentos e Perfis metálicos da estrutura	R\$ 480,00
05	Cabos de aço esticadores e presilhas	R\$ 140,00
06	Bengalas de aço	R\$ 30,00
07	Material para o mancal dos rolamentos	R\$ 10,00
08	Material para bomba pistão	R\$ 53,35
09	Válvulas, e peças do circuito da bomba.	R\$ 44,00
10	Braçadeiras	R\$ 14,00
11	Corrediças	R\$ 10,00
TOTAL		R\$ 1.491,35

Para efeito de comparação e análise econômica, foi solicitado um orçamento de catavento à empresa Cataventos Kenya. Essa empresa possui várias máquinas, que variam no tamanho e capacidade de bombeamento. Os preços variam de R\$ 4.500 a R\$ 18.000 somente contabilizando o equipamento, sem os custos do técnico para instalação e do transporte.

Essas máquinas incluem sistema de bombeamento, que se adquirido separadamente custa cerca de R\$ 800,00 e são mais aprimorados, o que justifica o preço maior. Por outro lado, o rotor Savonius que foi proposto, além de ser mais barato, pode ser construído pelo próprio agricultor com materiais e técnicas simples (corte e solda), evitando gastos com manutenção e a necessidade de contratar um técnico para reparar o equipamento. Sendo assim, em casos onde a necessidade de transportar água é de pouca vazão e a altura a ser vencida é pequena, esse tipo de rotor pode ser utilizado. Porém, esse sistema deve ser melhor estudado, principalmente na observação do comportamento do sistema de transmissão com diferentes velocidades de vento para um devido bombeamento de água.

6.3 Águas pluviais

Uma forma recomendada para a reaplicação dos conhecimentos gerados nessa experiência é a formação de equipes técnicas com a função de retransmitir os conhecimentos aqui gerados e que percorreriam as localidades onde é necessário esse tipo de intervenção, formando equipes capazes de executar o plano.

Os técnicos devem identificar dentre os moradores aqueles que possuem interesse e aptidão para o tipo de trabalho e executar a oficina em lugar de destaque na localidade, evidenciando a técnica.

Tabela 3 – Gastos com material da construção do protótipo de cisterna. Data base: março de 2011

Item	Descrição	Unid	QTD.	Preço Unitário	Preço Total
01	Cimento	sc	14	R\$ 25,00	R\$ 350,00
02	Malha POP (2 X 3 m)	un	10	R\$ 23,00	R\$ 230,00
03	Areia fina	m ³	0,5	R\$ 42,00	R\$ 21,00
04	Areia grossa	m ³	1,5	R\$ 42,00	R\$ 63,00
05	Barra 6,3 mmØ	un	2,5	R\$ 14,00	R\$ 35,00
06	Barra 8 mmØ	un	1,5	R\$ 22,00	R\$ 33,00
TOTAL					R\$ 732,00

Deve-se adicionar a esse custo o valor do sistema de captação da água de chuva que pode ser somente da cobertura da casa como de todo escoamento superficial do lote.

7. Referências bibliográficas

ATTRA – National Sustainable Agriculture Information Service. Introduction to Permaculture: Concepts and Resources. Disponível em <<http://www.attra.org/attra-pub/perma.html#intro>>. Acesso em acesso 31 mar 2006.

ANDRADE, L.M.S.; ROMERO M.A.B. Desenho de assentamentos urbanos sustentáveis: proposta metodológica. In: CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL. ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, X, 2004, São Paulo. Anais... São Paulo: ENTAC, 2004.

BERGAMASCO, S. M. P. P.. A realidade dos assentamentos rurais por detrás dos números. Estudos Avançados [online], 1997, vol. 11, n. 31, pp. 37-49.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). 2002. Censo demográfico 2000. Brasília, 2000. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2000/default.shtm>>. Acesso em: 19 abr. 2007.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde – Funasa. Saneamento Ambiental em Comunidades Quilombolas. Disponível em: http://www.funasa.gov.br/internet/vigSubIV_quilombolasSa.asp. Acesso em: 12 abr. 2011.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde – Funasa. Manual de saneamento. Brasília: Funasa, 2006. 408p.

COHIM, E., COHIM, F. Reuso de água cinza: a percepção do usuário. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 24., 2007, Belo Horizonte-MG. Anais.... Belo Horizonte: ABES, 2007.

FREITAS, E. P. de. O Projeto de Desenvolvimento Sustentável (PDS) como paradigma para a implementação de assentamentos de reforma agrária: o caso do assentamento Sepé Tiaraju em Serra Azul (SP). In: ENCONTRO NACIONAL DE GRUPOS DE PESQUISA, 4º, 2008, São Paulo. Anais.... São Paulo, 2008. p.739-773.

GIRARDI, E. P. Atlas da Questão Agrária Brasileira. Disponível em: http://www4.fct.unesp.br/nera/atlas/luta_pela_terra.htm. Acesso em 06 abr. 2011.

INCRA. Dialogando Conhecimentos: resultados da parceria Incra/FEPAF. São Paulo: Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária – Superintendência Regional de São Paulo – SR (08), 2009.

MARTINETTI, T.H. Análise das estratégias, condições e obstáculos para implantação de técnicas mais sustentáveis para tratamento local de efluentes sanitários residenciais. Caso: Assentamento Rural Sepé-Tiaraju, Serra Azul-SP. 2009. Dissertação (Engenharia Urbana), Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2009.

MOUTINHO, R.. Compostagem. Agenda Sustentável. Disponível em: <<http://www.agendasustentavel.com.br/Artigo.aspx?id=2109>>. Acesso em julho 2010.

RODRIGUES, M. da A. P. Potencialidades da Permacultura na Arquitetura da Paisagem no Cerrado: uma contribuição à causa ambiental. Brasília, 2000. 150 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia). Universidade de Brasília, Brasília, 2000.

RODRIGUES, Maria da A. P. Potencialidades da Permacultura na Arquitetura da Paisagem no Cerrado: uma contribuição à causa ambiental. Brasília, 2000. 150 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia). Universidade de Brasília, Brasília, 2000.

SAVASTANO NETO, Aruntho (coord.). Inventário estadual de resíduos sólidos domiciliares 2010. São Paulo: CETESB, 2011.

SHIMBO, J. Z.; JIMÉNEZ-RUEDA, J. R. Zoneamento geoambiental como subsídio aos projetos de reforma agrária. Estudo de caso: assentamento rural de Pirituba II. Revista Nera, Presidente Prudente, v.10, n.10, p.115-133, jan.2007.

SILVA, A. S. da; SHIMBO, I.. A Dimensão Política na Conceituação da Sustentabilidade. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 11., 2006, Florianópolis. Anais... Florianópolis: ENTAC. 2006. p.3806-3815.

SILVA, S.R.M. Indicadores de sustentabilidade urbana: as perspectivas e as limitações da operacionalização de um referencial sustentável. São Carlos, 2000. 200p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Programa de Pós-Graduação em

Engenharia Urbana (PPGEU), Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), São Carlos, 2000.

TEIXEIRA, B. A. N. *et al.* Saneamento Ambiental, Sustentabilidade e Permacultura em Assentamentos Rurais – Samspar. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos, Departamento de Engenharia Civil; novembro de 2011. Relatório Final-revisado. Financiamento: Fundação Nacional de Saúde – Funasa.

THIOLLENT, M. Metodologia da pesquisa-ação. 16. ed. São Paulo: Cortez, 2009.



Uso associado de técnicas computacionais e de experimentação voltado ao gerenciamento de perdas em sistemas de abastecimento de água

Coordenador da Pesquisa: Peter Batista Cheung
Instituição Executora: Universidade Federal de Santa Catarina
Instituição Conveniente: FAPEU

Resumo

As perdas de água em sistemas de abastecimento de água podem ser ocasionadas por fatores físicos, os quais estão relacionados aos tipos de materiais e acessórios usados, problemas na gestão dos serviços e pelas características socio-culturais do consumidor, que tem grande impacto nas perdas aparentes. Para que um programa de controle e combate as perdas de água tenha sucesso, é muito importante que as estratégias do prestador estejam alinhadas com os planos dos outros atores (municípios, agências de regulação, comitês de bacia) e que as ações sejam conjuntamente executadas. No entanto, aqueles municípios pequenos, com população menor que 50.000 habitantes, apresentam dificuldades na elaboração de planos de gestão de perdas de água. O presente projeto desenvolveu uma metodologia para auxiliar a elaboração desses planos usando tecnologias disponíveis no mercado e de fácil acesso. Como forma de validação do desenvolvimento, aplicou-se a metodologia em um sistema municipal de abastecimento de água. Os resultados mostraram que é possível elaborar um plano de perdas utilizando as informações disponíveis pelo prestador e com algumas campanhas de campo.

Abstract

Water losses in water distribution systems are associated to different causes, such as physical factors, pipe materials, water management, consumer sociocultural aspects that have impacted water losses index around world. In order to reach the

sucess, water loss program need to be aligned to other stakeholders plans (regulation agency, watershed). On the other hand, small municipalities (< 50 000 inhabitants) often have presented weaknesses to build effective water loss plans. This project developed a methodology to aid water utilities to build such plans adopting computational technologies and field water measurements. The results showed that it is possible to prepare a consolidated loss plan using the information available by the utilities and conducting some field campaigns.

1. Introdução

As infraestruturas urbanas de saneamento são responsáveis por fornecerem os serviços essenciais para a população. No contexto do abastecimento de água, essas infraestruturas, podem ser denominados ativos físicos, responsáveis pelo transporte de água aos núcleos populacionais urbanos e, como tais, devem assegurar o abastecimento em quantidade e qualidade satisfatória. Reconhece-se que em algumas localidades, o conjunto de infraestrutura precária, tratamento deficiente e operação falha (intermitência) expõem a população a um elevado risco de saúde.

Em termos econômicos, os sistemas de saneamento são atividades cujos ativos físicos (tubulações, instalações, reservatórios entre outros) possuem elevado custo de operação e manutenção. Nesse sentido, o problema das perdas de água são alguns dos fatores que contribuem para elevação desses custos. No Brasil, a média das perdas encontra-se próxima dos 37% (SNIS, 2013).

As ações de redução e controle de perdas em sistemas de abastecimento de água não podem ser constituídas por simples programas com prazo limitado de duração, mas devem ser incorporadas em um processo contínuo e permanente e fazer parte da cultura da empresa. Em geral, as ações só se tornam eficazes quando há uma estratégia integrada de gerenciamento que envolve o entendimento das perdas, a quantificação do volume, o monitoramento e controle, as práticas e equipamentos e a elaboração de um plano estratégico que considere os fatores econômicos, sociais e ambientais.

No contexto científico, entende-se que esse processo pode ser auxiliado pelas tecnologias de informação voltadas a modelagem e simulação de sistemas, pois além de apresentarem baixo custo, podem oferecer soluções com rapidez e flexibilidade. Tais ferramentas computacionais, quando associadas às técnicas de experimentação e controle, podem auxiliar gestores e analistas nos problemas que envolvem: decisões de alocação de recursos, planos diretores, previsão do volume de água para situações emergenciais, dimensionamento de novos sistemas, expansão e reabilitação de siste-

mas existentes, gerenciamento de energia, estudos de qualidade de água, simulação de eventos futuros, disposição ótima de sensores e estudos operacionais.

Considerando a dinâmica real dos sistemas de abastecimento de água (extensa distribuição espacial e temporal, múltiplos caminhos percorridos pela água, singularidades), torna-se evidente que o simples julgamento de um profissional pode não ser suficiente para o gerenciamento eficiente, para a identificação dos problemas e para a concepção de projetos novos ou existentes.

O uso crescente dos modelos computacionais, pelos profissionais ligados ao setor, tem contribuído consideravelmente para melhor entender o gerenciamento desses sistemas tanto na fase de planejamento quanto na operação. Entretanto, para desenvolver e aplicar tais metodologias em problemas reais é necessário formar um corpo técnico especializado, capaz de trabalhar com modelagem computacional aplicada ao projeto, à operação e ao planejamento, com calibração de modelos, com técnicas de amostragem de dados, com técnicas para monitoramento em campo e outros.

Para que a água seja transportada em cada etapa, desde a sua captação até o consumidor final ela precisa de energia, tanto elétrica, através da pressurização dos sistemas de bombeamento e recalque, quanto potencial, através das diferenças de nível entre os pontos de abastecimento. Esses processos podem ser realizados segundo uma perspectiva de alta ou baixa eficiência.

A eficiência energética num sistema de abastecimento de água se dá pelo menor consumo de energia para suprir as necessidades de cada setor. As ações para melhoria da eficiência energética do sistema de abastecimento de água podem ser do tipo administrativo ou operacional. Alguns exemplos dessas ações seriam a redução de cotas de reservatórios, a construção de reservatórios intermediários, a instalação de válvulas redutoras de pressão, o bombeamento fora dos horários de ponta, a substituição de conjuntos motor-bomba, o re-enquadramento tarifário, etc.

Para realizar qualquer atividade de gestão energética dentro de uma companhia de saneamento é necessário, em princípio, conhecer e diagnosticar a sua realidade, para então estabelecer as prioridades de ação. A compreensão da forma como é cobrada a energia elétrica e como são calculados os valores apresentados nas faturas de energia também é fundamental para a tomada de decisão em relação a projetos de eficiência energética. Dadas as alternativas de enquadramento tarifário disponíveis, o conhecimento da formação da conta e dos hábitos de consumo permite escolher a forma de tarifação mais adequada e que resulta em menor despesa com a energia elétrica.

É sob essa perspectiva que esse projeto de pesquisa foi realizado sob a coordenação do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental através dos professores Peter Batista Cheung e Davide Franco. O caráter inovador do projeto foi devido à utilização de ferramentas computacionais e técnicas de experimentação em campo como mecanismos de avaliação para elaborar metodologias. Por fim, essas metodologias foram utilizadas para a confecção de um manual para elaboração de planos de ação de controle de perdas. Durante a execução do projeto, foram realizadas atividades de capacitação de agentes locais como forma de transferir tecnologia.

2. Objetivos

O objetivo principal desse projeto foi desenvolver um Protocolo de Ação (Metodologia) para Controle das Perdas em Sistemas de Abastecimento de Água, o qual estava alinhado à demanda induzida pela Funasa através do Edital de Pesquisa 01/2007 (D.O.U. nº 39, página 55, Seção 3, 27/02/2007). Assim, para que esse objetivo fosse alcançado, realizou-se uma série de atividades (instrumentalização de redes de água, modelagem e simulação de sistemas, treinamentos, campanhas de campo) junto a um prestador municipal de saneamento com objetivo de validar métodos e procedimentos que, posteriormente serviriam para compor a metodologia ora proposta.

3. Metodologia

A construção da metodologia de elaboração do protocolo de ações envolveu (a) sensibilização dos técnicos do prestador de serviços de saneamento, (b) entendimento do problema e identificação das oportunidades através de tecnologias de modelagem, simulação e instrumentação em campo, (c) elaboração da metodologia e (d) treinamento e validação sobre a metodologia.

3.1 Identificação e sensibilização dos técnicos do prestador de serviços

O estudo foi desenvolvido no município de Capinzal, localizado na Mesorregião do Oeste Catarinense (Figura 1). O município fica à margem esquerda do rio do Peixe, a 442 km da capital do Estado, Florianópolis. O SIMAE (Serviço Intermunicipal de Água e Esgoto) é o prestador de serviços do município, que é uma autarquia intermunicipal, responsável pelo abastecimento de água e coleta de esgotos nos municípios de Capinzal e Ouro. A autarquia foi criada em fevereiro de 1972, através das Leis nº 654 e nº 179, das Prefeituras Municipais de Capinzal e Ouro, sendo que entrou

em operação em abril de 1974. O SIMAE atende praticamente 100% da população urbana com água tratada, proveniente do Rio do Peixe e nas comunidades do interior dos municípios, através de poços artesianos.



Figura 1 – Localização do município de Capinzal (Santa Catarina)



Figura 2 – Equipe do projeto na atividade de sensibilização

A primeira atividade de capacitação do projeto (Figura 2) foi presencial e teve como objetivo apresentar a proposta e motivar os técnicos da empresa para se envolverem na elaboração da metodologia de elaboração de Protocolo de Plano de Controle de Perdas. No final dessa atividade, foram estabelecidas as obrigações de cada parte envolvida (equipe UFSC, técnicos da empresa), tais como fornecimento de dados, preparação do sistema para as campanhas de campo, e outros.

3.2 Entendimento do problema e identificação das oportunidades através de tecnologias de modelagem, simulação e instrumentação em campo

Para elaborar o protocolo de ações, foi necessário eleger um setor piloto. O local escolhido para realização do estudo foi o bairro da Subestação (Figura 3), localizado na entrada da cidade de Capinzal. A escolha baseou-se no indicador médio de perdas

por ligação, o isolamento hidráulico do setor e a presença de macromedidor (Figura 4) instalado na entrada.



Figura 3 – Setor piloto do projeto



Figura 4 – Macromedidor instalado na entrada do sistema



Figura 5 – Levantamento das características físicas dos elementos do sistema de abastecimento



Figura 6 – Confirmação de setorização

3.3 Técnicas de modelagem e simulação

Utilizou-se (Figura 8) o *software* EPANET® (Rossman, 2000) para simulação de sistemas de distribuição de água. Esse *software* permitiu realizar simulações estáticas (período instantâneo) e dinâmicas (período ao longo do tempo). Nas simulações estáticas, todas as demandas e operações foram tratadas como constantes no tempo. Nas simulações, dinâmicas, considerou-se o padrão de consumo (Figura 7) calculado do próprio setor.

3.4 Instrumentação de redes de distribuição de água

Os modelos de simulação hidráulica e de qualidade de água geralmente são utilizados no projeto, no planejamento, na operação e nas tarefas de análise. Essas simulações auxiliam na tomada de decisão de engenharia. Porém, é importante que o modelo represente de maneira confiável o sistema real que está sendo modelado (Figura 5). Um procedimento simples para saber se o modelo representa a situação de funcionamento real é comparar dados observados em campo com aqueles simulados através do modelo. Os valores observados são então obtidos através da instalação de equipamentos de medição, em alguns pontos do sistema. A saída de dados desses medidores é representada através de séries contínuas ao longo do tempo (Figuras 6 e 8).

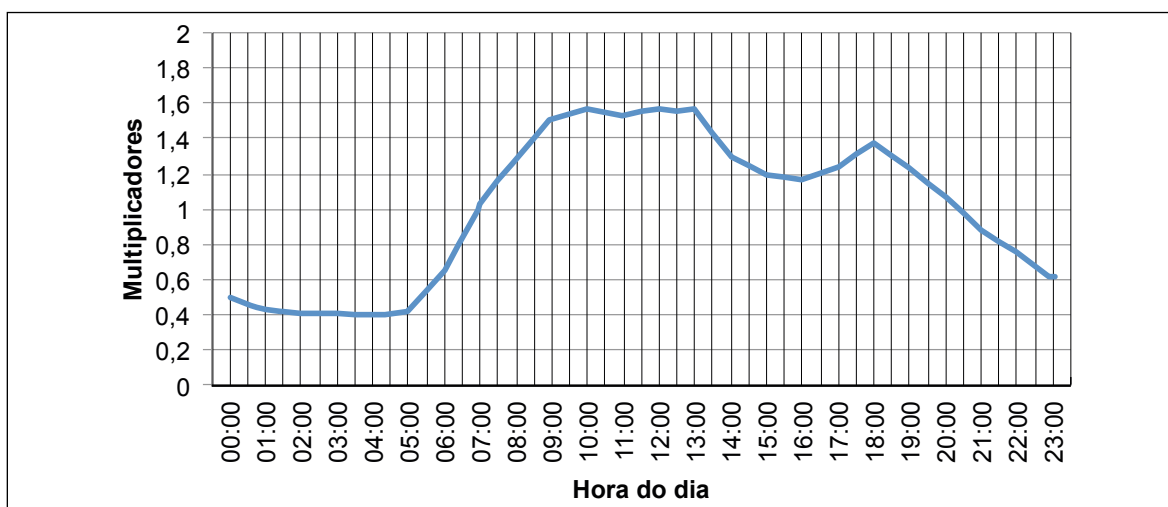


Figura 7 – Padrão de consumo do macromedidor de entrada no setor piloto

Estudou-se como funcionava a entrada de água no setor, seus componentes físicos, padrão de demanda, entre outros. Com todos os dados reunidos, modelou-se o setor em estudo no Epanet (Figura 9). Para coletar os dados de vazão, utilizaram-se dados do supervisorio da SIMAE, ao passo que as pressões foram coletadas através de Data Loggers de pressão em pontos previamente estudados e analisados (Figura 10).

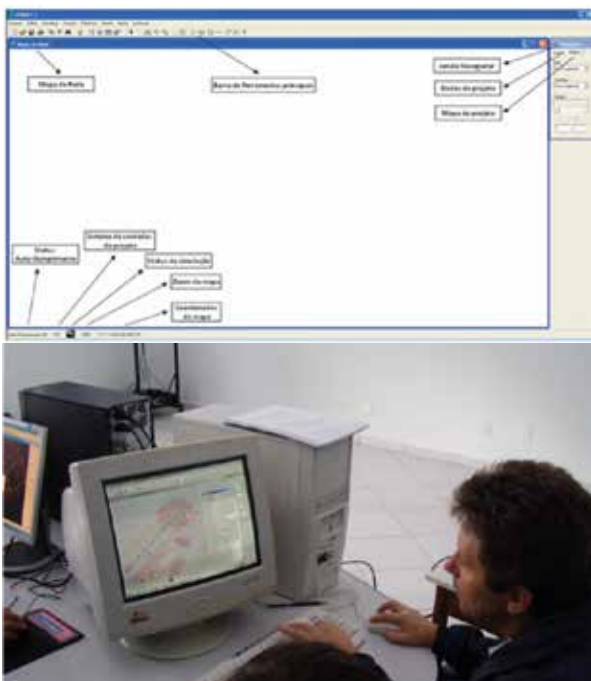


Figura 8 – Tela do *software* Epanet e técnico utilizando a ferramenta



Figura 9 – Setor piloto modelado

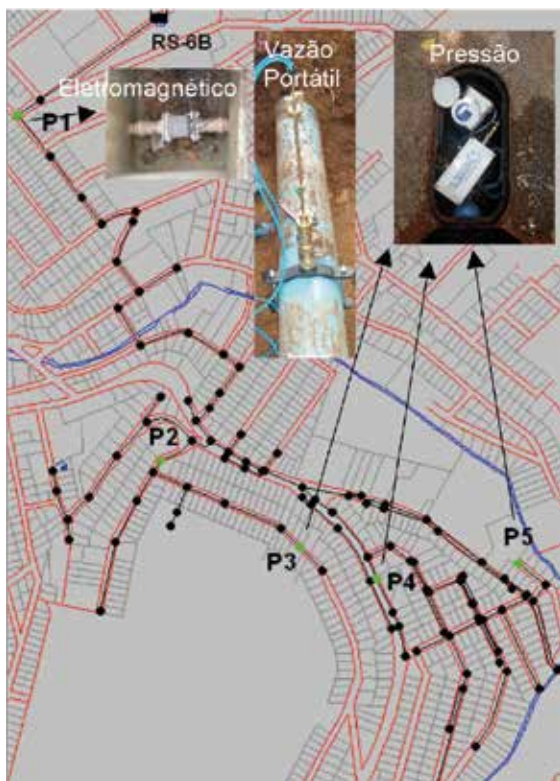


Figura 10 – Localização do monitoramento de pressão e instrumentos portáteis utilizados

3.5 Algoritmo de avaliação das perdas reais

A estimativa das perdas reais foi primeiramente avaliada através do método de calibração proposto por Abe e Cheung (2010), resumidamente descrito pela $q=CEH^{0,5}$

Equação 1, conforme segue:

$$q=CEH^{0,5} \quad \text{Equação 1}$$

onde q representa a vazão dos vazamentos, em $m^3/hora$, CE representa o Coeficiente Emitters gerado pela calibração do EPANET Calibrator e H representa a pressão no nó, em m.c.a.

Outro método também utilizado foi através do Método das Vazões Mínimas Noturnas, proposto por Cheung *et al.* (2010). O método é baseado na variação dos consumos ao longo do dia. Em geral, o pico de consumo de água ocorre entre 11h00min e 14h00min e o consumo mínimo acontece entre 03h00min e 04h00min. Assim, a determinação do Volume Diário de Perdas Reais (VDPR) baseou-se na seguinte equação:

$$VDPR=FND \times Q_{mn} \quad \text{Equação 2}$$

onde FND representa o “Fator Noite/Dia” dado em h/dia e Q_{mn} é a vazão média mínima noturna dada em m^3/h . O “Fator Noite/Dia” é determinado a partir de um somatório de medições de pressão, ao longo de 24 horas, em um ponto médio representativo do setor, utilizando a seguinte relação:

$$FND = \sum \left(\frac{P_{i_{24hs}}}{P_{3às4hs}} \right)^{N_1} \quad \text{Equação 3}$$

onde $P_{i_{24hs}}$ representa a média das pressões ao longo de 24 horas medida de hora em hora, $P_{3às4hs}$ representa a pressão medida na entrada do setor na campanha de mínima noturna das 03h00min às 04h00min. Já o N_1 pode ser calculado, segundo a relação abaixo:

$$\frac{Q_1}{Q_0} = \left(\frac{P_1}{P_0} \right)^{N_1} \quad \text{Equação 4}$$

onde Q_0 é a vazão associada a pressão P_0 e Q_1 é a vazão final associada a pressão P_1 . O expoente N_1 é obtido a partir do fechamento do registro (manobra) de entrada de água no setor em três etapas.

3.6 Construção da metodologia para elaboração do protocolo de controle de perdas

A construção do protocolo de ações baseou-se na metodologia de produção enxuta, onde criou-se uma minuta inicial da metodologia junto com o prestador (Figura 11), validou-se em campo, apresentou-se para os técnicos e agentes envolvidos (Figura 12), que sugeriram modificações e sugestões através de uma reunião técnica realizada em outubro de 2010 em Florianópolis junto com técnicos da Funasa Nacional e Local. Após isso, redigiu-se a versão final. Afirma-se, portanto, que a elaboração da metodologia de planos de perdas de água para sistemas de abastecimento de água envolveu escolha e visita de um prestador de serviços, capacitação inicial dos técnicos, planejamento das campanhas de campo, aquisição de equipamentos e instrumentação de sistema piloto, análise e tratamento de dados e capacitação dos prestadores com base nos resultados do projeto.



Figura 11 – Equipe de projeto em entrevista com técnicos comerciais para construção da metodologia



Figura 12 – Treinamento de técnicos para validação da metodologia

4. Resultados alcançados frente aos objetivos propostos e discussão

As ações para controle de perdas de água, tanto para perdas reais quanto aparentes, envolvem ações estruturantes e não estruturantes. Algumas ações estruturantes podem envolver trabalhos de setorização da rede (remanejamentos, macromedição e pitometria), redução da pressão (instalação de válvulas redutoras de pressão), pesquisa de vazamentos, substituição de hidrômetros e pesquisa de ligações irregulares. As

ações não estruturantes envolvem mudanças na organização da empresa, nas regras de operação, monitoramento contínuo e outros. O presente projeto posicionou-se no desenvolvimento de ações não estruturantes, utilizando-se de ferramentas tecnológicas e de educação para mudança de comportamento organizacional do setor. Os principais resultados encontram-se no website (Figura 13) do projeto: <<http://www.resan.ufsc.br/~funasa/>>.



Figura 13 – Ambiente virtual criado durante o desenvolvimento do projeto

4.1 Resultados das campanhas de campo no setor piloto

As campanhas de campo (Figura 10) foram realizadas no setor da subestação do município de Capinzal (SC). Os medidores de pressão portáteis foram instalados para coleta em 24 horas de dados. Os equipamentos foram ajustados para realizar uma leitura de pressão a cada hora.

Após coletados os dados em campo, iniciou-se o processo de calibração do modelo (Equação 1). Inicialmente, foi necessário criar setores representativos de acordo com o material das tubulações. Como toda a rede era constituída de PVC, adotou-se o critério das pressões e da distribuição da água. A Figura 14 ilustra a setorização realizada juntamente com as faixas de pressão. Para cada ponto monitorado, foi criado um arquivo.CSV para ser inserido no Software Epanet Calibrador. Além dos pontos de pressão, foram inseridos os dados de vazão, logo na saída do RS-6B. A Tabela 1

mostra o ajuste dos coeficientes de rugosidades dos grupos criados na Figura 14 após a calibração.

Tabela 1 – Relação dos coeficientes de rugosidades antes e após a calibração

Rugosidade/Grupos	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4
Antes da calibração	160,00	160,00	160,00	160,00
Após a calibração	85,00	83,42	83,42	136,00

Nas Figuras 15 até 19 são mostrados os dados de pressão simulados antes da calibração, os dados observados em campo e os dados calibrados. Já a Figura 20 mostra os dados referentes à vazão de saída do RS-6B.

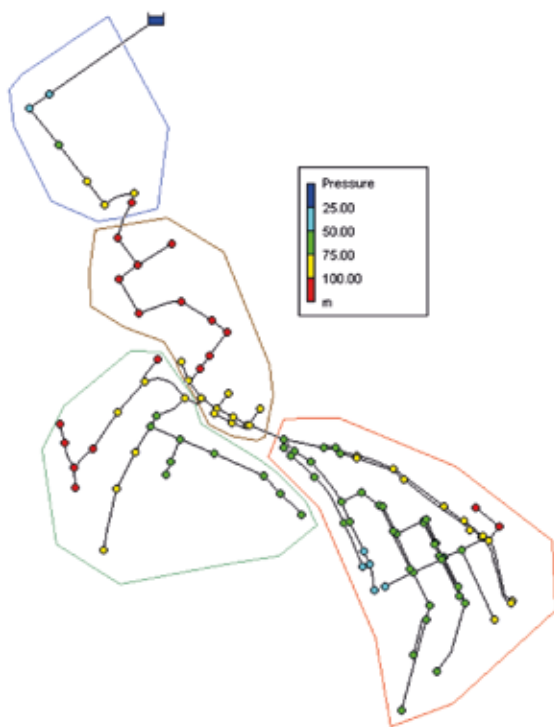


Figura 14 – Grupos de tubulações para aplicação do processo de calibração

Analisando os gráficos (Figura 14 – Figura 20), nota-se um ajuste dos dados calibrados em relação a série de dados simulados. O gráfico da vazão de saída de água do RS-6B apresentou o melhor ajuste quando comparado aos dados de pressão. Quando se aplica o método de calibração, vazamentos são considerados. Verificou-se que

uma simples comparação visual dos valores de vazão e pressão observados, simulados e calibrados, através de gráficos, não é suficiente para uma análise mais precisa. Por isso, foi calculado o erro entre os dados simulados e observados e entre os dados calibrados e observados (Tabela 2).

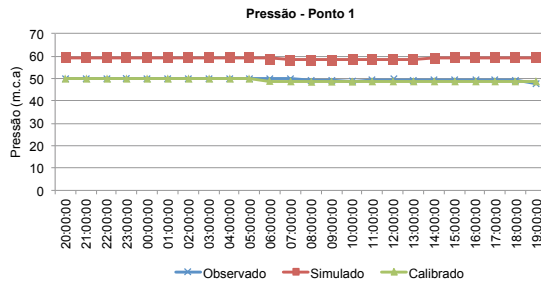


Figura 15 – Dados simulados, observados e calibrados de pressão ponto 1

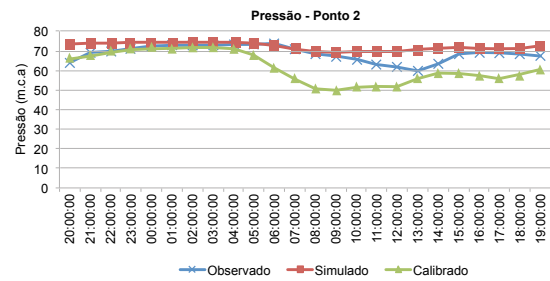


Figura 16 – Dados simulados, observados e calibrados de pressão ponto 2

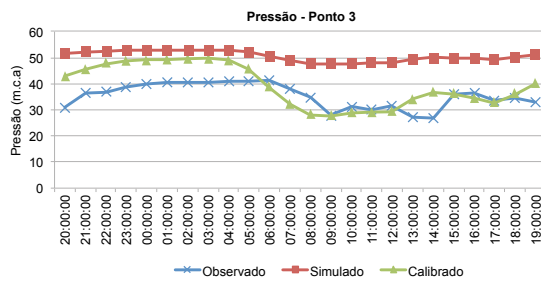


Figura 17 – Dados simulados, observados e calibrados de pressão ponto 3

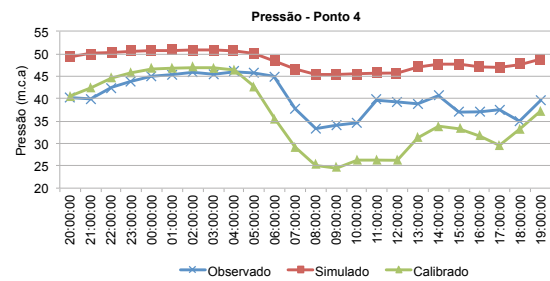


Figura 18 – Dados simulados, observados e calibrados de pressão ponto 3

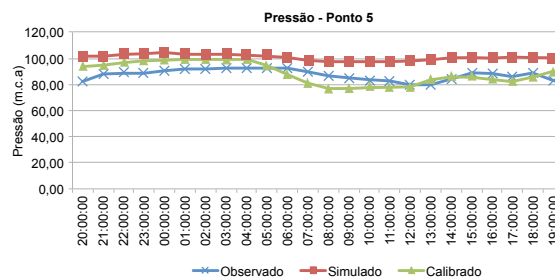


Figura 19 – Dados simulados, observados e calibrados de pressão ponto 5

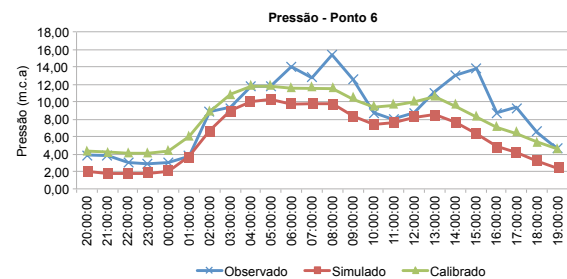


Figura 20 – Dados simulados, observados e calibrados de vazão para a saída do RS-6B

Tabela 2 – Cálculo do Erro Médio Absoluto para os dados de vazão e pressão

Erros/Pontos	Saída RS-6B	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5
Dados Simulados						
Erro Médio Absoluto	2,63	9,42	3,93	15,16	7,92	13,35
Dados Calibrados						
Erro Médio Absoluto	1,56	0,85	7,37	5,76	5,02	5,99

Após calibração do modelo, o EPANET Calibrator gerou 14 nós contendo os Coeficientes *Emitters*, no valor de 0,024 para simular os vazamentos no setor. Na Figura 21 encontra-se a localização dos Coeficientes *Emitters* gerado após a calibração.

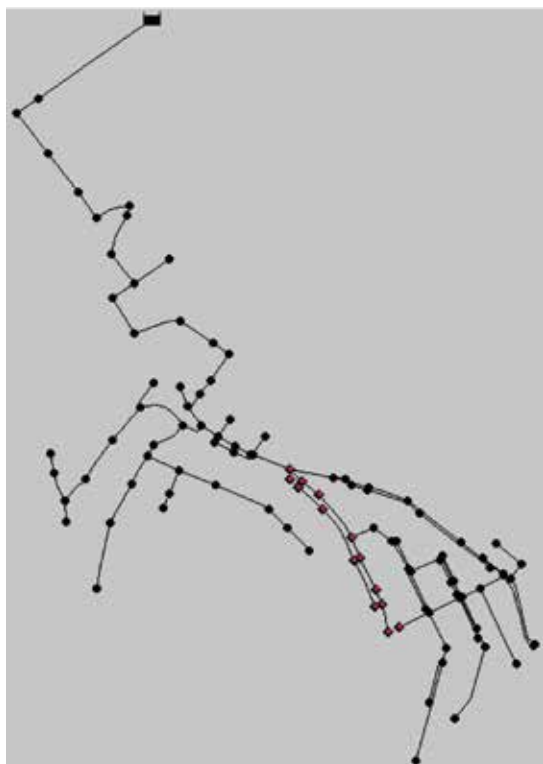


Figura 21 – Localização dos Coeficientes *Emitters* gerado após a calibração

Para calcular, então, as perdas reais, foi criada uma tabela de consulta de pressão no EPANET para os 14 nós contendo os coeficientes *Emitters* e se calculou as perdas reais. Para cada nó, foram totalizadas as perdas reais e depois somadas aos

demais nós. Os resultados da calibração estimaram as perdas reais diárias em 51,40 m³ de água por dia. Projetando-se essas perdas para um mês, foi possível construir o balanço hídrico (Tabela 3) do setor de forma simplificada.

Tabela 3 – Balanço Hídrico simplificado das perdas utilizando o método da calibração

Água que entra no sistema 7.129 m ³ (100,00%)	Consumo Autorizado 4.681 m ³ (65,66%)	Consumo Autorizado Faturado 4.681 m ³ (100,00%)
		Consumo Autorizado Não Faturado 0 m ³ (0,00%)
	Perdas de Água 2.448 m ³ (34,34%)	Aparentes 906 m ³ (37,00%)
		Reais 1.542 m ³ (63,00%)

4.2 Mínimas noturnas

Para calcular as perdas reais através do Método das Mínimas Noturnas, foram utilizados apenas os valores registrados de hora em hora. O deslocamento para a campanha ocorreu por volta da 00h30min para dar início às manobras. Um integrante da equipe do SIMAE ficou encarregado realizar as manobras de fechamento de entrada de água no setor da Subestação, enquanto um membro do projeto acompanhava a variação da vazão pelo conversor do macromedidor (Figura 23). A cada manobra, esperava-se 30 minutos para as pressões e vazões estabilizarem-se para continuar o procedimento. Os resultados obtidos utilizando o método das Mínimas Noturnas são apresentados na Tabela 4 e demonstram os valores médios de N1.



Figura 22 – Início das manobras no setor da Subestação



Figura 23 – Conversor do macromedidor do setor da Subestação

Com os valores médios de N_1 para cada ponto de monitoramento, calculou-se o Fator Noite/Dia, conforme segue:

$$Fator\ Noite / Dia_{m\u00e9dio} = \frac{22,96 + 17,26 + 17,13}{3}$$

$$Fator\ Noite / Dia_{m\u00e9dio} = 19,12$$

A vazão mínima noturna média do setor da Subestação, de acordo com os dados do supervisório, durante o período das 3h00min às 4h00min foi de 2,8 m³/h. Com isso, o Volume Diário de Perdas Reais no setor da Subestação foi de:

$$VDPR = 19,12\ hora / dia \times 2,8\ m^3 / hora$$

$$VDPR = 53,54\ m^3 / dia = 53.540\ Litros / dia$$

Tabela 4 – Resumo dos valores de vazão, pressão e N_1 para a segunda campanha de campo

Pontos de medição	Horário	Vazão Q (m ³ /h)	Pressão P (m.c.a)	Valores de N_1
P ₁	2:00	3,60	51,46	1,9823
	2:30	2,30	41,05	1,6601
	3:00	1,40	30,44	1,5906
	3:30	0,75	20,56	N_1 médio = 1,7443
P ₃	2:00	3,60	40,64	1,6010
	2:30	2,30	30,72	1,1799
	3:00	1,40	20,17	0,9220
	3:30	0,75	10,25	N_1 médio = 1,2343
P ₄	2:00	3,60	46,99	1,8411
	2:30	2,30	36,84	1,4713
	3:00	1,40	26,29	1,3312
	3:30	0,75	16,45	N_1 médio = 1,5479

Os resultados demonstram que, por dia, 53,54 m³ de água perdida são devido às perdas reais. Da mesma forma, extrapolaram-se os resultados para um mês, mostrados no balanço hídrico na Tabela 5. Durante as manobras, os valores de vazão macro-medido tiveram sua precisão submedida para valores abaixo de 4 m³/hora, de acordo com o catálogo do fabricante. Isso poderia gerar incertezas com relação ao volume disponibilizado ao setor.

Tabela 5 – Balanço Hídrico simplificado utilizando o método das vazões mínimas noturnas

Água que entra no sistema 7.129 m ³ (100,00%)	Consumo Autorizado 4.681 m ³ (65,66%)	Consumo Autorizado Faturado ±4.681 m ³ (100,00%)
		Consumo Autorizado Não Faturado 0 m ³ (0,00%)
	Perdas de Água 2.448 m ³ (34,34%)	Aparentes ±842 m ³ (32,19%)
		Reais ±1.660 m ³ (67,81%)

Após calcular as perdas reais do setor da Subestação utilizando a calibração e as Vazões Mínimas Noturnas, fez-se uma comparação de desempenho entre outras companhias de saneamento através do Indicador de Perdas por Ligação (IPL).

Observando os valores da Tabela 6, pode-se constatar que o sistema de abastecimento de água de Capinzal/Ouro lidera entre as demais companhias de saneamento comparadas. Observa-se, porém, que os dados das outras companhias foram aplicados, em alguns casos, em todo sistema, enquanto os dados da SIMAE de Capinzal/Ouro são de apenas um setor.

Tabela 6 – Comparação entre SAA utilizando o Índice de Perdas por Ligação

Empresa	Perdas (litros/ligação/dia)		
	Reais	Aparentes	Totais
ER Ilhéus/EMBASA	167	239	406
SAAE Viçosa	277	101	378
SAE Ituiutaba	158	33	191
SAMAE São Bento do Sul	128	95	223
COPASA Montes Claros	296	125	421
SEMASA Santo André	203	86	289
SAAE Sorocaba	426	169	595
US Santa Maria/CORSAN	443	146	589
SAAEG Guaratinguetá	318	52	370
SAMAE Caxias do Sul	444	129	573
SIMAE Capinzal/Ouro - Calibração	109	64	173
SIMAE Capinzal/Ouro - VMN	114	60	174

Fonte: Revista Saneamento para Todos (2007)

4.3 Redução de custos com bombeamento

O município de Capinzal (SC) contava, na época do estudo, com 11 (onze) estações elevatórias, denominadas como CB. A Tabela 7 descreveu as principais informações do sistema, na época que foi executado esse projeto.

Tabela 7 – Caracterização do sistema de Capinzal/Ouro

SIMAE Capinzal/Ouro		
População	26.000	Habitantes
Ligações de água	6.492	Unidades
Extensão da Rede	145,2	Km
Volume de água fornecido	92.011	m ³
Consumo de Energia	137.612	kWh/mês
Desnível do sistema	220	metros
Índice de Perdas de Água	27	%

Fonte: (SIMAE, 2008).

A maioria das estações elevatórias possuía macromedidores eletromagnéticos para registro de vazão. A distribuição do consumo de energia em cada estação elevatória e o sistema tarifário em vigência na época é apresentado na Figura 24.

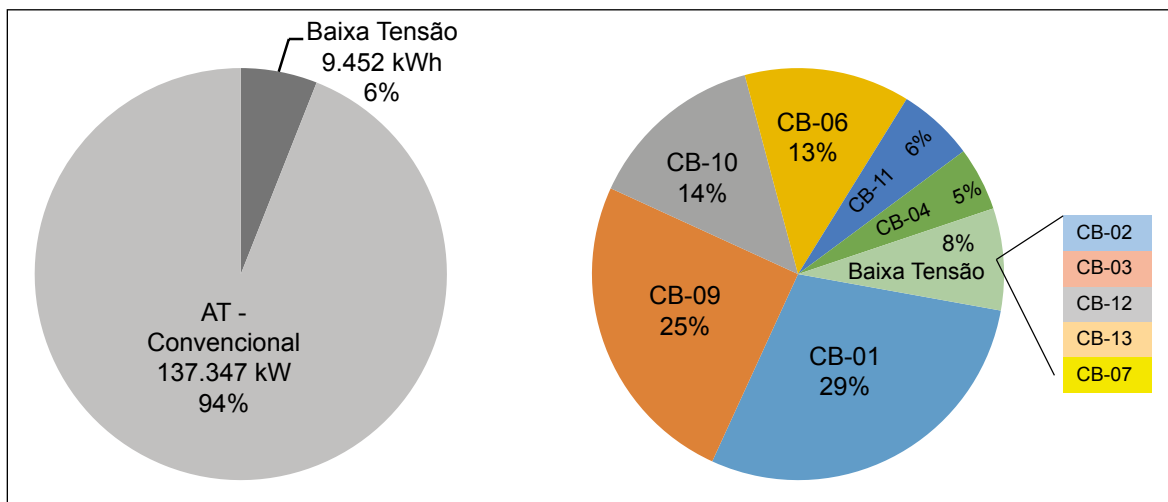


Figura 24 – Gráfico de distribuição do consumo e sistema tarifário

4.4 Levantamento de dados

A partir desse levantamento em campo, obteve-se a caracterização de cada elevatória e sua operação. Na captação de água bruta, eram utilizados dois conjuntos motor-bomba trabalhando simultaneamente. Em outras partes do sistema, era utili-

zado somente um conjunto em operação, deixando assim, uma unidade para uma eventual emergência. As estações eram operadas em regime de “rodízio”, cada conjunto era programado para funcionar um período de tempo. Finalizado esse tempo, o “reserva” entrava em operação.

Para análise dos estudos de eficiência energética, foram utilizadas somente as estações elevatórias enquadradas como alta tensão. Os conjuntos de baixa tensão não foram levados em consideração em virtude de consumirem apenas 7% de energia do sistema. As CBs escolhidas para aplicação da metodologia foram a CB-01, CB-04, CB-06, CB-09, CB-10 e CB-11.

4.5 Diagnóstico

A primeira etapa do diagnóstico foi realizada com uma visita ao município de Capinzal, onde foram levantados (a) Tempo de Funcionamento; (b) Vazão nos macromedidores; (c) Níveis dos reservatórios; (d) Tensão e corrente nas elevatórias; e (e) Vazão aduzida pelas CBs conforme Tabela 8. Diagnóstico das estações elevatórias.

Por meio da comparação entre o volume necessário no horário de ponta, o volume útil de reservação e o volume aduzido pelas bombas, foi possível concluir sobre a possibilidade do desligamento do(s) conjunto(s) em horário de ponta. Para a determinação da curva de consumo dos setores, foram utilizados os dados de consumo obtidos através da telemetria do sistema. O período em estudo foi de julho de 2007 a junho de 2008, onde realizou-se uma análise para obter o dia de maior consumo nesse período. O dia de maior consumo no ano em estudo foi o dia 15 de dezembro de 2007, totalizando um volume 3.809 m³ de água consumida durante esse dia. A reservação necessária nos horários de ponta foi determinada utilizando-se as curvas de consumo, definindo-se como sendo o volume necessário no horário de ponta, todo o volume que estiver abaixo da curva de demanda no horário das 18h30min e 21h30min.

Tabela 8 – Diagnóstico das estações elevatórias

Descrição		Potência Média [kW]	Vazão Média [m ³]	Altura Geo. [m]	CE [kWh/m ³]	CEN [kWh/m ³ /100m]
CB-04	Bomba 01	43,67	57,31	132,12	0,76	0,58
	Bomba 02	41,1	53,12		0,78	0,59
CB-06	Bomba 01	44,73	46,25	115,3	0,97	0,84
	Bomba 02	44,67	47,29		0,94	0,82
CB-09	Bomba 01	66,69	65,5	156,92	1,04	0,66
	Bomba 02	71,78	62,8		1,18	0,75
CB-10	Bomba 01	33,99	56,44	82,46	0,6	0,74
	Bomba 02	32,72	56,48		0,58	0,71
CB-11	Bomba 01	32,35	55,74	83,52	0,6	0,72
	Bomba 02	32,97	52,45		0,65	0,78

A partir do dia de maior consumo durante o período de um ano de análise de dados, foi obtida a variação do consumo diário para cada setor analisado. Para estudar a viabilização do desligamento dos conjuntos motor-bomba no horário de ponta, necessitou-se obter dados sobre nível/volume mínimo em operação e compará-lo com o volume consumido no horário de ponta acrescido do volume mínimo de segurança (20% do volume de ponta).

A Tabela 9 apresentou a verificação da viabilidade de desligamento dos conjuntos motor-bomba em estudo. Para a maioria dos setores analisados, tendo como exceção a CB-09, seria possível realizar o desligamento devido aos reservatórios terem o nível mínimo de operação maior do que o volume mínimo necessário no horário de ponta. A única alternativa negativa deve-se à operação da CB-09, onde o seu acionamento ocorreria quando o R-09 alcançasse o nível de 20%, equivalente a 10 m³ de água.

Em outro aspecto analisado, o conjunto motor-bomba deveria atender a vazão mínima de adução no sistema. Analisando resultados da Tabela 9, a CB-09 estaria em funcionamento no seu limite, 99% da capacidade. Nessa situação a ocorrência de ativação da elevatória em horário de ponta seria bem maior, podendo aumentar os custos com energia ao invés de diminuir. Assim, a CB-09 não atendeu a vazão mínima de recalque necessária para atender a demanda durante o dia. Portanto, essa elevatória não poderia ser paralisada no horário de ponta. A vazão da bomba mais desfavorável foi a estação elevatória CB-10.

De acordo com a Figura 25, são definidos os volumes consumidos no horário de paralização dos conjuntos motor-bomba.

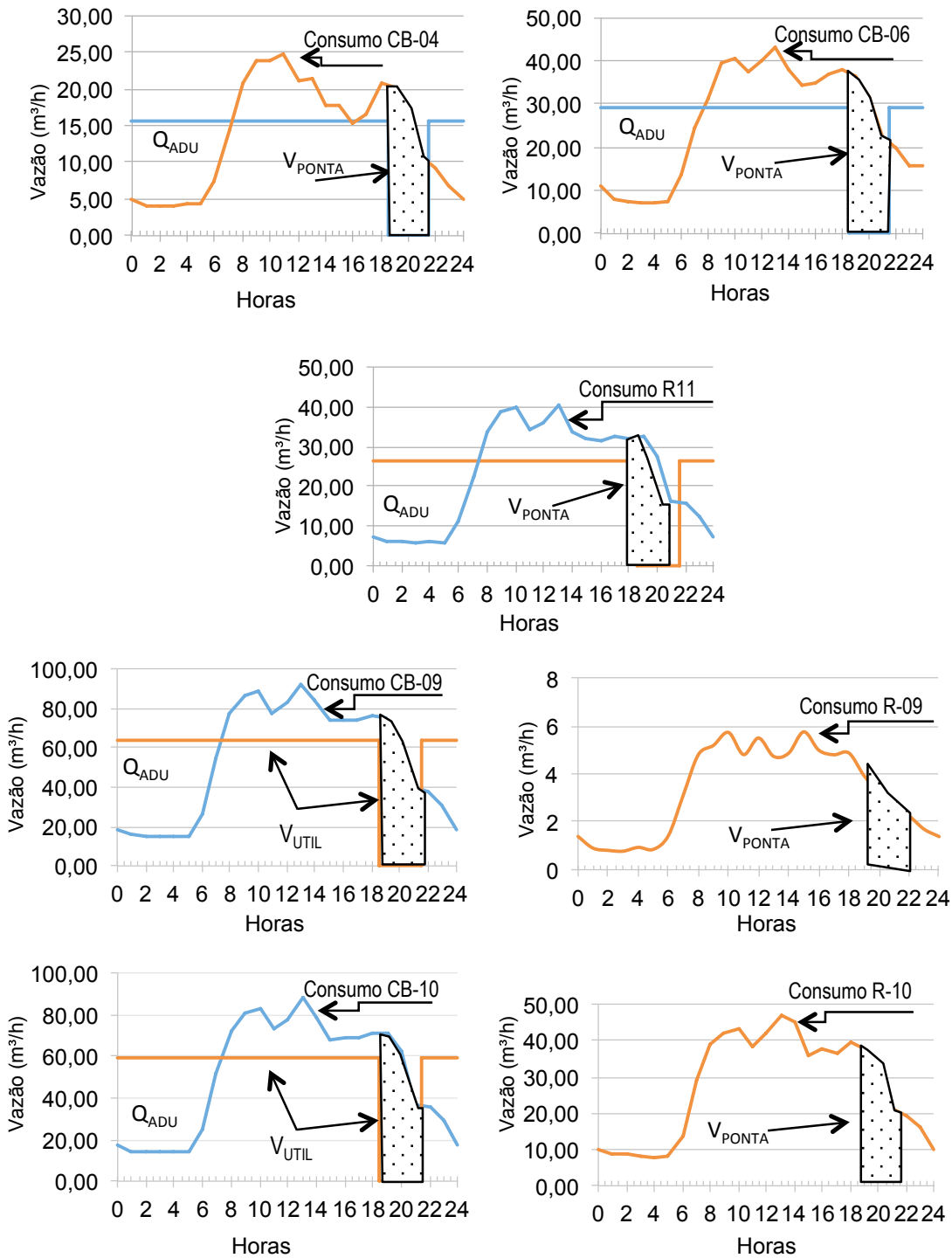


Figura 25 – Curvas de consumo com adução mínima para a paralisação das estações elevatórias

Tabela 9 – Verificação das condições de paralisação das elevatórias em horário de ponta

Setor	V _{NOMINAL}	V _{MINIMO EM OPERAÇÃO}		V _{MINIMO NECESSÁRIO (1,20 X V_{PONTA})}		Verificação da condição	Q _{NECESSARIA}	Q _{BOMBA DESFAVORÁVEL}		Verificação da condição
	[m ³]	[m ³]	[%]	[m ³]	[%]		[m ³ /h]	[m ³ /h]	[%]	
R-01	800	800	100%	739,65	92%	Ok!	272,13	292,5	93%	Ok!
R-04	500	400	80%	69,91	14%	Ok!	16,04	53,12	30%	Ok!
R-06	500	400	80%	127,03	25%	Ok!	29,76	46,25	64%	Ok!
R-09	50	10	20%	14,42	29%	Não!	62,42	62,8	99%	Não!
R-10	600	540	90%	134,52	22%	Ok!	58,62	56,44	104%	Não!
R-11	400	360	80%	110,57	28%	Ok!	26,68	52,45	51%	Ok!

4.6 Estudos para redução do consumo de energia e demanda utilizada

Para avaliar a redução do consumo de energia elétrica e da demanda utilizada através da parada das estações elevatórias em horário de ponta, foi realizado um levantamento (Figura 26) para quantificar o consumo e a demanda de energia elétrica nos horários de ponta e fora de ponta no mês de janeiro de 2008.

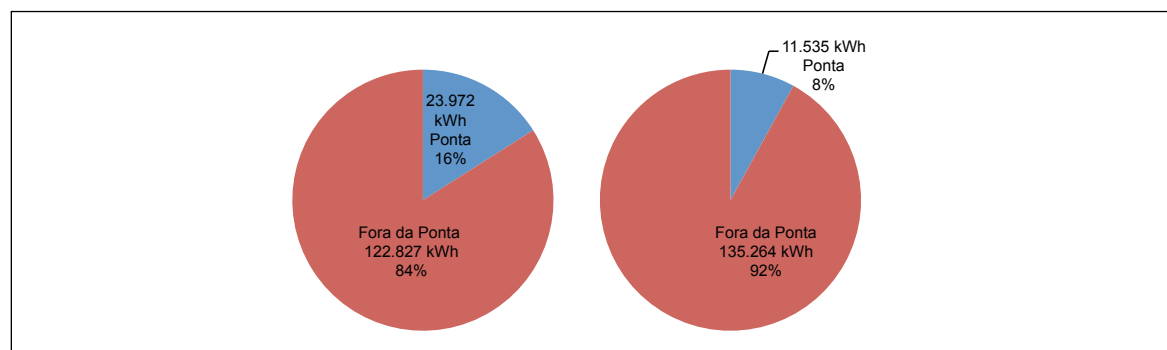


Figura 26 – Percentual de consumo de energia elétrica nos horários de ponta e fora de ponta, antes e depois do desligamento das estações elevatórias.

O consumo de energia no horário de ponta foi de 23.972 kWh, 16% do total, e no horário fora de ponta 122.827 kWh, representando 84% do consumo elétrico no período. A demanda contratada utilizada pelas estações elevatórias totalizaram 441 kW, tanto no horário de ponta como fora de ponta.

A Figura 26 apresenta o percentual do consumo de energia elétrica nos horários de ponta e fora de ponta, antes e depois do desligamento das estações elevatórias.

Com o desligamento das estações elevatórias no horário de ponta, o consumo nesse horário reduziria de 23.972 kWh para 11.535 kWh, representando agora 8% do consumo total de energia. A demanda utilizada no horário de ponta cairia de 441 kW para 164 kW, reduzindo em 60% a carga consumida nesse período, essa redução é representada na Figura 27. Percentual do consumo de energia elétrica nos horários de ponta e fora de ponta, antes e depois do desligamento das estações elevatórias.

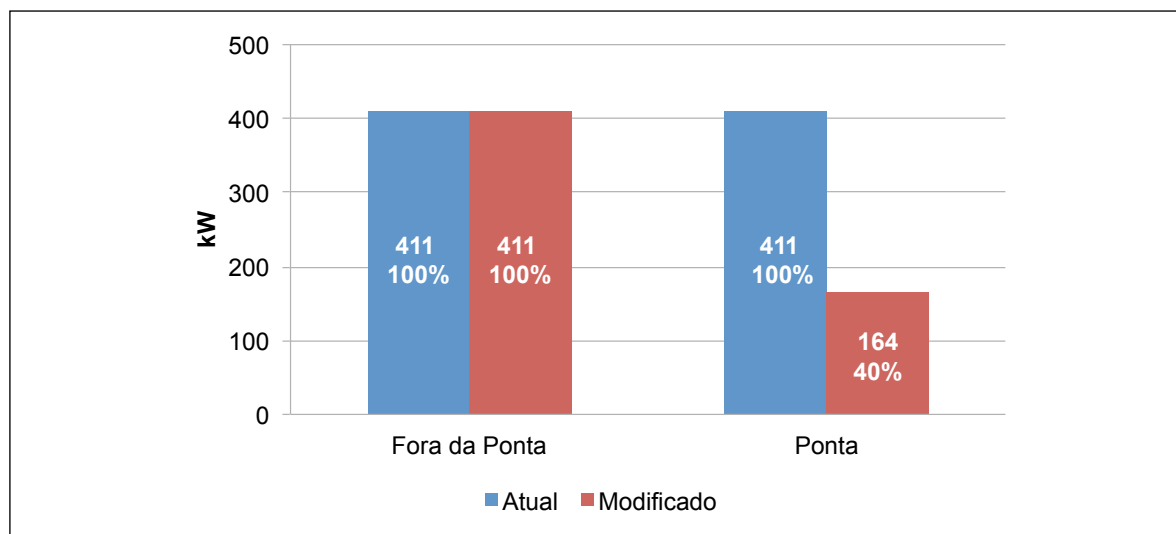


Figura 27 – Situação da demanda no horário fora e na ponta com a paralisação das elevatórias.

No sistema de abastecimento em estudo, a tarifa contratada para todas as estações elevatórias estão enquadradas como convencional. Um estudo foi realizado para obter a melhor tarifa para cada CB; as tarifas utilizadas nesse estudo foram estabelecidas através da Resolução Homologatória nº 601, 22/01/2008, da Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, e pela Portaria 001, de 04/01/1996, do Ministério das Minas e Energia. Essa resolução fixa as Tarifas de Uso dos Sistemas de Distribuição – TUSD, entre o período compreendido de 7 de fevereiro de 2008 a 6 de fevereiro de 2009. O consumo global de energia elétrica no período foi de 146.799 kWh e de demanda foi de 411 kW. No caso da utilização da tarifa convencional, a concessionária de abastecimento estaria pagando um valor de R\$ 32.976,37. Com os dados do consumo de energia elétrica durante o mês de janeiro de 2008, pôde-se fazer uma comparação dos custos com o enquadramento tarifário atual, utilizando a tarifa convencional, com os custos realizando a modificação tarifária para horo-sazonal com a paralisação das

estações elevatórias, em estudo, no horário de ponta. A redução dos custos, para o sistema em geral no período de janeiro de 2008, foi 17,2% utilizando a tarifa horo-sazonal azul e 16,4% utilizando a tarifa horo-sazonal verde, totalizando R\$ 5.661,25 e R\$ 5.395,15, respectivamente. A Figura 28 apresenta a redução obtida, realizando uma comparação entre as tarifas convencional, horo-sazonal azul e horo-sazonal verde.

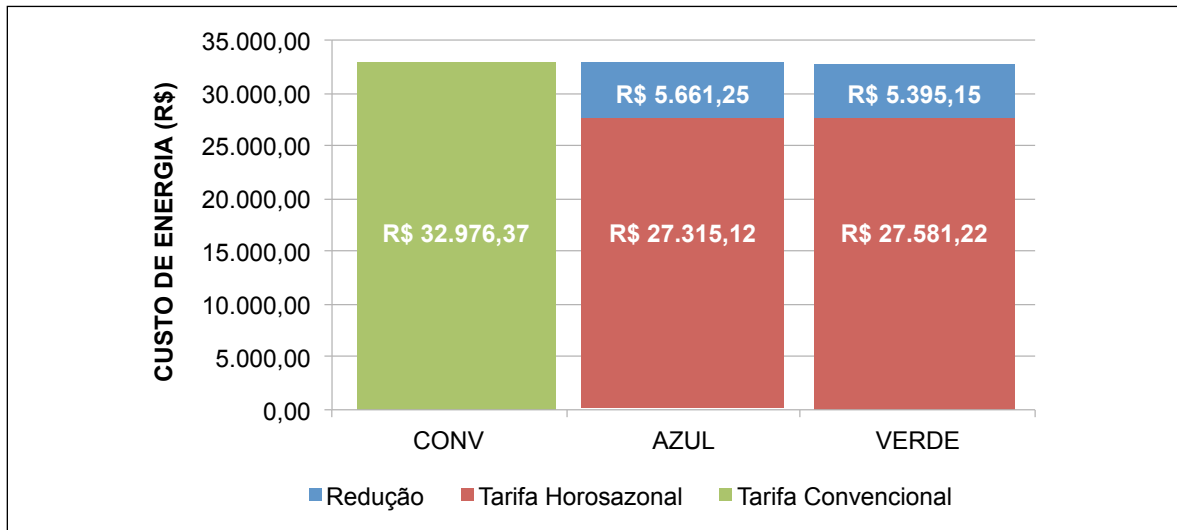


Figura 28 – Comparação da redução do custo com energia para o consumo elétrico no mês de janeiro de 2008

4.7 Etapas resumidas para elaboração de um protocolo de ações

O princípio básico que deverá presidir o desenvolvimento de uma estratégia de controle de perdas reais deverá incluir os seguintes passos:

- 1) Definição de objetivos do programa de perdas alinhados aos objetivos estratégicos do prestador e dos atores envolvidos (titular, agência de regulação, comitês de bacia);
- 2) Identificação e caracterização preliminares do sistema de distribuição de água e área em que ele se insere;
- 3) Determinação do custo da água e energia e do nível atual de perdas;
- 4) Determinação dos métodos de controle ativo de perdas e do seu custo, bem como da disponibilidade e custo de métodos alternativos;

- 5) Cálculo do nível de perdas de água e energia para os métodos de controle de perdas;
- 6) Análise da possibilidade de proceder às campanhas de redução de pressões, como primeiro passo na redução de perdas;
- 7) Revisão das alternativas disponíveis em termos de métodos de controle de perdas, e identificação das opções que eventualmente sejam preferíveis às atuais, em função do respectivo nível econômico de perdas;
- 8) Implementação dos métodos escolhidos;
- 9) Avaliação do desempenho para a nova situação.

A utilização criteriosa do modelo matemático pode ajudar a estimar a vazão de uma ou outra derivação que não disponha de medidor. Pelas razões expressas, é inevitável que os modelos não permitam avaliar a ordem de grandeza das perdas reais realmente existentes na rede de distribuição. Sem uma estimativa satisfatória desse valor não será possível avaliar o nível econômico de perdas em termos de globalidade da rede ou de grandes subsistemas e decidir com base numa abordagem “*top-down*” quando e onde vale a pena investir na implementação de estratégias de controle mais sofisticadas.

Numa fase intermédia, enquanto não for possível aplicar a abordagem “*Top-down*”, a entidade gestora poderá selecionar as primeiras áreas da rede a investigar com base em critérios empíricos, dos quais se salientam:

- Frequência atual de rupturas;
- Idade e materiais da rede;
- Tipo (permeabilidade) de solo;
- Nível freático;
- Tipo de ocupação sócio demográfica.

5 Recomendação para utilização dos resultados pela Funasa e indicativo de custos

O gerenciamento de perdas em sistemas de abastecimento de água deve ser uma ação contínua e transversal, não apenas no ambiente interno do prestador de serviços, mas também em seu ambiente externo (agências de regulação, órgãos do titular dos serviços, organizações da sociedade).

O presente projeto de pesquisa envolveu professores universitários, estudantes de pós-graduação e graduação, técnicos de empresas de saneamento, gerentes operacionais, consultores e profissionais das esferas municipais e federais com objetivo de desenvolver metodologias baseadas em tecnologias computacionais e de experimentação para auxiliar o gerenciamento de água em sistemas urbanos de abastecimento.

Os conceitos mais modernos de controle e gerenciamento de perdas em sistemas de abastecimento são pautados em teorias de planejamento e gestão de infraestruturas, apresentadas em diferentes níveis: estratégico (missão e visão da entidade gestora), tático (estabelece as vias para as ações) e operacional (programas e ações). O projeto de pesquisa apresentou as etapas necessárias para construção de um plano de ação sob um conceito de planejamento estratégico. Os resultados são metodologias e procedimentos, baseadas em tecnologias computacionais (modelagem, simulação e otimização), que auxiliam a elaboração dos planos táticos.

Uma inovação do projeto foi mostrar os métodos de estimação das perdas de água e da segregação em reais e aparentes baseadas em técnicas de modelagem computacional e de experimentação em campo. Dois métodos foram testados para quantificação das perdas: Mínimas Noturnas (técnica convencional) e Calibração (técnica baseada em modelagem computacional). Ambos os métodos, quando comparados, conseguiram estimar valores de perdas reais muito próximos. Aliado a eles, os respectivos balanços hídricos puderam mostrar de forma simples e eficiente para onde está sendo perdida a água dentro do setor. Observou-se que a quantificação de perdas via modelagem computacional (modelos de calibração), embora seja um método mais complexo que o convencional, permite estimar o volume e também localizar regiões críticas.

Durante a execução do referido projeto, as capacitações presenciais serviram de reuniões motivacionais para demonstrar as vantagens do uso da modelagem e simulação de sistemas. Em um segundo momento, as capacitações serviram como transfe-

rência de tecnologia. Outra ação positiva foi o convívio permanente dos integrantes da equipe com os técnicos da empresa de saneamento.

Durante os cursos e intercâmbio se demonstrou que muitos problemas poderiam ter sido analisados sem a intervenção física no sistema, através de *softwares* de simulação, o que resultaria em um baixo custo de investimento. Mesmo assim, identificou-se muita resistência dos operadores ao uso dessas novas tecnologias. Isso pode ser justificado pelo fato que muitos deles não possuem formação de nível superior e apresentam deficiências conceituais. Concluiu-se, portanto, que para aplicação de tais tecnologias há necessidade de se realizar treinamentos exaustivos e intensivos.

O projeto avançou no uso e aplicação de indicadores de desempenho do sistema para fins de planejamento tático. Além disso, através deles foram delimitadas áreas críticas de análise.

Considerando o gasto energético em sistemas de abastecimento de água, o presente projeto elaborou um passo a passo para avaliação simples da eficiência hidroenergética em sistemas. Através de uma análise realizada a partir de informações obtidas pelo levantamento em campo, quanto às unidades consumidoras, dos dados de telemetria do sistema, bem como das faturas de energia elétrica, foi possível proceder ao diagnóstico de resultados obtidos com o desligamento dos conjuntos motor-bomba em horário de ponta de consumo energético, para reduzir a carga consumida pelas estações elevatórias.

Por fim, concluiu-se nesse projeto que o problema das perdas não se resolve apenas com tecnologia, mas com um processo de gestão contínua na empresa.

5.1 Indicativo de custos

EQUIPAMENTOS	UNIDADE	CUSTO (R\$)
Medidor de vazão ultrassônico	Custo Unitário	55.000,00
Registrador de pressão e vazão	Custo Unitário	9.000,00
Software de Modelagem Hidráulica Epanet	Custo Unitário	Gratuito
SERVIÇOS		
Diagnóstico e Modelagem do Sistema	R\$/km	350,00
Experimentação em Campo	R\$/DMC (~1000-2000 ligações)	15.000,00
Curso de sensibilização	H.Hora	450,00

6 Referências bibliográficas

ABE, N.; CHEUNG, P. B. (2010). EPANET Calibrator – An Integrated Computational Tool to Calibrate Hydraulic Models. Integrating Water Systems-Boxall & Maksimovic (eds)

CHEUNG, P. B.; GIROL, G. V.; ABE, N.; PROPATO, M. (2010). Night flow analysis and modeling for leakage estimation in a water distribution system. Integrating water systems. Taylor & Francis Group, London, 509-513

ABE, N., CHEUNG, P. B. EPANET Calibrator User's Guide. Campo Grande, MS, 2008.

ALEGRE, H. *et al.* Performance indicators for water supply service. IWA Publishing, 2000.

HUNAIDI, O.; BROTHERS, K. Night flow analysis of pilot DMAs in Ottawa. Water Loss Specialist Conference, International Water Association (Bucharest, Romania, September 23, 2007), pp. 32-46

ROSSMAN, L. EPANET 2 users manual. U. S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio, 2000.

SNIS - SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. Diagnóstico dos serviços de água e esgotos - 2007. Brasília, DF, 2007.



Relação das Pesquisas conveniadas/selecionadas pela Funasa Programa de Pesquisa em Saúde e Saneamento

Edital 001/2000

- 1) Potenciais fatores de risco à saúde decorrentes da presença de subprodutos de cloração na água utilizada para consumo humano, coordenador Valter Lúcio de Pádua, Universidade Federal do Ceará.
- 2) Cemitérios como fonte potencial de contaminação das águas subterrâneas. Região de Cuiabá e Várzea Grande - MT, coordenador Renato Blat Migliorini, Universidade Federal do Mato Grosso.
- 3) Estudo de processos aplicados ao tratamento de efluentes de serviços de saúde com ênfase na etapa de remoção de organismos patogênicos, coordenador Luiz Olinto Monteggia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- 4) Aplicação controlada de água residuária e lodo de esgoto, no solo para melhorar e incrementar a agricultura do semiárido nordestino, coordenadora Annemarie König, Universidade Federal de Campina Grande.
- 5) Exclusão sanitária em Belo Horizonte - MG: caracterização e associação com indicadores de saúde, coordenador Léo Heller, Universidade Federal de Minas Gerais.
- 6) Estudo dos impactos das melhorias sanitárias domiciliares no Município de Vitória, no combate às doenças de veiculação hídrica, coordenadora Cleunice Inácio Rodrigues, Prefeitura Municipal de Vitória.
- 7) Taipa para o Brasil, coordenador Marcondes Araújo Lima, Universidade Federal do Ceará.
- 8) Indicadores biológicos de qualidade da água (coliformes fecais, *Escherichia coli* e *Cryptosporidium*) e o impacto das doenças de veiculação hídrica: estudo de caso – Parque Cuiabá – Cuiabá - MT, coordenadora Edna Lopes Haridoim, Universidade Federal do Mato Grosso.

- 9) Tecnologias não convencionais para o tratamento de água para pequenas comunidades, incluindo desinfecção, coordenadora Cristina Célia Silveira Brandão, Universidade de Brasília.
- 10) Impactos na saúde e no Sistema Único de Saúde decorrentes de agravos relacionados a um saneamento ambiental inadequado, coordenador André Monteiro Costa, Fundação Oswaldo Cruz.

Edital 001/2001

- 1) Detecção simplificada de coliformes totais e *Escherichia coli* em amostras de água utilizando substrato cromogênico em microplacas e metodologia NMP, coordenador Sérgio Túlio Alves Cassini, Universidade Federal do Espírito Santo.
- 2) Dessalinizador para obtenção de água potável em pequenas comunidades com utilização de resinas de troca iônica de energias alternativas, coordenadora: Andréa Lessa da Fonseca, Centro Federal de Educação Tecnológica do Rio Grande do Norte.
- 3) Produção de água potável através de destilação solar natural, coordenador Maurício Luiz Sens, Universidade Federal de Santa Catarina.
- 4) Potencial de florações de cianobactérias em um reservatório de abastecimento doméstico no Estado do Espírito Santo (Reservatório Duas Bocas), coordenadora Valéria de Oliveira Fernandes, Universidade Federal do Espírito Santo.
- 5) Efeitos de fatores físicos e químicos no crescimento de cianobactéria e proposição de técnicas de tratamento de água para remoção de cianobactérias e cianotoxinas, coordenadora Sandra Maria Feliciano de Oliveira Azevedo, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- 6) Desempenho de uma ETA convencional na remoção de protozoários em águas de abastecimento, coordenador Ricardo Franci Gonçalves, Universidade Federal do Espírito Santo.
- 7) Disposição no solo como uma alternativa de tratamento e pós-tratamento de esgoto para pequenas comunidades, coordenadora Sandra Tédde Santaella, Universidade Federal do Ceará.

- 8) Desenvolvimento de sistema compacto para tratamento de esgotos domésticos oriundos de populações dispersas ou de pequenas comunidades em áreas rurais, coordenador Carlos Augusto de Lemos Chernicharo, Universidade Federal de Minas Gerais.
- 9) Simulação matemática de impacto da disposição final de efluentes sanitários em corpo receptor, caso estudo: sub-bacia de Arroio Demétrio, bacia hidrográfica do Rio Gravataí – RS, coordenador Sérgio João de Luca, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- 10) Avaliação de sustentabilidade tecnológica e ambiental de aterros sanitários como método de tratamento e de disposição final de resíduos de serviços de saúde, coordenadora Liséte Celina Lange, Universidade Federal de Minas Gerais.
- 11) Avaliação de métodos de desinfecção de resíduo hospitalar e seu percolado, coordenador Sebastião Roberto Soares, Universidade Federal de Santa Catarina.
- 12) Tecnologia simplificada para remediação de área degradada por lixo estudo de caso: Município de Araguari, coordenadora Maria de Fátima Abreu, Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais.
- 13) Barramento com pneus usados para contenção de solo e água, aterraceamento com tiras de pneus, coordenador José Geraldo Vasconcelos Baracuhy, Universidade Federal de Campina Grande.
- 14) Avaliação de relevância da supervisão da Fundação Nacional de Saúde no desempenho de Estações de Tratamento de Águas operadas por Autarquias Municipais no Estado de Minas Gerais, coordenador Marcelo Libânio, Universidade Federal de Minas Gerais.
- 15) Uso de Indicadores quali-quantitativos na avaliação dos serviços de Saneamento na cidade de Salvador – Bahia, coordenadora Patrícia Campos Borja, Universidade Federal da Bahia.
- 16) A avaliação da efetividade das ações de saneamento do Rio Grande do Norte, coordenadora Maria do Socorro Quirino Escoda, Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

- 17) Filtros domésticos: avaliação de sua eficácia e eficiência na redução de agentes patogênicos, coordenador Paulo Tadeu Ribeiro de Gusmão, Universidade Federal de Pernambuco.
- 18) Tecnologia de construção e adaptação de unidades de saúde para os povos indígenas, coordenadora Maria Fátima Roberto Machado, Universidade Federal do Mato Grosso.

Edital 001/2003

- 1) Avaliação do rendimento, qualidade da água produzida e custos de dessalinizadores instalados no município de Poço Redondo – SE, coordenador Mário Takayuki Kato, Universidade Federal de Pernambuco.
- 2) Metodologia para localização de obras superficiais e subsuperficiais de captação de água através de mapeamento de zonas de qualidade de água, coordenador José Dantas Neto, Universidade Federal de Campina Grande.
- 3) Avaliação da eficiência do protocolo de tratamento de água na ETA Vila C no controle de larvas de *Limnoperna fortunei*, coordenador Cleverson Vitório Andreoli, Companhia de Saneamento do Paraná.
- 4) Avaliação da aplicação do dióxido de cloro no tratamento de água para consumo humano, coordenador Rafael Kopschitz X. Bastos, Universidade Federal de Viçosa.
- 5) Avaliação de métodos de remoção e inativação de formas de resistência de protozoários parasitos da água, coordenadora Vanete Thomaz Soccol, Universidade Federal do Paraná.
- 6) Avaliação da filtração em múltiplas etapas para remoção de turbidez de águas superficiais, coordenador Eduardo Quejia de Siqueira, Universidade Federal de Goiás.
- 7) Proteção sanitária das cisternas utilizadas na reservação de águas pluviais para uso domiciliar: aspectos técnicos e educacionais”, coordenador Valter Lúcio de Pádua, Universidade Federal de Minas Gerais.
- 8) Adsorção de cianotoxinas em diferentes matrizes, coordenadora Marta Maria Menezes Bezerra Duarte, Instituto de Tecnologia de Pernambuco.

- 9) Utilização de processos oxidativos avançados para remediação de águas contaminadas com toxinas produzidas por cianobactérias, coordenador Patrício Peralta Zamora, Universidade Federal do Paraná.
- 10) Desfluoretação parcial de águas subterrâneas, coordenador Eduardo Lobo Alcayaga, Universidade de Santa Cruz do Sul.
- 11) Contribuições ao Desenvolvimento de Concepções alternativas de tanques sépticos, coordenador Daniel Costa dos Santos, Universidade Federal do Paraná.
- 12) Arranjos tecnológicos para tratamento de esgotos sanitários de forma descentralizada, coordenador Luiz Sérgio Philippi, Universidade Federal de Santa Catarina.
- 13) Promoção de saneamento ambiental em pequenas comunidades e regiões carentes, coordenador Harrysson Luiz da Silva, Universidade Federal de Santa Catarina.
- 14) Saneamento ambiental em comunidades rurais do entorno do Parque Estadual do Rio Preto, Vale do Jequitinhonha, coordenadora Rosana Passos Cambraia Beinner, Faculdades Federais Integradas de Diamantina.
- 15) Proposta de melhorias no sistema de manejo e disposição dos resíduos sólidos para pequenas comunidades, coordenadora Viviana Maria Zanta, Universidade Federal da Bahia.
- 16) Implantação de um sistema de gestão integrada de resíduos sólidos no Arraial de São Francisco do Mombaça, coordenadora Sandra Maria Furiam Dias, Universidade Estadual de Feira de Santana.
- 17) Tecnologia para otimização do uso da água no domicílio, coordenadora Lúcia Helena de Oliveira, Universidade Federal de Goiás.
- 18) Tecnologia de sistemas condominiais de esgotos: uma avaliação de sua aplicação em cidades de diferentes portes, coordenador Augusto Fernandes Carvalho Sá de Oliveira, Universidade Federal da Bahia.
- 19) Avaliação das condições sanitárias de microáreas, de ligações intradomiciliares da rede de esgotamento sanitário do Programa Bahia Azul, coordenadora Rita de Cássia Franco Rego, Universidade Federal da Bahia.

- 20) Programas municipais de coleta seletiva de lixo como fator de sustentabilidade dos sistemas públicos de saneamento ambiental na região metropolitana de São Paulo, coordenadora Helena Ribeiro, Universidade de São Paulo.
- 21) Representações e práticas sociais ligadas à Gestão Água, coordenadora Ariane Kuhnen, Universidade Federal de Santa Catarina.
- 22) Percepções e usos da água em pequenas comunidades: uma perspectiva antropológica, coordenadora Carla Costa Teixeira, Universidade de Brasília.
- 23) Gestão de odores em uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) utilizando o processo de biofiltração, coordenador Paulo Belli Filho, Universidade Federal de Santa Catarina.
- 24) Impacto das ações de saneamento na saúde das populações das terras indígenas de Ivaí e Faxinal no Estado do Paraná, coordenador Max Jean de Ornelas Toledo, Universidade Estadual de Maringá.
- 25) Pesquisa-ação no Distrito de Iauaretê do Município de São Gabriel da Cachoeira/AM. Proposta de melhorias sanitárias e mudanças de hábitos, coordenadora Maria Cecília Focesi Pelicioni, Universidade de São Paulo.

Edital 001/2007

- 1) Sistema simplificado de tratamento de água para remoção de cor a ser utilizada nas pequenas comunidades rurais na Amazônia utilizando plantas como coagulante natural, coordenador Ézio Sargentini Júnior, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/Ministério da Ciência e Tecnologia.
- 2) Estudo da minimização das perdas físicas em sistema de distribuição de água utilizando o modelo EPANET, coordenador Gilson Alberto Rosa Lima, Universidade Federal do Mato Grosso.
- 3) Aplicação da eletrodialise para remoção de compostos nitrogenados em águas para abastecimento público, coordenador Andréa Moura Bernardes, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- 4) Aprimoramento de tecnologia de potabilização para remoção de microalgas, cianobactérias e cianotoxinas presentes em mananciais de captação superficial

eutrofizados por filtração direta com filtro autolimpante, coordenador Maurício Luiz Sens, Universidade Federal de Santa Catarina.

- 5) Uso associado de técnicas computacionais e de experimentação voltado ao gerenciamento de perdas em sistemas de abastecimento de água, coordenador Peter Batista Cheung, Universidade Federal de Santa Catarina.
- 6) Pós-tratamento de esgotos usando filtro raiz em áreas alagáveis, coordenador Alex Fabiano Ribeiro de Magalhães, Fundação Centro de Análise, Pesquisa e Inovação Tecnológica.
- 7) Avaliação e análise comparativa de três diferentes sistemas de *Wetlands* - Fluxo Superficial, Vertical e Subsuperficial - utilizados para o tratamento de efluentes pluviais contaminados por poluição, coordenador Marcos Von Sperling, Universidade Federal de Minas Gerais.
- 8) Tecnologia de tratamento de lodo de tanque séptico unifamiliar conjuntamente com resíduos sólidos orgânicos para municípios de pequeno porte do semiárido paraibano - TECTRALORO, coordenador José Tavares de Sousa, Universidade Estadual da Paraíba.
- 9) Avaliação Operacional e da Eficiência de Lagoas de Estabilização no Estado do RN – ALERN, coordenador André Luis Calado Araújo, Centro Federal de Educação Tecnológica do Rio Grande do Norte.
- 10) Alternativas de Gerenciamento Seguro de Lodos de Esgotos sob a Ótica do Saneamento Descentralizado, coordenador Luiz Sérgio Philippi, Universidade Federal de Santa Catarina.
- 11) Adaptação de Parâmetros de Projeto para Lagoas de Estabilização Aplicáveis às Condições Climáticas da Bacia Hidrográfica do Rio do Peixe, Região Meio Oeste do Estado de Santa Catarina/LAGPEIXE, coordenador Dirceu Scaratti, Universidade do Oeste de Santa Catarina.
- 12) Modelos de Gestão dos Serviços de Saneamento no Brasil: Limites e Possibilidades, coordenador Luiz Roberto Santos Moraes, Universidade Federal da Bahia.
- 13) Participação e mobilização Social: Metodologia em ações educativas para o saneamento ambiental para pequenos municípios, coordenador Sandra Maria Furiam Dias, Universidade Estadual de Feira de Santana.

- 14) Avaliação comparativa de gestão de serviços de saneamento em diferentes modelos institucionais. Estudo em três municípios do Espírito Santo - GESANTO, coordenador Léo Heller, Universidade Federal de Minas Gerais.
- 15) Saneamento Ambiental, Sustentabilidade e Permacultura em Assentamentos Rurais/Samspar, coordenador Bernardo Arantes do Nascimento Teixeira, Universidade Federal de São Carlos.

Edital 001/2011

- 1) Sistemas de tratamento para desfluoretação parcial de águas subterrâneas com presença de flúor superior à estabelecida na Portaria MS nº 518/2004, Adilson Ben da Costa, Universidade de Santa Cruz do Sul.
- 2) Instrumentos metodológicos para estimular a formação de consórcios públicos voltados para gestão integrada dos serviços de saneamento, Ana Lucia Nogueira de Paiva Brito, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- 3) Metodologia para formulação de consórcios para gestão integrada em saneamento ambiental, Bernardo Arantes do Nascimento Teixeira, Universidade Federal de São Carlos.
- 4) Desenvolvimento de biofiltro com meio suporte constituído de lodo desidratado e escória de alto forno para a remoção simultânea de sulfeto de hidrogênio e metano presentes no gás residual de reatores anaeróbios, Carlos Augusto de Lemos Chernicharo, Universidade Federal de Minas Gerais.
- 5) Desenvolvimento de um sistema de monitoramento eletrônico in situ de água usando tecnologia de rede de sensores sem fio alimentada com energia solar, Ernane Jose Xavier Costa, Universidade de São Paulo.
- 6) Coleta seletiva; modelos de gestão com e sem inclusão de catadores, vantagens e desvantagens na perspectiva da sustentabilidade, Helena Ribeiro, Universidade de São Paulo.
- 7) Avaliação de um sistema de tratamento de água convencional na remoção de cianobactérias e cianotoxinas: estudo de caso, SAMAE, Caxias do Sul, RS; João Sarkis Yunes; Universidade Federal do Rio Grande.

- 8) Avaliação da eficiência da filtração lenta com retrolavagem, na remoção de protozoários (*Giardia* e *Cryptosporidium*), como tratamento de água para consumo humano, Maurício Luíz Sens, Universidade Federal de Santa Catarina.
- 9) Modelo de gestão de resíduos sólidos para cinco assentamentos no município de Palmas, Paula Benevides de Moraes, Universidade Federal do Tocantins.
- 10) Desenvolvimento de uma ferramenta para o processo de planejamento, implementação e gestão de sistemas sustentáveis de saneamento para comunidades isoladas, Paula Loureiro Paulo, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.
- 11) Filtros plantados com macrófitas (WETLANDS construídos) empregados no tratamento descentralizado de esgotos/Wetlands Videira, Paulo Belli Filho, Universidade Federal de Santa Catarina.
- 12) Metodologia para fortalecimento do controle social na gestão em saneamento, Pedro Roberto Jacobi, Universidade de São Paulo.
- 13) Tratamento de água por Filtração em Margem para o abastecimento de populações dispersas e pequenas comunidades, Ramon Lucas Dalsasso, Universidade Federal de Santa Catarina.
- 14) Desenvolvimento de sistema Cromofluorogênico Qualitativo (P/A) de avaliação de microcistina visando o suporte as ações de vigilância a qualidade de águas (MICROCIST), Sérgio Túlio Alves Cassini, Universidade Federal do Espírito Santo.
- 15) Tratamento de águas com excesso de ânions fluoreto e nitrato utilizando HDLs, argilas e zeólitas como adsorventes, Sibebe Berenice Castellã Pergher, Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
- 16) Análise do Serviço Integrado de Saneamento Rural – SISAR, da Companhia de Água e Esgoto do Ceará, em sua dimensão político-institucional, Sonaly Cristina Rezende Borges de Lima, Universidade Federal de Minas Gerais.
- 17) Tratamento simplificado de águas superficiais com alta turbidez para abastecimento de pequenas comunidades localizadas em Várzeas, Válter Lúcio de Pádua, Universidade Federal de Minas Gerais.



Programa de Pesquisa em Saúde e Saneamento

Secretaria Executiva

Ruy Gomide Barreira – Diretor do Densp/Funasa/MS

Patrícia Valéria Vaz Areal – Coordenadora Geral da CGCOT/Densp/Funasa/MS

Filomena Kotaka – Coordenadora da Codet/CGCOT/Densp/Funasa

Rosa Maria Vahia Terzella – Codet/CGCOT/Densp/Funasa/MS

Alexandra Lima da Costa – Coats/CGCOT/Densp/Funasa/MS

Ana Lúcia Magalhães Mariani – Codet/CGCOT/Densp/Funasa/MS

Maria das Graças Dias – Codet/CGCOT/Densp/Funasa/MS

Selma Irene Antonio – Codet/CGCOT/Densp/Funasa/MS

Consultores *ad hoc*

Sérgio Rolim Mendonça – Universidade Federal da Paraíba – UFPB

Silvano Silvério – Ministério do Meio Ambiente – MMA

Silvia Cláudia S. Povilnelli – USP/São Carlos

Ubirajara Matos – Universidade Estadual do Rio de Janeiro – UERJ

Colaboradores

Aldo Pacheco Ferreira – Fundação Oswaldo Cruz – Fiocruz/MS

Álvaro Bittencourt Henrique Silva – Defensoria Pública/Governo Federal

Ana Maria Nogueira – Financiadora de Estudos e Projetos – Finep/MCT

Andréa Gonçalves Fujichima – Ministério da Saúde/Decit

Angélica Rogério de Miranda Pontes – Ministério da Saúde/Decit

Anna Virgínia Muniz Machado – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES

Antônio da Costa Miranda – Associação dos Serviços Municipais de Saneamento – Assemae

Alexandre Araújo Godeiro Carlos – Ministério das Cidades

Aurélio Pessoa Picanço – Universidade Federal de Tocantins – UFTO

Carlos Florêncio Corvalan – Organização Pan-Americana da Saúde – OPAS

Cícero Onofre de Andrade Neto – Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN

Clóvis do Nascimento Filho – Associação dos Serviços Municipais de Saneamento -Assemae

Cristiana Maria Toscano – Ministério da Saúde/Decit
Cristina Célia Silveira Brandão – Universidade de Brasília – UnB
Daniela Buosi – Ministério da Saúde/Decit
Elizabeth Pinto Guedes – Financiadora de Estudos e Projetos – Finep/MCT
Everaldo Resende Silva – Secretaria de Saúde – DF
Francisco de Assis Quintieri – Suest-RJ/Funasa/MS
Iván Estribí Fonseca – Organização Pan-Americana da Saúde – OPAS
Jacira Azevedo Câncio – Organização Pan-Americana da Saúde – OPAS
Jazielli de Carvalho Sá – Associação dos Serviços Municipais de Saneamento – Assemae
José Raimundo Machado – Diretor do Densp/Funasa/MS
Kátia Regina Ern – Diretora do Densp/Funasa/MS
Luiz Roberto Santos Moraes – Universidade Federal da Bahia – UFBA
Maria Lúcia Prest Martelli – Codet/CGCOT/Densp/Funasa
Mara Lúcia Carneiro Oliveira – Organização Pan-Americana da Saúde – OPAS
Marcelo Libânio Coutinho – Suest-MG/Funasa/MS
Marco Antônio de Souza – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES
Miguel Mansur Aisse – Universidade Federal do Paraná – UFPR
Norma Lúcia de Carvalho – Ministério das Cidades
Ana Paula Neiva – Ministério das Cidades
Odir Clécio da Cruz Roque – Fundação Oswaldo Cruz – Fiocruz/MS
Paula Dias Bevilacqua – Universidade Federal de Viçosa – UFV
Paulo Sérgio Scalize – Universidade Federal de Goiás – UFGO
Regina Célia Borges de Lucena – Ministério da Saúde/Decit
Robert Schiaveto de Souza – Universidade Federal do Mato Grosso Sul – UFMS
Rosane Radunz Coimbra – Associação dos Serviços Municipais de Saneamento – Assemae
Rainier Pedraça Azevedo – Suest-AM/Funasa/MS
Ruy Gomide Barreira – Diretor do Densp/Funasa/MS
Sadi Coutinho Filho – Diretor do Densp/Funasa/MS
Sérgio Antônio Gonçalves – Associação dos Serviços Municipais de Saneamento – Assemae
Simone Cynamon Cohen – Fundação Oswaldo Cruz – Fiocruz/MS
Teófilo Carlos Nascimento Monteiro – Fundação Oswaldo Cruz – Fiocruz/MS
Vanessa Guimarães Machado – Ministério da Saúde/Decit
Vilma Ramos Feitosa – Secretaria de Saúde – DF

Supervisores

Álvaro Bittencourt Henrique Silva – Densp/Funasa/MS

Danyelle Grecco Bauer – Suest/Funasa/BA

Dirceu Roberto Paes – Suest/funasa/SP

Erivaldo Mesquita de Oliveira – Suest/Funasa/RN

Helio Sanfelice – Suest/Funasa/PR

Mário Mutsuo Onuki – Suest/Funasa/PB

Elaboração

Filomena Kotaka – Coordenadora – Codet/CGCOT/Densp/Funasa/MS

Alexandra Lima da Costa – Coats/CGCOT/Densp/Funasa/MS

Rosa Maria Vahia Terzella – Codet/CGCOT/Densp/Funasa/MS

Selma Irene Antonio – Codet/CGCOT/Densp/Funasa/MS

Autores

André Luis Calado de Araújo – coordenador

Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte – UFRN

Bernardo Arantes Teixeira – coordenador

Professor da Universidade Federal de São Carlos – UFSCar

José Tavares de Sousa – coordenador

Professor da Universidade Estadual da Paraíba – UEPB

Luiz Roberto Santos Moraes – coordenador

Professor da Universidade Federal da Bahia – UFBA

Pablo Heleno Sezerino e Dirceu Scaratti – coordenadores

Professores da Universidade do Oeste de Santa Catarina – Unoesc

Peter Batista Cheung – coordenador

Professor da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC



Missão

Promover a saúde pública e a inclusão social por meio de ações de saneamento e saúde ambiental.

Visão de Futuro

Até 2030, a Funasa, integrante do SUS, será uma instituição de referência nacional e internacional nas ações de saneamento e saúde ambiental, contribuindo com as metas de universalização de saneamento no Brasil.

Valores

Ética; Equidade; Transparência; Eficiência, Eficácia e Efetividade; Valorização dos servidores; Compromisso socioambiental.



Fundação
Nacional
de Saúde



MINISTÉRIO DA
SAÚDE



ISBN: 978-85-7346-053-7



9 788573 460537