

2020

Saneamento ambiental: educação, gestão, eficiência e sustentabilidade

Universidade Estadual do Norte do Paraná

MAIA, Jorge Sobral da Silva et al. (org.). Saneamento ambiental: educação, gestão, eficiência e sustentabilidade. Cornélio Procópio: Editora UENP, 2020. v. 2.

<https://repositorio.uenp.edu.br/handle/123456789/939>

Baixado de Repositório Institucional UENP

SANEAMENTO AMBIENTAL

educação, gestão,
eficiência e sustentabilidade

Volume 2

ORGANIZADORES:

Jorge Sobral da Silva Maia
Mateus Luiz Biancon
Cibele Bender Raio
Nilson César Bertóli

SANEAMENTO AMBIENTAL

educação, gestão,
eficiência e sustentabilidade

Volume 2

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE DO PARANÁ

ADMINISTRAÇÃO CENTRAL

Me. Fátima Aparecida da Cruz Padoan – Reitora

Dr. Fabiano Gonçalves Costa – Vice-Reitor

Dra. Vanderléia da Silva Oliveira – Pró-Reitora de Pesquisa e

Pós-Graduação

Dr. Thiago Alves Valente – Diretor Editora UENP

CONSELHO EDITORIAL

Conselho Pleno UENP

Dr. Ilton Garcia da Costa

Dr. Luiz Fabiano Zanatta

Dr. Marcio Luiz Carreri

Dra. Marilúcia dos Santos Domingos Striquer

Dra. Teresinha Esteves da Silveira Reis

Comissão Científico-Editorial

Me. Fátima Aparecida da Cruz Padoan (UENP)

Dr. Fabiano Gonçalves Costa (UENP)

Dr. Alexandre Oliveira Fernandes da Silva (UENP)

Dra. Flávia Wegrzyn Magrinelli Martinez (UENP)

Dr. Anderson Garcia (UNIFIO)

Dr. Artur Berbel Lirio Rondina (UNIFIO)

Dr. Lucas Ribeiro Jarduli (UNIFIO)

Dr. Luciano de Moraes (Sanepar)

Me. Marcus Venicio Cavassin (Sanepar)

EQUIPE EDITORIAL

Copidesque, revisão e normatização do Texto

Equipe Executiva Editora UENP

Dra. Annecy Tojeiro Giordani

Dra. Diná Tereza de Brito

Me. Priscila Aparecida Borges Ferreira Pires

Dra. Raquel Gamero

Projeto Gráfico, Diagramação e Capa

Gustavo Nunes e Nicole de Abreu | Tikinet

Sandra Kato | Tikinet

SANEAMENTO AMBIENTAL

educação, gestão,
eficiência e sustentabilidade

Volume 2

ORGANIZADORES:

Jorge Sobral da Silva Maia

Mateus Luiz Biancon

Cibele Bender Raio

Nilson César Bertóli

Ficha catalográfica elaborada por Juliana Jacob de Andrade.
Bibliotecária da Universidade Estadual do Norte do Paraná – UENP
Campus Cornélio Procópio – PR.

S223s Saneamento ambiental: educação, gestão. eficiência e sustentabilidade.
Volume 2 /Organizadores: Jorge Sobral da Silva Maia; Mateus Luiz
Biancon; Cibele Bender Raio; Nilson César Bertóli. - Cornélio Procópio:
Editora UENP, 2020.

E-book disponível em: <https://uenp.edu.br/editora>
288 f. il. color.
ISBN: 978-65-87941-12-7

1. Saneamento ambiental. I. Título II. Jorge Sobral da Silva
Maia

CDD 628

Prefácio

O estabelecimento de uma parceria entre a Universidade Estadual do Norte do Paraná (UENP) e a Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar), constituiu-se num instrumento singular para indução e fomento do conhecimento na área de Saneamento Ambiental. A Especialização em Saneamento Ambiental, ofertada por meio da colaboração entre Universidade e Empresa, proporcionou a produção e reprodução do saber, com valor agregado pela expertise dos docentes da Universidade, somada ao conhecimento empírico dos pós-graduandos, funcionários da Sanepar. Todo esse arcabouço constituiu caminho exitoso e ensajou, além do aprimoramento da qualificação do corpo técnico da Companhia, a elaboração desta obra coletiva que temos em mãos.

Fruto das pesquisas mais destacáveis realizadas por estudantes da Pós-Graduação em Saneamento Ambiental, este livro corporativo, lançado pela UENP e pela Sanepar, é um importante meio para divulgação do conhecimento produzido durante o curso, o que permite transcender o seu recorte temporal, possibilitando a outros interlocutores privilegiados a possibilidade de reflexão e informação sobre os temas discutidos com legitimidade e propriedade nesta obra. Assim, esta produção materializa as contribuições da Especialização para a sociedade, pois demonstra a travessia possibilitada pelo conhecimento científico que, nesta instância do saber, busca interpretar, elucidar e trabalhar problemáticas contemporâneas, oferecendo respostas que impactam diretamente a vida das pessoas.

Contingente essencial para superação de tempos conturbados, de contextos sociais e sanitários extremamente adversos para a região na qual está inserida, a UENP tem cumprido com êxito seu papel articulador pelo desenvolvimento do Paraná, fato que podemos exemplificar por essa parceria com a Sanepar - que gerou conhecimento e aprimoramento da qualificação profissional - bem como pelo protagonismo na educação superior no Norte Pioneiro do Estado, onde tem favorecido a implementação

de condições para transformação humana, por meio do ensino superior público e gratuito. Símbolo da luta pelo conhecimento e pela igualdade de direitos, a UENP é uma Instituição regida por princípios intimamente voltados à valorização do indivíduo, comprometida com a ética, com a democracia e inclusão, com a qualidade e excelência dos serviços prestados.

Este livro nasce no ano em que a UENP completa 15 anos de história. Momento em que a Universidade Pública demonstra ainda mais sua importância e seu valor por meio da produção do conhecimento científico e de suas ações de extensão, em meio a uma pandemia em que o equilíbrio vacila e a realidade nos atordoa.

Cabe-me destacar, nestas linhas finais, que um trabalho como este – oferta de uma pós-graduação e a consequente publicação de um livro – é resultado da colaboração de muitas pessoas, sem as quais não seria possível ser realizado. Desta forma, cumprimento a todos que tiveram seus trabalhos publicados nesta obra. Parablenzo os pós-graduandos, pelo compromisso e comprometimento com a pesquisa, que agora se torna um registro oficial e público, fonte que deverá contribuir para reflexões e avanço de estudos sobre o tema. Agradeço ainda aos professores do curso pela dedicação, que construiu todo o êxito deste projeto. Agradeço também à Sanepar, pela parceria que possibilitou esta importante realização, que evidencia a visão da Empresa como a busca pela excelência na prestação do serviço que realiza.

Expresso aqui meu agradecimento pelo privilégio de poder prefaciar esta obra, que se enche também de um valor comemorativo. Importante meio de contribuição científica, este livro é resultado também da credibilidade das Instituições que o publicam e da reciprocidade de anseios que as uniu para realização de um bem comum. Desejo uma agradável leitura a todos!

Fátima Aparecida da Cruz Padoan

Reitora da UENP

APRESENTAÇÃO

Introdução

A PÓS-GRADUAÇÃO EM SANEAMENTO AMBIENTAL

Atualmente, no Brasil, acentuou-se o debate sobre o acesso ao saneamento, uma vez que mais de trinta milhões de pessoas não têm água tratada e perto de cem milhões simplesmente não possuem coleta de esgoto. Tais fatos evidenciam a importância de estratégias que permitam buscar soluções para esse quadro desolador no país. É nesse contexto que se insere o curso de pós-graduação *lato sensu* “Saneamento Ambiental”, fruto da parceria entre a Universidade Estadual do Norte do Paraná (UENP) e a Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar), aprovada pela Deliberação nº 001/2018 do Conselho Administrativo da UENP (CAD/UENP).

Essa pós-graduação surgiu do interesse em promover a qualificação de profissionais, visando à ampliação de seu potencial intelectual e criativo no enfrentamento de situações referentes ao desenvolvimento do saneamento no estado do Paraná, beneficiando, assim, sua população.

A estruturação do curso foi possível graças ao trabalho coletivo que integrou a Sanepar, a Secretaria de Ciência, Tecnologia e Ensino Superior do Paraná (Seti – atualmente, Superintendência), a Universidade Virtual do Paraná (UVPR) e a Universidade Estadual do Norte do Paraná (UENP). Tal união de interesses permitiu organizar a logística para o desenvolvimento do curso, visto que as atividades presenciais ocorreram nos Polos da UVPR, que reúnem os centros de Educação a Distância das instituições estaduais de ensino superior para o desenvolvimento de projetos e cursos, com o pensamento focado na educação transformadora.

O projeto do curso e a organização dos componentes curriculares foram integralmente elaborados pelos coordenadores do Curso em Saneamento Ambiental, na UENP, bem como a formação da equipe de professores e tutores. Contribuiu nesse processo a Coordenadoria de Educação a Distância da Universidade. Após essa etapa, o projeto foi submetido à avaliação da Sanepar e aprovado sem ressalvas. Logo em seguida, deu-se o processo de seleção dos pós-graduandos e o curso foi iniciado com quinhentos e três estudantes.

É relevante considerar que a parceria estabelecida trouxe avanços nas relações institucionais que favoreceram, além do excelente processo formativo dos profissionais da Sanepar, a qualificação para atuação com qualidade dos professores, tutores e gestores da UENP. Ainda possibilitou problematizar e propor caminhos para os diversos problemas de ordem socioambiental, tanto do estado do Paraná, quanto do Brasil e do mundo, construindo uma visão aprofundada da realidade sob a égide de uma produção científica qualificada do ponto de vista do saneamento ambiental no país.

O processo formativo realizado permitiu mostrar a relevância do saneamento ambiental em diversos aspectos em um cenário de muitas crises e dificuldades pelo qual passa a humanidade, uma vez que em vários países os problemas financeiros, sociais, políticos, migratórios somam-se aos problemas de saúde, agravados no momento pela pandemia relacionada à COVID-19 e aos problemas de ordem ecológica. Este quadro gera enorme preocupação com o ambiente, em geral, e com a qualidade da água, em particular.

No Brasil e alhures, os debates sobre essas questões se ampliam e a preocupação vai da destruição da biodiversidade, passando pela poluição dos corpos d'água, a redução da cobertura vegetal, as queimadas associadas à redução das ações preventivas para estes danos socioambientais e, também, pela expansão do modelo vigente de exploração da natureza do atual modo de se produzir a vida em sociedade, o que abala cabalmente o equilíbrio e a estabilidade dos processos biológicos de sustentação da biodiversidade, incluídos os grupos humanos.

Apesar dos inúmeros alertas e advertências da comunidade científica, parece que estamos longe de atingir o consenso da gravíssima condição de nossa civilização e, ao que parece, o mirífico conjunto de proposições da economia verde, do desenvolvimento sustentável e das diversas estratégias colocadas no debate não se mostraram eficientes para a superação necessária destes elementos de degradação do ambiente e da qualidade de vida das populações humanas.

Parece, portanto, necessário que estratégias sejam propostas para que consigamos dar respostas satisfatórias para a problemática civilizacional contemporânea, as quais considerem as múltiplas determinações que compõem os fenômenos, sejam eles ambientais, sociais, econômicos, sejam políticos, uma vez que estão intrinsecamente associados. Essas estratégias necessitam considerar fatores da organização societária como a saúde pública, a infraestrutura nacional, a questão da redução da desigualdade material entre as classes sociais, o fomento à economia como foco na redução dessa desigualdade.

Entendemos que, para alcançar estes objetivos, são absolutamente necessárias ações, tais como a ampliação do processo formativo das populações para que reconheçam e compreendam a importância da questão ambiental na atualidade, já que estamos mesmo no limiar quase irreversível desta problemática, bem como a ampliação do quadro formativo de profissionais que atuam nas várias instâncias, sejam elas governamentais, privadas, sejam do terceiro setor, para que, além de desempenharem seu papel social, possam disseminar o conhecimento que contribui para com o debate crítico e transformador dessa realidade insustentável. É nesse escopo que se insere esta produção.

O livro está dividido em quatro partes. Na primeira, denominada “A Sanepar e o Ambiente”, são discutidos aspectos como as questões climáticas, a educação ambiental, a saúde pública em associação à infraestrutura sanitária, a sustentabilidade e a universalização dos serviços de saneamento, além de avaliação e qualidade desses serviços.

Na segunda parte, intitulada “A Sanepar e suas ferramentas”, encontramos abordagens referentes à gestão de tempo, demanda de abastecimento de água, saneamento no Paraná, hidrelétricas, avaliação de impactos, viabilidade técnica e econômica no abastecimento, gestão de resíduos e gestão do lodo.

Na parte três, cujo título é “A Sanepar e suas alternativas”, o leitor e a leitora encontram um debate esclarecedor sobre análises de impacto ambiental e econômico, aproveitamento da água da chuva em residência, esgotamento sanitário, agregado miúdo na produção de pavers e potencial agrônômico do lodo de esgoto.

Denominada “A Sanepar e suas operações”, na quarta parte destacamos discussões em casos específicos sobre as fontes poluidoras e as relações como parâmetros químicos e microbiológicos, o consumo e o abastecimento de água, a avaliação de custos de disposição final de lodo de esgoto na agricultura, o monitoramento analítico da estação de tratamento de esgoto, os serviços socioambientais em obras de esgotamento sanitário e o saneamento rural.

É possível notar, cara leitora e caro leitor, que o conhecimento presente neste livro evidencia elevada contribuição teórica e prática ao campo dos saberes referentes ao saneamento ambiental, o que faz desta obra uma leitura relevante não somente para os profissionais do saneamento em suas diversas expressões, mas também a pesquisadores, técnicos, tecnólogos, gestores de instituições públicas e privadas, estudantes de graduação e pós-graduação e, ainda, à população em geral, pessoas interessadas em adquirir informações de qualidade sobre o saneamento ambiental no estado do Paraná e no Brasil.

Prof. Dr. Jorge Sobral da Silva Maia

Professor Associado da UENP/CJ

Professor e Coordenador da

Pós-Graduação em Saneamento Ambiental

GRADUATION IN ENVIRONMENTAL SANITATION

Nowadays, in Brazil, the debate about the access to basic sanitation service has been intensified since more than thirty million people do not have treated water and nearly one hundred million people do not have sewage collection. These facts evidence the importance of strategies that allow the search for solutions to this devastating scenario in the country. It is in this context that the postgraduate course in Environmental Sanitation is placed, as a result of the partnership between the State University of Northern Paraná - UENP and the Sanitation Company of Paraná - Sanepar approved by Deliberation No. 001/2018 by the UENP Administrative Council (CAD / UENP).

This postgraduate course arose from the interest in promoting the qualification of professionals for the purpose of expanding their intellectual and creative potential when facing the situations that arise in the development of sanitation in the state of Paraná, therefore, benefiting its population.

The course design was made possible by a collective work that integrated Sanepar, the Secretariat of Science, Technology and Higher Education of Paraná (Seti - currently, Superintendence), the Virtual University of Paraná - UVPR and the State University of Northern Paraná - UENP. Such community of interests enabled to organize the logistics for the development of the course, due to the face-to-face activities took place at the UVPR centers that assemble distance education centers from state higher education institutions to develop projects and courses with a focus on transformative education.

The course design, the organization of the curricular components, the professor and tutor's formation were fully organized by

the coordination of the course at UENP. The Distance Education Coordination of the University also contributed to this process. After this stage, the project was submitted to the evaluation of Sanepar and approved without reservations. Subsequently, the selection process of graduate students took place and the course started with five hundred and three students.

It is relevant to consider that the established partnership brought progress to institutional relations that increased not only the excellent training process of Sanepar professionals, but also the qualification of teachers, tutors and managers at UENP. Besides that, it also permitted to problematize and to propose ways for the various socio-environmental problems of the state of Paraná, as well as Brazil and the world, building an in-depth view of reality under the aegis of a qualified scientific production from the point of view of environmental sanitation in the country.

The training process carried out allowed to show the relevance of environmental sanitation in several aspects in a scenario of many crisis and difficulties that humanity is enduring. Considering that the financial, social, political and migratory problems are added to the health problems in several countries. At the moment, it was also aggravated by the pandemic related to COVID-19 and ecological problems. This situation generates enormous concern for the environment, in general, and for water quality, in particular.

In Brazil and elsewhere, the debates on these issues are broadened and the concern goes to the destruction of biodiversity, including the pollution of water bodies, the reduction of vegetation cover, the burning associated with the reduction of preventive actions for these socio-environmental damages and, also, due to the expansion of the present model for exploring nature in the current way of producing life in society, which completely disturbs the balance and stability of biological processes that support biodiversity, including human groups.

Despite the numerous alerts and warnings from the scientific community, it seems that we are far from reaching a consensus on the profoundly serious condition of our civilization and, it resembles, the wonderful set of propositions of the green economy, sustainable development and the various strategies put into the debate have not been proved to be efficient for the necessary overcoming of these elements of degradation of the environment and the quality of human population life.

Therefore, it seems necessary that strategies are proposed so that we can give satisfactory answers to the contemporary civilizational problem, which consider the multiple determinations that make up the phenomena, which can be environmental, social, economic, or political ones, since they are intrinsically associated. These strategies need to consider corporate organization factors such as public health, national infrastructure, the reducing of material differences between social classes, promoting the economy as a focus on reducing this inequality.

We understand that, in order to achieve these objectives, actions are absolutely necessary, such as expanding the training process of the populations in order that they recognize and understand the importance of the environmental issue today, once, we are at the almost irreversible threshold of this problem, as well as the expansion of the training framework of professionals working in the various instances, the governmental, the private, or from the third sector, so that, in addition to playing their social role, they can disseminate the knowledge that contributes to the critical and transforming debate of this unsustainable reality. It is within this scope that this book is included.

The book is divided into four parts. In the first one, called “Sanepar and the Environment”, aspects such as climate issues, environmental education, public health in association with health infrastructure, sustainability and universal sanitation services are discussed, as well as the evaluation and quality of these services.

In the second part, entitled “Sanepar and its tools”, we find approaches related to time management, demand for water supply, sanitation in Paraná, hydroelectric plants, impact assessment, technical and economic feasibility in supply, waste management and sludge management.

In part three, whose title is “Sanepar and its alternatives”, the reader finds an enlightening debate on analyzes of environmental and economic impact, use of rainwater at home, sanitary sewage, fine aggregate in the production of pavers and agronomic potential of sewage sludge.

The fourth part named “Sanepar and its operations”, we highlight discussions in specific cases about polluting sources and relationships such as chemical and microbiological parameters, water consumption and supply, cost assessment of final disposal of sewage sludge in agriculture, analytical monitoring of the sewage treatment plant, socio-environmental services in sewage works and rural sanitation.

It is possible to note, dear reader, that the knowledge present in this book shows a high theoretical and practical contribution to the field of knowledge related to environmental sanitation, which makes this work a relevant reading not only for sanitation professionals in its various expressions, but also to researchers, technicians, technologists, managers of public and private institutions, undergraduate and graduate students, and also to the population in general, people interested in acquiring quality information about environmental sanitation in the state of Paraná and in Brazil.

Professor Dr. Jorge Sobral da Silva Maia

Associate Professor at UENP

Professor and Coordinator of

Post-Graduation in Environmental Sanitation

SUMÁRIO

PARTE III

A SANEPAR E AS SUAS ALTERNATIVAS

18. Instalação de painéis fotovoltaicos em edificação administrativa.....	19
19. Aproveitamento da água da chuva em residência	35
20. Nitrato de cálcio na mitigação de odores	57
21. Lodo tratado de esgoto como agregado miúdo na produção de pavers	73
22. Potencial agrônômico do lodo de esgoto em Pato Branco – PR	95

PARTE IV

A SANEPAR E SUAS OPERAÇÕES

23. Fontes poluidoras da bacia do rio Pirapó: parâmetros químicos e microbiológicos.....	115
24. Curva de consumo: SAA de água de Ponta Grossa – PR.....	137
25. Avaliação de custos: lodo de esgoto na agricultura (Curitiba e Região Metropolitana)	157
26. Reator em Batelada Sequencial (RBS): monitoramento analítico da ETE de Santa Helena-PR.....	173
27. Serviços socioambientais: obras de esgotamento sanitário em Terra Roxa-PR.....	191
28. Ligações irregulares de esgoto em Cascavel-PR.....	213
29. Cenário do saneamento rural em Irati-PR	231
30. Utilização de BFT no sistema de esgotamento sanitário no município de Londrina-PR	249

PARTE III

A SANEPAR E AS SUAS ALTERNATIVAS

Capítulo 18

INSTALAÇÃO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS EM EDIFICAÇÃO ADMINISTRATIVA

Rosane Terezinha Chiarello
Marlene Alves de Campos Sachet

Introdução

No contexto da história mais recente da humanidade, a revolução industrial foi um grande marco que ditou o ritmo do consumo energético para o desenvolvimento econômico e aplicabilidade de novas tecnologias.

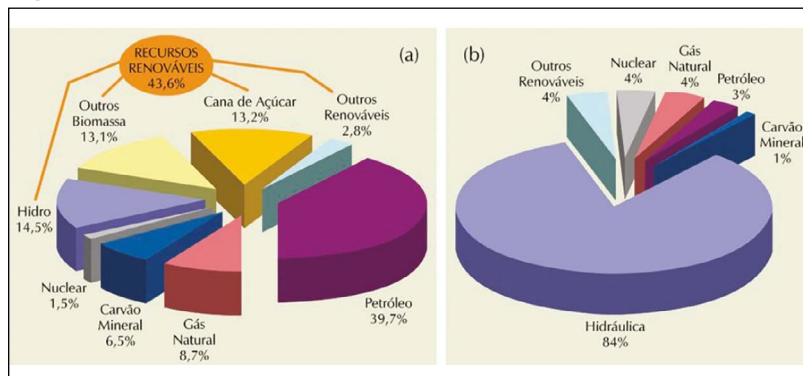
Observou-se, então, a substituição da matriz energética rudimentar das sociedades primitivas em favor do uso de fontes alternativas de maior desempenho, como o carvão, o petróleo e o gás natural, sendo que a busca desenfreada pelo desenvolvimento econômico impulsionou a demanda por energia, culminando num crescente aumento de seu uso.

A matriz energética, ainda baseada no consumo de fontes não-renováveis, foi novamente colocada em questão, tendo o fator ambiental ganhado notória importância nas últimas décadas, dado o cenário de mudanças climáticas e a necessidade do desenvolvimento sustentável, dando início à procura por fontes energéticas alternativas, limpas e renováveis.

A principal matriz energética no Brasil e no mundo é, como ilustrado na Figura 01 (a), o petróleo. Quanto à

energia elétrica, foco deste capítulo, sua produção, conforme a Figura 01 (b), tem como fonte principal as usinas hidrelétricas. Assim, embora os recursos não renováveis correspondam por mais da metade da matriz energética brasileira, percebe-se um relevante aumento do uso de energias renováveis nas últimas décadas.

Figura 01: Matriz energética brasileira.



Fonte: Tiba (2019)

Segundo Scherer et al. (2015), a energia solar foi descoberta ao acaso e os primeiros efeitos fotovoltaicos foram analisados através de experimentações. Uma delas foi no ano de 1839, em que o físico francês Alexandre Edmond Becquerel, usando uma bateria eletrolítica e eletrodos de platina expostos ao sol, notou que o aquecimento aumentava a corrente elétrica em consequência do aquecimento solar. Em seguida, em 1873, o engenheiro eletricitista Willoughby Smith, também acidentalmente, descobriu o efeito fotovoltaico no selênio, um metal conhecido por sua alta resistência, semicondutividade e abundância na crosta terrestre, que se alterava materialmente com a intensidade da luz (REIS, 2015). Posteriormente, a primeira célula fotovoltaica de selênio exposta à luz que gerava eletricidade foi descoberta no ano de 1877, pelo inglês William Grylls Adams e seu aluno Richard Day Evans (PLANAS, 2015).

A importância dessas descobertas ganha destaque quando observamos que o maior desafio mundial é a busca de fontes de energia sustentável. Nesse sentido, a construção de grandes usinas hidrelétricas traz mais conforto à sociedade, porém causa sérios impactos ambientais, alguns irreversíveis. Além do consumo insustentável, o desenvolvimento econômico desenfreado traz a poluição de rios e mananciais, resultando, gradativamente, na indisponibilidade de recursos hídricos.

Para Detoni e Dondoni (2008), o desperdício da água potável comprometerá o abastecimento de metade da população mundial até 2025. Diante dessas adversidades, é de suma importância a conscientização e desenvolvimento de ações que promovam a conservação, proteção, gestão e o uso eficiente da água de forma sustentável, em especial a busca de fontes de energias sustentáveis (LEITÃO, 2018).

A energia elétrica, portanto, é um grande desafio para as empresas de saneamento, pois é considerada um dos maiores consumos e custos operacionais. Em 2018, no Paraná, em decorrência da bandeira tarifária do setor elétrico e do reajuste de 15,99 %, foi registrado um acréscimo de 13,6 %, elevando os custos administrativos e comerciais da empresa com a energia elétrica acumulados até outubro de 2019, os quais foram de R\$ 3.624.731,59 e R\$ 917.662,35, respectivamente. No condomínio da sede da companhia, esses custos foram de R\$ 943.725,92, correspondendo a 20,78 %.

Diante do exposto, a presente pesquisa visa realizar a análise ambiental, por meio da avaliação da redução da emissão de CO₂, verificando os impactos positivos ao meio ambiente e aos custos de investimento do setor elétrico, buscando aferir o tempo para retorno financeiro, com a implementação do Sistema Fotovoltaico (SF) do tipo isolado, em Novo Edifício Administrativo (NEA). Como o sistema fotovoltaico apresenta um alto investimento para o empreendimento, faz-se necessária a verificação de seu retorno financeiro, compatibilizando-o aos benefícios ambientais e verificando a minimização da emissão do carbono

na atmosfera, sendo o CO₂ o principal gás do GEE. Conforme Braga (2008), a vida útil dos módulos é superior a 25 anos, pois seus componentes são resistentes às intempéries (vento, chuva, granizo, temperaturas) e de fácil instalação.

Os painéis foram instalados no novo edifício da sede administrativa da Sanepar, em Curitiba (PR). A companhia é responsável pelo tratamento e distribuição de água no Estado do Paraná.

Estrategicamente, a companhia tem como propósito a saúde e sustentabilidade para a sociedade e a missão de assegurar serviços de saneamento ambiental de forma sustentável e inovadora, contribuindo para o desenvolvimento econômico social e, como política, buscar a sustentabilidade ambiental, social e econômica em suas atividades, através dos seguintes objetivos (SANEPAR, 2020): assegurar o equilíbrio econômico-financeiro dos negócios; conservar o meio ambiente; e promover a responsabilidade social.

Cabe salientar, também, que a companhia é signatária do Pacto Global, que trata de um plano de ação através da Agenda 2030, buscando, na condução das atividades cotidianas, atender aos 17 ODS, contribuindo para o alcance da agenda global de sustentabilidade (ONU, 2015).

O presente estudo enfatiza o engajamento da empresa no atendimento específico ao objetivo número 7¹, subitem 7.2: “até 2030, aumentar substancialmente a participação de energias renováveis na matriz energética global.”

Impacto ambiental e instalação de painéis fotovoltaicos

Em estudo sobre o tema, Oliveira et al. (2008) realizaram um trabalho sobre o impacto ambiental da matriz energética empregada para alimentação de moto bombas usadas para irrigação na cidade de Dona Euzébia (MG). O estudo avaliou a emissão de dióxido de carbono por duas diferentes matrizes: hidrelétrica e fotovoltaica. Para a quantificação da energia elétrica utilizada, foi analisada a quantidade de energia registrada pelo Código da Unidade Consumidora (CDC) fornecido pelos produtores.

1 Disponível em <https://www.pactoglobal.org.br/ods>

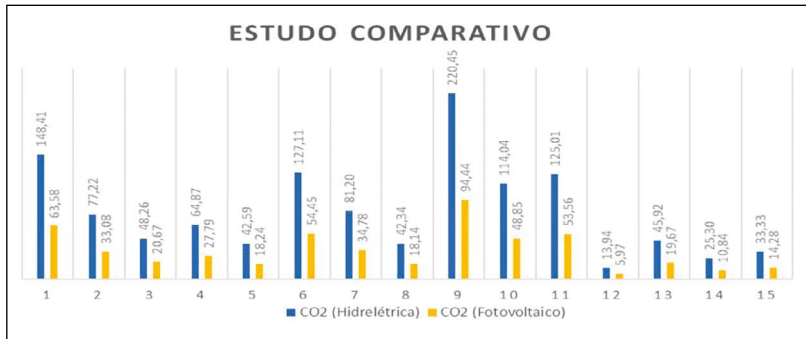
Para o cálculo do consumo de dióxido de carbono, os autores utilizaram o fator de emissão de CO_2 , que é disponibilizado anualmente pelo Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT). Esse fator relaciona a produção de dióxido de carbono à matriz energética utilizada conforme a equação 1.

$$E_p f_{\text{CO}_2} = P_{\text{CO}_2}, \quad (1)$$

em que E_p é a energia elétrica produzida em kWh, f_{CO_2} é o fator de emissão de CO_2 em kg/kWh e P_{CO_2} é a quantidade de CO_2 produzida em kg.

Os autores sintetizam os resultados obtidos na Figura 02.

Figura 02: Comparação do CO_2 produzido por matriz hidrelétrica e fotovoltaica.



Fonte: Oliveira et al. (2008)

Metodologia semelhante é aplicada nos trabalhos de Alvares Jr., Linké (2001), Lira et al. (2019) e Lira et al. (2019) avaliaram o impacto da utilização da energia fotovoltaica na emissão de CO_2 no estado do Ceará. Os autores recorreram ao fator de emissão de CO_2 , mencionado na equação 1, e os resultados são apresentados na Tabela 01.

Os autores concluem que a diminuição da emissão de CO_2 pelo uso da energia solar fotovoltaica atende aos objetivos de redução de emissão de gases do GEE propostos na Agenda 2030, contribuindo para a mitigação de mudanças climáticas.

Tabela 01: Emissões de dióxido de carbono evitadas no Ceará.

Ano	Fator de emissão (tCO ₂ /MWh)	Geração (MWh/ano)	Emissão (tCO ₂ /ano)
2013	0,513	45,575	23,38
2014	0,512	150,878	77,25
2015	0,482	1.338,56	645,18
2016	0,507	8.638,58	4.402,57
2017	0,442	8.851,64	3.912,42

Fonte: Lira et al. (2019)

Para a análise do tempo de retorno financeiro, Barros et al. (2012) destacam três principais metodologias aplicáveis: o *Payback* simples, o *Payback* descontado e a Taxa Interna de Retorno (TIR).

O *Payback* simples leva em conta apenas o valor nominal dos fluxos de caixa anuais, sem considerar taxas de juros de desconto. Sua avaliação é mais simples e direta do que os outros métodos. Para o cálculo do tempo de retorno financeiro baseado no *Payback* simples, utiliza-se a equação 2, conforme Barros et al. (2012).

$$PRS = \frac{CI}{DE}, \quad (2)$$

em que PRS é o período de retorno simples, CI são os custos do investimento inicial e DE é a demanda energética capitalizada.

Para Barros et al. (2012), o *Payback* descontado supre a deficiência do método de *Payback* simples, fornecendo uma taxa de juros para desconto de fluxos de caixa futuros. Esse desconto é usado para que se obtenha o Valor Presente Líquido (VPL) de cada fluxo de caixa futuro, isto é, o valor do dinheiro futuro no presente, dada a taxa de desconto. Sua implementação, no entanto, não é trivial como a do *Payback* simples.

Para que se encontre o Período de Retorno Descontado (PRD), deve-se trazer os fluxos de caixa futuros ao valor presente, utilizando uma taxa de desconto, adicionando-os ao valor

acumulado inicial, isto é, o custo do investimento, conforme a equação 3 (BARROS et al., 2012):

$$VPL = -CI + \sum_{t=1}^T \frac{FC_t}{(1+i)^t}, \quad (3)$$

em que VPL é o valor presente líquido, CI é o custo inicial dos investimentos, t é o período atual analisado, T é número de períodos avaliados, FC_t é o fluxo de caixa no período t e i é a taxa de desconto.

O período de retorno descontado é o período t, para qual o valor presente líquido é maior ou igual a zero. Por fim, a análise financeira pode ser conduzida à luz da taxa interna de retorno. Essa metodologia fixa o intervalo de tempo de análise para que se estime a taxa de desconto de modo a zerar o valor presente líquido, conforme a equação 4 (BARROS et al., 2012).

$$0 = -CI + \sum_{t=1}^T \frac{FC_t}{(1+TIR)^t}, \quad (4)$$

em que TIR é a taxa interna de retorno.

Em termos práticos, essa metodologia busca a taxa de desconto necessária para que, quando aplicada no intervalo de tempo pré-definido, se iguale ao valor do investimento inicial. O investimento, portanto, é considerado atrativo se a TIR for maior do que a taxa de juros de referência (BARROS et al., 2012).

Quantificação dos impactos ambiental e econômico

A metodologia aplicada foi a pesquisa quantitativa baseada em elementos amostrais, como a análise dos dados sobre a demanda energética do condomínio da sede administrativa, no período de janeiro a dezembro de 2019, e a estimativa do consumo de carbono.

Para que se avalie o impacto ambiental de cada matriz energética, a metodologia consolidada na literatura recorre ao fator de emissão de CO_2 para cada meio de produção de energia elétrica.

Deste modo, utiliza-se metodologia semelhante à aplicada no estudo de Oliveira et al. (2008) e Lira et al. (2019), adotando o fator de emissão de CO₂, descrito na equação 1, para a matriz hidrelétrica e fotovoltaica.

O fator de emissão de CO₂ é obtido através do relatório anual do MCT, que estima a quantidade de dióxido de carbono associada a cada meio empregado para a produção de energia.

A metodologia aplicada para a análise do impacto econômico, por sua vez, segue o modelo de PRD proposto em Gomes (2014). Para a aplicação proposta neste estudo, define-se o VPL dos fluxos de caixa futuros conforme a equação 5.

$$VPL = -CI + \sum_{i=1}^T \frac{GE_t - M_t + DE_t}{(1+i)^t}, \quad (5)$$

em que CI é o custo inicial dos investimentos, GE_t é a geração de energia capitalizada, DE_t é a demanda energética média capitalizada, M_t é o valor médio da manutenção, t é o período de análise, T é o número total de períodos analisados e i é a taxa de desconto.

Para a taxa de desconto, utiliza-se como valor de referência a meta da taxa Selic fornecida pelo Bacen (2020), que serve de base para aplicações financeiras de baixo risco. O valor do capital investido será obtido por meio de relatórios de medição da obra do empreendimento; o valor da manutenção é obtido através das ordens de serviço contratadas no período analisado; a demanda energética é encontrada pela medição de geração nos inversores de frequência e o número de períodos analisados é baseado no tempo de vida útil dos componentes.

O novo edifício administrativo da Sanepar conta com um espaço físico de aproximadamente 10.000 metros quadrados, quatro pavimentos, comportando a ocupação de 985 (novecentos e oitenta e cinco) funcionários, e apresenta fortes aspectos de sustentabilidade ambiental, pois foi projetado dentro dos padrões de certificação internacional para construções sustentáveis *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED), que analisa,

entre outros fatores, a eficiência no uso da água, energia, atmosfera, materiais e recursos. O sistema LEED classifica os empreendimentos em uma escala de até 110 pontos, em que a pontuação mínima para que se obtenha certificação é de 40 pontos (BARROS et al., 2012). O novo edifício atingiu um índice de 60-79 pontos, garantindo o nível de certificação LEED *Gold*. Além disso, possui também sistema de armazenamento e de utilização da água de chuva, sistema automatizado para iluminação e climatização, com piso e forro especiais, que garantem conforto acústico; vidros que filtram os raios solares para conforto térmico, visando melhores condições de trabalho, acarretando em benefícios tanto econômicos quanto ambientais e sociais e satisfazendo a qualidade e o conforto ambiental dos funcionários e da comunidade.

O sistema fotovoltaico do novo edifício administrativo da sede tem potencial de geração de 75 kW e os principais componentes estão listados na Tabela 02:

Tabela 02: Componentes do sistema fotovoltaico.

Quantidade	Descrição
236	Placas fotovoltaicas 315wp
03	Inversores de frequência, 25kW, 44,2A, 380/220V
06	String Box, ABB.

Fonte: Os autores (2020)

O sistema instalado é do tipo isolado *Off-grid*, isto é, não conectado à rede elétrica, servindo para alimentação de um sistema de ar-condicionado do novo edifício. A energia necessária para o funcionamento dos equipamentos advém de uma bateria, que é carregada pelos painéis fotovoltaicos.

Análise dos impactos ambiental e econômico

Para a análise do impacto ambiental, utiliza-se a equação 1. Para que se encontre a redução da emissão de CO₂, proporcionada pelo sistema instalado, dois parâmetros de entrada são necessários: a energia gerada, em MWh, e o fator de emissão de CO₂, em

tCO₂/MWh. Por se tratar de projeções, extrapolações baseadas em dados anteriores são necessárias.

Para a energia produzida, utiliza-se o cruzamento de dados entre a intensidade da radiação solar histórica e o potencial de geração elétrica do painel fotovoltaico. O fator de emissão de CO₂ varia anualmente, e, portanto, utiliza-se a média dos dados disponibilizados pelo MCT para projeção de valores futuros. A análise se encerra no tempo de vida útil médio dos componentes do sistema fotovoltaico.

Os resultados para a projeção de geração de energia, oriundos da média das observações históricas da incidência solar na região de Curitiba, encontram-se na Tabela 03.

Tabela 03: Expectativa de energia gerada com a incidência solar ao longo do ano no NEA.

Mês	Expectativa de geração de energia (kWh)
Janeiro	11.247
Fevereiro	10.909
Março	9.598
Abril	7.992
Maio	6.448
Junho	5.835
Julho	6.110
Agosto	8.161
Setembro	8.097
Outubro	9.218
Novembro	11.057
Dezembro	11.755
Total anual	106.427

Fonte: Sanepar (2020)

Para a projeção do fator de emissão de CO₂, utiliza-se o valor médio das medições disponíveis encontradas no site do MCT (2019), resultando num fator de 0,3997. Aplicando a equação 1, tem-se que

$$P_{CO_2} = 0,3997 \times 106.427 = 42,53 \text{ ton CO}_2,$$

isto é, encontra-se uma redução anual de 42,53 toneladas de CO₂ que, ao longo da vida útil do SF de 25 anos, conforme reportado por Braga (2008), se traduz em uma redução na emissão de 1.106,01 toneladas de CO₂.

A redução da emissão de dióxido de carbono, principal agente do aquecimento global, tem impacto ambiental positivo, pois, através da diminuição de emissão de gases do efeito estufa, contribui para a mitigação de mudanças climáticas, conforme as diretrizes de sustentabilidade nacionais e internacionais, como os ODS e certificação LEED.

Para a quantificação do tempo de retorno da instalação do SF, utiliza-se a equação 5. Os parâmetros de entrada são o valor inicial da instalação, da energia produzida, o custo de manutenção associada ao sistema e à economia relativa à demanda energética, bem como a taxa de desconto do sistema. A análise foi conduzida ao longo da vida útil esperada do sistema, de 25 anos, em que se busca encontrar o tempo estimado de retorno financeiro do investimento, bem como o saldo ao fim da vida útil dos componentes.

A projeção de energia produzida é novamente encontrada na Tabela 3 e seu valor é capitalizado utilizando-se o valor da última tarifa elétrica vigente da Concessionária de Energia Elétrica para o período fora de ponta² de R\$ 0,477873/kWh. O investimento inicial e os custos de mão-de-obra de manutenção são encontrados no contrato do projeto e cotação de preços, respectivamente. A demanda energética é encontrada dividindo-se a energia produzida pelo intervalo de tempo, considerando produção durante

2 Período compreendido entre 21:00 e 18:00 do dia seguinte.

6 horas por dia, e é capitalizada de acordo com a última tarifa vigente da Concessionária, de R\$ 21,207509/kW. Os valores dos parâmetros utilizados, bem como suas referências, são expostos na Tabela 04.

Tabela 04: Parâmetros de entrada para o cálculo do retorno financeiro.

Parâmetro	Valor	Referência
Geração de energia	106.427 kWh	Incidência solar média
Custo inicial	R\$ 545.000,00	Valor de contrato
Manutenção (mão de obra)	R\$ 5.400,00/ano	Cotação de preços
Demanda energética	21,29 kW	Média da potência produzida
Taxa de desconto	3,00% a.a.	Taxa Selic

Fonte: Os autores (2020)

O tempo de retorno financeiro é estimado em 10 anos e o capital acumulado projetado ao longo da vida útil do SF é de R\$ 522.921,41. Os resultados encontrados são sintetizados na Tabela 05.

Tabela 05: Capital acumulado ao longo da vida útil do Sistema Fotovoltaico (SF).

Ano	Retorno Financeiro (R\$ mil)	Ano	Retorno Financeiro (R\$ mil)
0	-487.002,23	13	129.801,41
1	-430.693,73	14	168.144,76
2	-376.025,27	15	205.371,32
3	-322.949,10	16	241.513,61
4	-271.418,83	17	276.603,21

(Tabela 05 – cont.)

(Tabela 05 – cont.)

Ano	Retorno Financeiro (R\$ mil)	Ano	Retorno Financeiro (R\$ mil)
5	-221.389,45	18	310.670,79
6	-172.817,24	19	343.746,10
7	-125.659,75	20	375.858,06
8	-79.875,78	21	407.034,71
9	-35.425,32	22	437.303,31
10	7.730,47	23	466.690,30
11	49.629,29	24	495.221,36
12	90.307,75	25	522.921,41

Fonte: Os autores (2020)

Diante dos resultados obtidos pelo estudo, observa-se grande impacto ambiental na redução da emissão do CO₂ e retorno financeiro adequado do investimento na instalação do SF. A redução de dióxido de carbono é da ordem de milhares de toneladas e, diante da crescente demanda energética e da necessidade da busca de fontes de energia menos poluentes, o sistema mostra-se eficiente na redução de emissão de gases do efeito estufa, contribuindo para a sustentabilidade ambiental, em sintonia com os resultados reportados por Oliveira et al. (2008) e Lira et al. (2019). Do ponto de vista do retorno do investimento, a instalação dos painéis fotovoltaicos para geração de energia é financeiramente viável e atrativa, tendo em vista que seu tempo de *Payback* é de aproximadamente dez anos, e sua vida útil é de aproximadamente vinte e cinco anos, com grande potencial de acumulação de capital ao longo de seu funcionamento. Enfatiza-se que os valores utilizados são baseados em médias e projeções, que podem flutuar no decorrer do tempo.

Considerações finais

O sistema fotovoltaico estudado apresenta impactos robustos positivos e eficiência, tanto em termos ambientais quanto econômicos. O levantamento dos resultados obtidos reafirma as expectativas do projeto do novo edifício administrativo (NEA), tendo tempo de retorno adequado, alto potencial de acúmulo de capital ao longo de sua vida útil, e redução expressiva da emissão de gases do efeito estufa, contribuindo para o desenvolvimento econômico sustentável e atendendo aos ODS – especificamente ao de número 7, subitem 7.2, que propõe o aumento substancial da participação de energias renováveis na matriz energética global. O estudo desenvolvido valida o retorno financeiro e o impacto ambiental positivo da instalação de painéis fotovoltaicos, podendo servir de base para estudos futuros semelhantes em outras edificações da Sanepar e demais empresas, dentro e fora do segmento, interessadas na implementação de alternativas energéticas sustentáveis.

A redução da emissão de dióxido de carbono contribui para a atenuação das mudanças climáticas oriundas do efeito estufa. Além disso, essa redução favorece a diminuição da poluição do ar nos centros urbanos, melhorando a qualidade de vida da população em geral.

Como sugestão para trabalhos futuros, recomenda-se o acompanhamento do sistema, utilizando dados de medição atualizados e recalibrando as projeções adotadas. Sugere-se, ainda, o estudo de viabilidade de instalação em outras edificações administrativas da companhia.

Referências

ALVARES JR., O. de M.; LINKE, R. R. A. **Metodologia simplificada de cálculo das emissões de gases do efeito estufa de frotas de veículos no Brasil**. São Paulo. CETESB, 2001.

BANCO CENTRAL DO BRASIL – BACEN. **Meta para a taxa Selic**. 2020. Disponível em: <<https://www.bcb.gov.br>>. Acesso em: 12/08/2020.

BARROS, B. F. de; BORELLI, R.; GEDRA, R. L. **Gerenciamento de energia**: ações administrativas e técnicas de uso adequado da energia elétrica. 1. ed. São Paulo: Erica LTDA, 2012.

BRAGA, R. P. **Energia solar fotovoltaica**: fundamentos e aplicações. Monografia – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

DETONI, T. L.; DONDONI, P. C. A escassez da água: um olhar global sobre a sustentabilidade e a consciência acadêmica. **Rev. Ciência Admin.** Fortaleza, p.191-204. 2008.

GOMES, H. P. **Avaliação econômica**: eficiência energética. João Pessoa: UFPB, 2014.

LEITÃO, Alexandra. Água, um recurso cada vez mais escasso. **EcoDebate**. Disponível em: <https://www.ecodebate.com.br/2018/03/22/a-agua-um-recurso-cada-vez-mais-escasso-artigo-de-alexandra-leitao/>. Acesso em: 05 jun. 2021.

LIRA, M. A. T. et al. Contribuição dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica para a redução de CO_2 no estado do Ceará. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 34, p. 389–397, 2019.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES. **Fatores de emissão da margem de operação pelo método simples ajustado**. 2019. Disponível em: <<https://www.mctic.gov.br/mctic/opencms/ciencia/SEPED/clima/textogeral/emissaoajustado.html>>. Acesso em: 22 de mar. 2020.

OLIVEIRA, L. A. N.; SOUZA, M. R. de; FILHO, M. L. P. M.; CASTRO, R. S. de; NAZARETH, T. B. Potencial de redução de CO_2 pelo uso de energia elétrica em motobombas utilizadas no processo de irrigação no município de Dona Euzébia - MG: um estudo comparativo das matrizes hidrelétricas e fotovoltaicas. *In*: Simpósio de Engenharia de Produção, 2008, Catalão. **Anais**. Catalão: UFG: 2008.

ORGANIZAÇÕES DAS NAÇÕES UNIDAS. Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. 2015. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030/>>. Acesso em: 15 de jan. 2020

PLANAS, O. **History of Solar Energy**. 2015. Disponível em: <<https://solar-energy.technology/what-is-solar-energy/history>>. Acesso em: 23 de jan. 2020.

REIS, D. de C. **Análise crítica do processo de licenciamento ambiental de usinas fotovoltaicas**. Monografia – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.

SANEPAR. **Princípios e Valores**. 2020. Disponível em: <<http://site.sanepar.com.br/a-sanepar/principios-e-valores>>. Acesso em: 15 de jan, 2020.

SCHERER, L. A. et al. Fonte alternativa de energia: energia solar. *In*: XX Seminário institucional de ensino, pesquisa e extensão Unicruz, Cruz Alta, 2015. **Anais**. Cruz Alta: UNICRUZ, 2015.

TIBA, C. **Atlas solarimétrico do Brasil**: banco de dados solarimétricos. Brasil: UFPE, 2019.

Capítulo 19

APROVEITAMENTO DA ÁGUA DA CHUVA EM RESIDÊNCIA

Andrei Juremeira dos Santos
George Francisco Santiago Martin

Introdução

A água é um recurso natural fundamental para a sobrevivência dos seres humanos e até pouco tempo era considerado um bem inesgotável; contudo, está se esgotando (BONA; MARTINS; NETO, 2014).

O consumo de água potável tem aumentado com o aumento progressivo da população do planeta, pois, além da quantidade de pessoas, ainda há o aumento da demanda baseado no consumo imposto pela oferta de novos produtos resultantes do desenvolvimento tecnológico. Destarte, quanto maior o poder aquisitivo populacional, maior o consumo de água com o uso de máquinas de lavar louça, máquinas de lavar roupas e outros equipamentos. Desta forma, urge procurar alternativas que reduzam o gasto da água potável e maximizem sua reutilização. Dentre essas alternativas, vale destacar o aproveitamento da água da chuva (JABUR; BENETI; SILIPRANDI, 2011; BONA; MARTINS; NETO, 2014).

Aproveitar a água da chuva traz benefícios e Jabur; Beneti; Siliprandi (2011), Tomaz (2011) e Moura; Silva; Barros (2018) destacam os seguintes: 1) a água é gratuita, havendo apenas custos no projeto de captação; 2) reduz

o escoamento superficial nas áreas urbanas; 3) conserva a água de qualidade para fins nobres; 4) reserva de água em caso de situação de emergências e 5) acessibilidade para as comunidades carentes ou regiões de secas.

Os sistemas de aproveitamento de água pluvial representam uma das medidas contemporâneas de maior destaque no que se refere à sustentabilidade hídrica em áreas urbanas (MOURA; SILVA; BARROS, 2018).

Este capítulo traz um estudo de caso de uma residência unifamiliar da cidade de Ubiratã, no estado do Paraná, tendo-se construído um sistema completo de captação, reservação com pontos de distribuição da água da chuva.

O objetivo foi estudar o aproveitamento da água da chuva para fins não potáveis em uma residência com somente uma família, ou seja, para uso em vaso sanitário, lavagem de calçadas, lavagem de roupas, rega de jardim e limpeza da casa em geral. Em seguida, foi avaliado o consumo de água potável da residência e comparado com o consumo de água da chuva, quando então, procurou-se verificar o quanto de dinheiro seria economizado e em quanto tempo se teria de retorno o valor investido no projeto.

A execução do projeto possibilitou reflexão sobre a utilização racional dos recursos hídricos e análise de qual seria o impacto para o meio ambiente e para a empresa local de saneamento básico, que também seria beneficiada com redução de consumo de energia elétrica e do consumo de produtos químicos.

A água é um recurso insubstituível para a vida e sem ela é impossível o desenvolvimento econômico e tecnológico. O planeta Terra é coberto 70% por água e, por isso, pode causar a falsa impressão de ser um recurso infinito; contudo, 97,5% deste volume é de água salgada de mares e oceanos. Já 2,5% é de água doce, localizada em regiões de difícil acesso, como águas subterrâneas e geleiras, sendo que apenas 0,007% da água doce encontra-se em locais de fácil acesso para o consumo humano, como lagos, rios e na atmosfera (UNIÁGUA, 2006).

Além disso, a água doce disponível no planeta encontra-se mal distribuída. Algumas regiões do Oriente Médio e da África, por exemplo, apresentam uma significativa crise quanto ao acesso à água doce. Entretanto, no Brasil, há certo privilégio, pois o país possui maior disponibilidade de água potável, com cerca de 13,7% do total (VIEIRA e BARRETO, 2006 *apud* CAPELLARI e CAPELLARI, 2018). Porém, trata-se de uma falsa abundância, pois a distribuição de água no território brasileiro é desigual. Segundo Ghisi (2006) (*apud* Marinoski, 2007) a região sudeste do Brasil dispõe de um potencial hídrico de apenas 6% do total nacional, porém conta com 43% do total de habitantes do país, enquanto a Região Norte, apresenta 69% de água disponível, contando com apenas 8% da população brasileira.

As mudanças climáticas, a urbanização, a ausência de uma gestão hídrica adequada, uso inconsequente da água (SILVA e SANTANA, 2014; MOURA; SILVA; BARROS, 2018) e a desigualdade social, são alguns dos fatores responsáveis pela grave crise hídrica que afeta várias regiões do mundo. São grandes as diferenças de consumo registradas entre os países desenvolvidos e os em desenvolvimento. Nos países africanos, por exemplo, a média de consumo de água é dez a quinze litros/pessoa; em Nova York, há um consumo exagerado de água doce tratada e potável, aonde uma pessoa chega a gastar dois mil litros/dia (CETESB, 2019).

Desta forma, é premente a necessidade da utilização de novas técnicas de aproveitamento da água.

Diversas pesquisas mencionam o aproveitamento da água da chuva como uma das alternativas à escassez de água, pois requer baixo investimento financeiro e exige um sistema muito simples de captação, reservação e distribuição (BONA, MARTINS; NETO 2014). Mas a água da chuva é boa? Pode ser utilizada? Água de chuva, segundo Tomaz (2007), é aquela coletada somente em telhados inclinados ou planos onde não haja passagem de veículos ou de pessoas, sendo que a água da chuva que cai e escorre pelas calçadas não pode fazer parte do esquema mais simples que o autor propõe.

Ao observar os tipos de água, Silva e Santana (2014) classificaram a água da chuva como águas azuis, as quais são captadas

pelos telhados, armazenadas e utilizadas para lavar roupa, calçada e irrigar plantas. No quesito qualidade, classificou como classe 1 a água que cai destilada das nuvens, mas pode se contaminar com poeira, fezes de pássaros, folhas; portanto, pode ser utilizada para lavar carros, calçadas e roupas, irrigar plantas. Nesta classe, o padrão mínimo exigido de água não potável é: não ter mau-cheiro, não ser abrasivo e não manchar superfícies.

Apesar de parecer uma alternativa moderna e contemporânea, na história há exemplos de diversos relatos de aproveitamento de água de chuva, como em Creta (Grécia antiga) que datam de 2.000 AC, em que essa água era usada para descarga em bacias sanitárias (TOMAZ, 2010).

No Brasil, a instalação mais antiga de aproveitamento de água pluvial conhecida, data de 1943 na ilha de Fernando de Noronha: foi construída pelos norte-americanos e ainda nos dias de hoje seus habitantes se utilizam desta técnica para seu abastecimento (distribuição (BONA, MARTINS; NETO 2014). E, de acordo com Marinoski (2007), até a década de 1980 existiam poucas experiências de aproveitamento de água pluvial em nosso país; contudo, tal aproveitamento passou a ganhar força a partir de experiências com cisternas para água da chuva e barragens subterrâneas no semiárido nordestino.

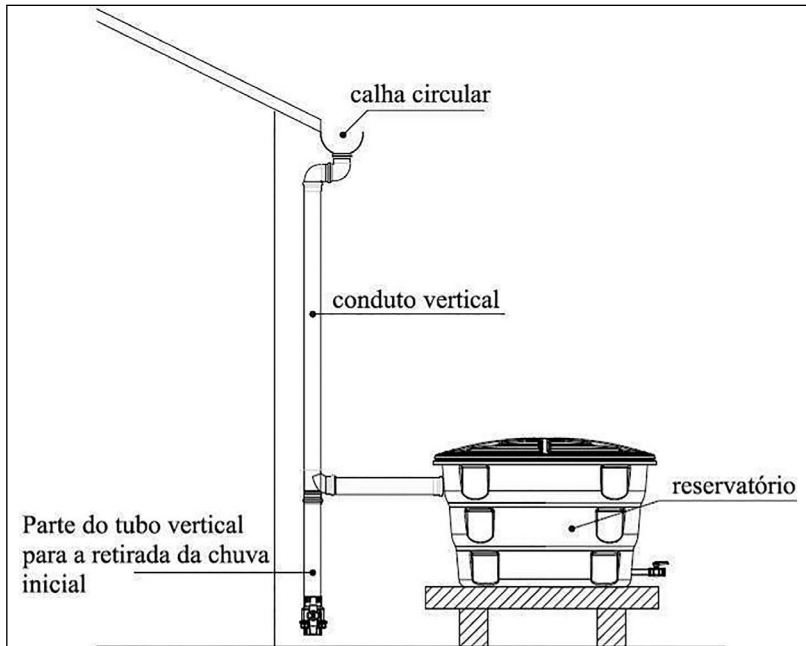
O aproveitamento da água da chuva começou a ser visto com bons olhos pelas indústrias, pelo comércio e pelas residências, pois além do retorno financeiro com a economia da água potável, há o retorno publicitário, pois começaram a ser vistas pela sociedade como empresas ecologicamente conscientes (BONA, MARTINS; NETO 2014).

Outra vantagem do sistema de aproveitamento de água de chuva é o aumento da eficiência hídrica no empreendimento, exonerando o poder público ou a empresa de saneamento pelo serviço de abastecimento do volume captado. Para (MAY, 2004; SOUZA; CRUZ; TUCCI, 2012) essas ações contribuem sobremaneira com um dispositivo de controle de escoamento superficial de águas pluviais

nas cidades, auxiliando na prevenção de enchentes e preservando o meio ambiente, o que reduz a escassez de recursos hídricos.

A fim de padronizar procedimentos, em 2007 a ABNT desenvolveu a NBR nº 15.527/2007, que trata do aproveitamento das águas de chuva por meio de coberturas em áreas urbanas. Em resumo, esta norma traz alguns pontos fundamentais que devem ser observados, a serem: a) origem da água pode ser coletada - a fim de evitar contaminação, somente a água do telhado pode ser coletada para o aproveitamento; b) destino da água da chuva - apesar da água ser boa, não deve ser utilizada para fins potáveis, tais como banho, consumo humano e lavagem de louça; c) tamanho do reservatório - deve ser dimensionado de acordo com a área do telhado e índice pluviométrico; a observância destes dois itens pode garantir um melhor retorno sobre o investimento e que a água da chuva possa ser armazenada em volume suficiente.

Figura 01: Modelo básico e de baixo custo para coleta de águas pluviais.



Fonte: Jabur, Benetti e Siliprandi (2011)

Apesar de muito simples, Tomaz (2011) e Zardini (2014) ressaltam que um sistema completo de aproveitamento de água pluvial deve contar com área de captação, calhas e condutores, *by pass*, peneira, reservatório, extravasor e condutores para sua distribuição. A Figura 01 apresenta um modelo básico de captação de água.

Materiais e métodos

O estudo de caso foi realizado em uma residência do município de Ubitatã, Estado do Paraná (Figura 02), cidade que se encontra a 535 km de Curitiba na região centro ocidental do estado, tem clima subtropical úmido mesotérmico, com verões quentes, tendência de concentração das chuvas (temperatura média superior a 22° C), invernos com geadas pouco frequentes (temperatura média inferior a 18° C) e, sem estação seca definida (PMU, 2012).

Figura 02: Cidade de Ubitatã (em vermelho), estado do Paraná.



Fonte: Wikipédia

Com dados obtidos nos últimos 30 anos, a precipitação média anual de Ubitatã é de 1.842 mm/ano e a menor média mensal é do mês de agosto com 84 mm (CLIMATEMPO, 2019).

A casa residencial unifamiliar está situada na região urbana do município, no Jardim Itaipu, possui uma área construída de

124,27m² e abriga uma população de 3 pessoas, sendo 2 adultos e 1 criança de 6 anos. A residência é atendida pela Sanepar com água tratada e coleta de esgoto.

Aproveitando a cobertura da edícula e da calha preexistente, foi instalado um sistema de utilização das águas pluviais baseado no manual para captação emergencial e uso doméstico de água de chuva (ZANELLA, 2015). Este sistema de utilização de águas pluviais permite que a mesma seja utilizada para a lavagem de roupas, lavagem de calçadas, do carro e rega do jardim.

Na sequência, a Figura 03 mostra a área de captação que compreende 45,44m² de telha de fibrocimento e despeja toda a água em uma calha de zinco.

Figura 03: Área de captação pluvial.



Fonte: Os autores (2020)

Da calha, a água da chuva cai em um tanque de polietileno que se interliga por vasos comunicantes com uma caixa de polietileno e um outro tanque de polietileno, estando todos os três reservatórios no nível do solo não ocupando mais que 6m² de área do terreno. Da caixa maior, a água é levada por uma bomba centrífuga 0,5 cv da marca Willeman até uma caixa de polietileno que se encontra dentro do forro da residência; esta conta com um

extravasor em sua lateral superior e uma saída de distribuição em sua lateral inferior: nesta última, foi instalado um hidrômetro unijato s120 dn3/4 qnom 1,5m³/h qmax 3,0m³/h da marca Elster. Neste sistema há uma capacidade de reservação de 2.100 litros. Toda distribuição da água coletada passa por este medidor e desce para as torneiras por força da gravidade.

Figura 04: Da esquerda para direita – Tanque 1 com tela, Tanque 2 e caixa (os 3 apoiados no solo), bomba de recalque e caixa elevada com hidrômetro na saída da distribuição.



Fonte: Os autores (2020)

A capacidade de reservação foi calculada segundo a norma 15527 (ABNT, 2007) que apresenta alguns métodos para dimensionamento de reservatório para água pluvial, sendo: Rippl, maior período de estiagem, métodos empíricos (Brasileiro, Alemão e Inglês) e simulações.

Os métodos empíricos, por serem de fácil aplicação, são mais indicados em residências unifamiliares ou em pequenos estabelecimentos, enquanto os métodos mais complexos, como o Rippl, o de simulação e o de maior período de estiagem, são mais indicados para projetos maiores. Por isso, optou-se por aplicar neste estudo de caso o Método Prático Brasileiro (ou Azevedo Neto): $V = 0,0042 \times P \times A \times T$ (1) onde: P = precipitação média anual (mm); A = área de coleta em projeção (m^2); V = volume de água aproveitável e o volume de água do reservatório (L) e T = número de meses de pouca chuva ou seca (AMORIM e PEREIRA, 2008). Desta forma:

$$V = 0,042 \times 1842 \times 45,44 \times 1$$

$$V = 3.515 \text{ litros}$$

A capacidade indicada pela ABNT para este sistema é de 3.515 litros, porém neste estudo, o sistema instalado conta com uma reservação de 2.100 litros. Segundo Bona (2014), esta diferença pode ser aceita, pois para o dimensionamento de um sistema que se localiza na área urbana e possui sistema de abastecimento público de água instalado e não possua áreas livres para instalação de grandes reservatórios, a água da chuva é vista como complementar.

Além das normas da ABNT, Zanella (2015) enfatiza que o volume de água a armazenar deve ser decidido também em função de quanto a família pode gastar com a instalação do sistema e o espaço disponível na residência e, a partir disso, adaptar os usos ao volume de água disponível, e não o contrário. Isso sem falar nos dados meteorológicos históricos que indicam que a cidade não possui meses secos sem chuva (PMU, 2012). Desta forma, está bem justificada a capacidade de armazenamento de 2.100 litros nessa residência.

Foi possível ter acesso ao histórico do consumo mensal de água da Sanepar, de maio de 2017 a setembro de 2019. A coleta de dados do hidrômetro instalado na saída da distribuição da água da chuva se deu entre o dia 24/09/2018 a 23/09/2019 e foi criada uma

tabela a fim de se avaliar o volume utilizado com água da chuva e o volume utilizado com água da Sanepar. Com base nos dados desta tabela e de posse da Tabela de Tarifas do Saneamento Básico (TTSB) (AGEPAR, 2019), foi calculado o volume de água tratada não usado e o dinheiro economizado. Para se calcular o tempo de retorno do investimento foram utilizados os três principais métodos de análise de investimentos, o *Payback*, o Valor Presente Líquido (VPL) e a Taxa Interna de Retorno (TIR) (SOUZA e CLEMENTE apud LIZOTE et al., 2014). Informações suplementares como volume de água tratada distribuída no período e número de ligações de água que Ubiratã possui foram solicitadas à Sanepar.

Na entrada do primeiro tanque, foi colocada uma tela de mosquiteiro (ZANELLA, 2015) de 5 mm que tem a finalidade de separar a água da chuva de impurezas acumuladas no telhado como folhas, galhos e insetos (TOMAZ, 2010).

Apesar de saber que para regas de jardim a água da chuva não necessita nenhum tipo de tratamento, Jabur et al. (2011) orientam que se esta água também for para lavagem de roupas, precisará de um tratamento simples, pois de forma indireta ela entrará em contato com o corpo humano. Por isso, neste estudo de caso, o morador coloca a cada dois dias uma porção de 10ml de água sanitária para cada 100 litros de água reservada, pois a presença de cloro no reservatório diminui a presença de bactérias e a velocidade de degradação da água armazenada, embora essa prática não garanta a desinfecção total desta água, continuando assim, imprópria para beber, preparar alimentos e tomar banho (ZANELLA, 2015).

A residência onde a pesquisa foi realizada, conta com atendimento de água e coleta de esgoto e as tarifas desses dois serviços são apresentadas na Tabela 01.

Tabela 01: Tarifa Residencial Normal (R\$/M³).

	Até 5 m ³	6 a 10	11 a 15	16 a 20	21 a 30	>30
ÁGUA E ESGOTO	69,79	2,16	12,02	12,10	12,19	20,63

Fonte: AGEPAR - Agência Reguladora do Paraná

Apesar da calha ser preexistente à implantação do sistema, é importante colocá-la na planilha de custos, pois este estudo poderá servir de modelo para outros sistemas que não possuam calha. Na sequência, a Tabela 02 apresenta o custo dos materiais e o total do investimento.

Tabela 02: Custo do investimento.

Materiais	Valores
Calha	R\$ 350,00
2 tanques de 300 l, comprados no ferro velho	R\$ 100,00
2 Caixas d'água, tubos, conexões, tela	R\$ 520,00
Moto bomba 0,5cv	R\$ 139,00
Hidrômetro	R\$ 70,00
Mão de obra	R\$ 100,00
Total investido	RS 1.279,00

Fonte: Os autores (2020)

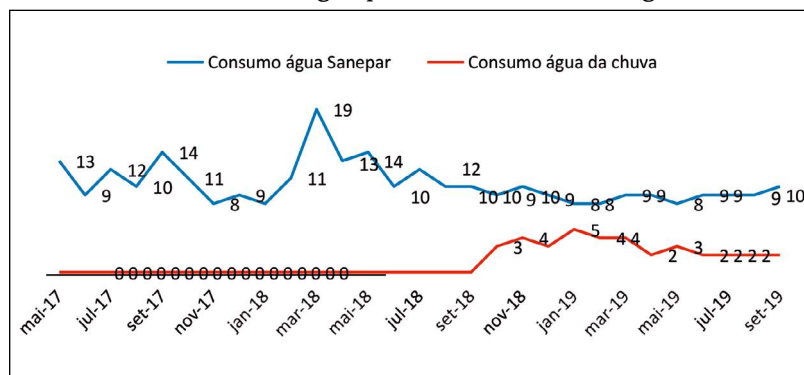
Resultados e discussão

A Tabela 03 apresenta as leituras obtidas no hidrômetro de água potável da Sanepar e no hidrômetro de água da chuva do Sistema de Aproveitamento de Água Pluvial (SAAP), ambas leituras eram tomadas no mesmo dia.

É importante observar que, na Tabela 03, em doze meses, se não houvesse SAAP nessa residência, o volume de água potável da Sanepar utilizado por essa família seria quase 40% maior. O Gráfico 01 mostra uma média de 10,76 m³ de consumo de água potável antes da implantação do SAAP, apresentando um consumo oscilante com um pico de 19 m³ em março de 2018. Depois de implantado o SAAP, a média de consumo de água da Sanepar cai para 8,33 m³ e se torna quase linear, constante.

Tabela 03: Consumo água da chuva e consumo água da Sanepar.

Data da leitura	HD água da chuva	Consumo	HD água da Sanepar	Consumo
24/09/2018	0		721	
24/10/2018	3	3	730	9
23/11/2018	7	4	740	10
21/12/2018	10	3	749	9
22/01/2019	15	5	757	8
21/02/2019	19	4	765	8
25/03/2019	23	4	774	9
23/04/2019	25	2	783	9
23/05/2019	28	3	791	8
24/06/2019	30	2	800	9
23/07/2019	32	2	809	9
22/08/2019	34	2	818	9
23/09/2019	36	2	828	10
Média		3 m ³		8,33 m ³
Total em um ano		36 m ³		100 m ³

Fonte: Os autores (2020)**Gráfico 01:** Consumo de água potável e consumo de água da chuva.**Fonte:** Os autores (2020)

Baseado nas Tabela 01 e 03 (Tarifa Sanepar), a seguir, a Tabela 04 apresenta os valores economizados financeiramente com SAAP.

Tabela 04: Valores economizados com o SAAP.

Na fatura emitida em	Sem SAAP seria	Com SAAP foi	Economizou
24/10/18	R\$104,63	R\$78,43	R\$26,20
23/11/18	R\$128,67	R\$80,59	R\$48,08
21/12/18	R\$104,63	R\$78,43	R\$26,20
22/01/19	R\$116,65	R\$76,27	R\$40,38
21/02/19	R\$104,63	R\$76,27	R\$28,36
25/03/19	R\$116,65	R\$78,43	R\$38,22
23/04/19	R\$92,61	R\$78,43	R\$14,18
23/05/19	R\$92,61	R\$76,27	R\$16,34
24/06/19	R\$92,61	R\$78,43	R\$14,18
23/07/19	R\$92,61	R\$78,43	R\$14,18
22/08/19	R\$92,61	R\$78,43	R\$14,18
23/09/19	R\$104,63	R\$80,59	R\$24,04
Total em um ano			R\$304,54
MÉDIA ECONOMIZADA			R\$25,38

Fonte: Os autores (2020)

O *Payback* demonstra o tempo necessário para se obter o retorno do capital investido, sendo considerado um instrumento de aplicação simples e não pode ser utilizado como única fonte de dados para uma tomada de decisão. Sua expressão: $Payback = I / R$, onde I = Investimento e R = Receita gerada (EICK, 2010). Portanto, ao se aplicar na expressão dados da Tabelas 02 e 04, obtem-se: $Payback = 1279 / 25,38$; $Payback = 50,39$, ou seja, o retorno do investimento inicial deste SAAP se dará em 50,39 meses.

Isso dá mais de quatro anos, o que pode ser considerado muito tempo. No entanto, Bruni e Famá (2003) afirmam que esse instrumento possui uma visão curta dos números financeiros, não sendo capaz de enxergar os números distantes. Para um *Payback* de quatro anos, o investimento será recuperado nesse tempo se, no quinto ou no sexto ano, existir uma variação acima do normal, tanto positiva quanto negativa.

O VPL é uma ferramenta que tem o objetivo de identificar um possível retorno financeiro no final do projeto, por meio de demonstrações de cálculos que estão relacionados à aplicação do dinheiro no tempo. Se o resultado for positivo, o projeto pode ser aceito, mas se for negativo é considerado inviável e rejeitado (BENEDICTO et al., 2007).

A fórmula do VPL pode assim ser apresentada:

$$VPL_{\infty} = \frac{FC_1}{(TMA - g)} - FC_0$$

Onde:

VPL = Valor Presente Líquido

TMA = Taxa Média de Desconto

g = taxa do crescimento anual do fluxo de caixa

FC_0 = fluxo de caixa no momento zero (fluxo de caixa inicial)

FC_1 : fluxo de caixa no período 1

A Tabela 05 apresenta o demonstrativo do VPL que está composto pelo investimento inicial, além das receitas durante um determinado período de tempo, e apesar do SAAP perdurar por muitos anos, para esta análise optou-se por cinco anos. Para a taxa de desconto (TMA), o índice escolhido foi a taxa do Sistema Especial de Liquidação e de Custódia (SELIC) mensurada a 5%, dados do Banco Central do Brasil atualizados em 11 de novembro de 2019.

Observando a Tabela 05, nota-se que o SAAP começa a dar retorno financeiro somente a partir do quinto ano. Ao serem aplicados os dados à fórmula, encontra-se um VPL positivo de R\$ 39,50, o que dá aceitabilidade ao projeto.

Tabela 05: Análise do VPL.

VALOR DO INVESTIMENTO	-R\$ 1.279,00
1º ANO	R\$ 304,54
2º ANO	R\$ 304,54
3º ANO	R\$ 304,54
4º ANO	R\$ 304,54
5º ANO	R\$ 304,54
TMA	5%
VPL	R\$ 39,50

Fonte: Os autores (2020)

A TIR é um método que reflete as entradas de caixa menos as saídas, dentro de um determinado período de tempo. Para identificar se o projeto de investimento vai atender às metas estabelecidas, é importante conhecer os índices retratados pela TIR na viabilidade do resultado financeiro apresentada em forma de taxa. A interpretação da TIR é por meio de comparação com a TMA, se o resultado da TIR for maior ou igual à TMA, significa que o investimento é viável (LIZOTE et al., 2014). A fórmula para calcular a TIR é apresentada:

$$VP = capital + \sum_{t=1}^N \frac{Ft}{(1+i)^t}$$

Onde:

VP = valor presente

capital = valor do investimento

N = quantidade de períodos

Ft = entrada de capital no período

t i = taxa interna de retorno

Lançando os dados à fórmula, a TIR é de 6,11%. Portanto, como se desejava um retorno de 5% (taxa Selic) e foi obtido

6,11%, um resultado 1,11% maior que o desejado, entende-se como viável este SAAP. Desta forma, após a análise de três métodos de investimentos conclui-se que, nos três, o resultado foi pela viabilidade financeira deste SAAP.

Sabendo que este SAAP pode ser feito de forma simples, tem baixo custo e retorno financeiro comprovado por três ferramentas financeiras, pergunta-se: E se este sistema fosse replicado em toda a cidade de Ubatã-PR?

Tabela 06: Dados da Sanepar de Ubatã-PR no ano de 2018.

Nº ligações de água	8.360
Total acumulado de água tratada produzida	1.450.246 m ³
Média diária da produção de água	3.793,27 m ³
Custo Produção da água (Químicos + Energia)	R\$1,015 / m ³

Fonte: Sanepar (2020)

O SAAP deste estudo de caso trouxe uma economia média de 3m³ por mês; então, se em cada lugar onde há uma ligação da Sanepar houvesse o aproveitamento da água, a empresa deixaria de retirar do meio ambiente 25.080m³ por mês (8.360 x 3), 300.960 m³ por ano (25.080 x 12). Relacionando o possível volume economizado com o volume de água tratada produzida em 2018, seria possível afirmar que a Estação de Tratamento de Água (ETA) poderia ficar parada em 79,34 dias do ano (300.960 / 3.793,27) e a Sanepar deixaria de gastar R\$ 305.474,40 (300.960 x 1,015) com energia elétrica e produtos químicos.

Apesar do valor anual economizado pela empresa ser bastante significativo, a Sanepar se depararia com um problema que vale a pena ser discutido. Segundo a Agepar (2019), exceto Curitiba, em todo o estado do Paraná são cobrados na fatura 80% do valor da água para o tratamento do esgoto coletado. Se os clientes passarem a usar água da chuva para lavar a roupa e dar descarga em vasos sanitários, entende-se que se estará usando o

sistema de esgoto público sem que a empresa estivesse contabilizando isso, já que o hidrômetro da empresa não computou. Como a empresa lidaria com isso?

Os números apresentados, no entanto, levam em conta um quadro hipotético no qual toda a cidade conta com o SAAP, sendo utopia imaginar que do dia para a noite serão investidos R\$ 10.692.440,00 (8.360×1.279). Mas, deve-se considerar que tudo tem um início e aos poucos a população poderá se conscientizar do valor da água e suas implicações com o meio ambiente.

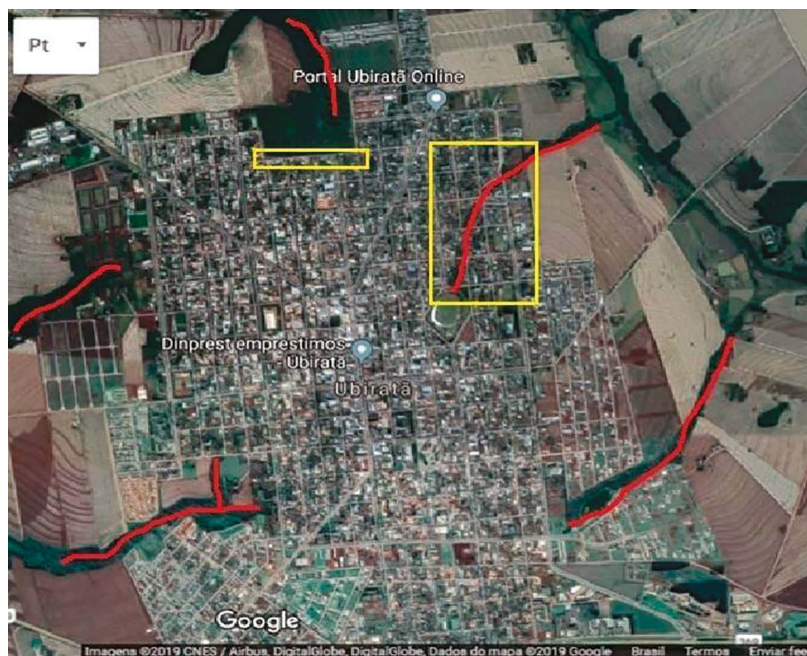
Uma ideia defendida por Souza et al. (2012) é o plano diretor do município exigir que novos projetos de construções contassem com um SAAP. Um empreendimento que pode custar mais de R\$ 100.000,00, investimento que se diluiria no custo da construção e no valor venal do imóvel.

Ubiratã-PR apresenta áreas que estão sujeitas às enchentes. Na Figura 05 estão destacados em vermelho os córregos cujas nascentes estão localizadas na periferia da cidade e, assim, são usados como desembocadura das galerias subterrâneas de água pluvial. Os retângulos amarelos compreendem as regiões mais críticas da cidade. O retângulo menor situado no norte da área urbana compreende a Rua Rio Grande do Sul que margeia o Bosque Municipal Enio Pipino. Essa região, vez ou outra, é alvo de inundação, causando prejuízos a algumas casas que ficam na porção mais baixa desta rua. O retângulo maior à leste da área urbana, compreende a Vila Recife, uma região que foi alvo de invasões logo no início da formação da cidade, na época, denominada Vila dos Pobres. Nota-se que a nascente daquele córrego (chamado Central), fica bem dentro da cidade, diferente dos outros; sua margem foi tomada por casas, praticamente não há mata ciliar e suas águas são contaminadas por todo tipo de rejeitos, além de receber um grande volume de água pluvial proveniente das galerias em dias de chuva (PMU, 2012). Um trabalho de prevenção pode ser feito nessa região.

Existem diversas técnicas que podem ser usadas para se prevenir enchentes e lidar com a drenagem urbana, sobretudo na

fase de projeto de novos loteamentos. No entanto, o que fazer em relação àquela porção da cidade que já está pronta e apresenta problemas, como no caso de Ubitatã-PR?

Figura 05: Mapa urbano de Ubitatã-PR.



Fonte: Google Maps (2019), destaques dos autores

Souza et al. (2012) afirmam que uma das alternativas é o incentivo a coletores de água da chuva nas casas, porque reduzirá o escoamento superficial da água pluvial e amenizará os casos de enchentes.

Considerações finais

Levando-se em consideração os cálculos obtidos pela: *Payback* – 4 anos e 2 meses; VPL – R\$ 39,50, positivo; TIR – 6,11%, 1,11% acima do esperado, pode-se concluir que este sistema de aproveitamento de água da chuva é viável financeiramente e pode

ser replicado facilmente para outras residências, pois apesar do custo inicial ser de apenas R\$ 1.279,00, a área do terreno que este sistema ocupa é cerca de 6m².

Baseada em dados referentes ao ano de 2018, a Sanepar teria uma economia de R\$ 305.474,40 com energia elétrica e produtos químicos. No entanto, teria de lidar com um novo problema: o uso de seu sistema de coleta e tratamento de esgoto sem que seja possível faturar.

Sugere-se que novos estudos relacionados a essa problemática sejam realizados, pois se o futuro aponta para novas técnicas de aproveitamento de água em detrimento do uso da água potável distribuída, é importante desde já a empresa estar preparada para a nova realidade que se descortina.

Espera-se que os resultados obtidos incentivem mais pessoas a investirem em sistemas de aproveitamento de água da chuva para fins não potáveis e que o poder público, por meio de mudanças de paradigmas e normas, torne possível a expansão dos SAAP, principalmente em regiões com problemas de enchente.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15527 – Água de Chuva – Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis: requisitos.** Rio de Janeiro, 2007.

AGÊNCIA REGULADORA DE SERVIÇOS PÚBLICOS DELEGADOS DE INFRAESTRUTURA DO PARANÁ. **Resolução Homologatória nº 006**, de 16 de abril de 2019. Disponível em: <<http://www.agepar.pr.gov.br/arquivos/File/160419resolucaoreaajusteSanepar2.pdf>>. Acesso em: 08 de nov. 2019.

AMORIM, S. V.; PEREIRA, D. J. A. **Estudo Comparativo dos Métodos de Dimensionamento para Reservatórios Utilizados em Aproveitamento de Água Pluvial.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 8, n. 2, p. 53-66, abr./jun. 2008.

BENEDICTO, G., PADOVEZE, Clóvis. **Análise das demonstrações financeiras**. São Paulo: Editora Thomson, 2007.

BONA, B. O.; MARTINS, G. M.; NETO, A. P. A. **Aproveitamento da água da chuva para fins não potáveis em edificação multifamiliar na cidade de Carazinho (RS)**. 2014. 34 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Pós-graduação em Eficiência energética aplicada aos processos produtivos) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

CAPELLARI, A.; CAPELLARI, M. B. A água como bem jurídico, econômico e social: A necessidade de proteção das nascentes. **CIDADES**, Lisboa, n. 36, p. 83-94, jun. 2018. Disponível em <http://www.scielo.mec.pt/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2182-30302018000100007&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 19 nov. 2020.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **O problema da escassez de água no mundo**. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/informacoes-basicas/tpos-de-agua/o-problema-da-escassez-de-agua-no-mundo/>>. Acesso em: 05 de nov. 2019.

CLIMATEMPO, **Ubiratã-PR. 2019**. Disponível em: <<https://www.climatepo.com.br/climatologia/2925/ubirata-pr>>. Acesso em: 10 de nov. 2019.

JABUR, A. S., BENETTI, H. P., SILIPRANDI, E. M. Aproveitamento da água pluvial para fins não potáveis. Congresso de Excelência em Gestão, 7, **Anais**, 2011. Disponível em: <http://www.inovarse.org/sites/default/files/T11_0353_2014.pdf>. Acesso em: 06 de jul. 2019.

LIZOTE, S. A., ANDRADE, D. A., SILVA, F., PEREIRA, R. S., PEREIRA, W. S. Análise de investimentos: um estudo aplicado em uma empresa do ramo alimentício. In: Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia, 11, **Anais**, 2014. Disponível em: <<https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos14/1220115.pdf>>. Acesso em: 12 de jul. 2017.

MAY, S. **Estudo da viabilidade do aproveitamento de água de chuva para consumo não potável em edificações**. 2004. 189 f. Dissertação.

(Mestrado em engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

MARINOSKI, A. K. **Aproveitamento de Água Pluvial para Fins Não Potáveis em Instituição de Ensino**: Estudo de Caso em Florianópolis – SC. 2014. 118f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

MOURA, M. R. F.; SILVA, S. R.; BARROS, E. X. R. Análise de implantação de um sistema de aproveitamento de água pluvial em um empreendimento residencial na cidade de Recife-PE. In: **Tecno-Lógica**, Vol.22, n.1, p.66-72, 2018.

PREFEITURA MUNICIPAL DE UBIRATÃ. **Plano Municipal de Saneamento Básico**. 2012. Disponível em: ubirata.pr.gov.br/pdf/pmsb.pdf. Acessado em: 09 de mar. 2019.

SILVA, M. A.; SANTANA, C. G. Reuso de água: possibilidades de redução do desperdício nas atividades domésticas. **Revista CEDS**. N. 01., 2014. Disponível em: <<http://tratamentodeagua.com.br/wp-content/uploads/2016/05/REUSO-DE-%C3%81GUA-possibilidades-de-redu%C3%A7%C3%A3o-do-desperd%C3%ADcio-nas-atividades-dom%C3%A9sticas.pdf>>. Acesso em 17 de nov. 2018.

SOUZA, C. F.; CRUZ, M. A. S.; TUCCI, C. E. M. Desenvolvimento urbano de baixo impacto: Planejamento e tecnologias verdes para a sustentabilidade das águas urbanas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, volume 17, n.2. p. 9-18, 2012.

TOMAZ, P. **Aproveitamento de água de chuva**. 2010. Disponível em: <https://909d9be6-f6f1-4d9c-8ac9-115276d6aa55.filesusr.com/ugd/0573a5_bfa504956e664155b22974ef016e05a7.pdf?index=true>. Acesso em 08 de jul. 2019.

UNIVERSIDADE DA ÁGUA. **Água no Planeta**. Disponível em: <<http://www.uniagua.org.br>>. Acesso em: 05 de nov. 2019.

ZARDINI, C. S. **Aproveitamento de água de chuva** – estudo da viabilidade técnica em diferentes capitais brasileiras. 2014. 63f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitarista) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2014.

ZANELLA, L. **Manual para captação emergencial e uso doméstico de água de chuva.** São Paulo: IPT – Institutos de Pesquisa Tecnológicas de São Paulo: São Paulo, 2015.

Capítulo 20

NITRATO DE CÁLCIO NA MITIGAÇÃO DE ODORES

Fernanda Janaína Oliveira Gomes da Costa

Fernanda Armelinda Cardoso

Introdução

Os reatores anaeróbios para o tratamento de efluentes são amplamente utilizados no Brasil devido às suas condições favoráveis de operação, tais como a baixa produção de sólidos, pequeno consumo de energia, baixo custo de implantação e operação, dentre outros. Entretanto, esses sistemas geram como subprodutos o lodo e o biogás, compostos por diversos gases, dentre eles o gás sulfídrico (H_2S), que é um dos principais compostos causadores de maus odores (CHERNICHARO, 2011).

Em muitos casos, os sistemas de tratamento de esgoto são construídos em locais afastados da população; contudo, com o passar do tempo, a ocupação urbana atinge esses locais e surge o efeito *Nimby* (*not in my backyard*), quando a comunidade requer esgotamento sanitário, mas não admite ter esse tipo de empreendimento próximo à sua residência. Assim, a convivência entre a ETE e sua vizinhança pode ser afetada, sobretudo pelos impactos ambientais. Por consequência, estas instalações tornam-se indesejáveis, justificando a implementação da gestão em emissões odorantes (MADEIROS; GRIGIO; PESSOA, 2018).

Desta forma, tendo em vista o histórico das elevadas concentrações de gás sulfídrico (H_2S) e os altos índices de reclamações por parte da população vizinha à Estação Elevatória de Esgoto (EEE) Menino Deus, localizada na cidade de Quatro Barras-PR, para atender a necessidade de mitigar as emissões odorantes, fez-se necessário o estudo da utilização de processos de controle de odores.

A utilização de nitrato de cálcio ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$) é uma alternativa bastante utilizada para o controle de emissões de H_2S , e este método apresenta vantagens frente a outras inovações, tendo em vista tratar-se de um processo estável, com fácil instalação e que apresenta elevada eficiência. Contudo, cabe destacar que, apesar dos mecanismos de redução de sulfeto serem bem conhecidos, a aplicação de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ para minimização e mitigação de odor, ainda é bastante incipiente e pouco consolidada no Brasil, demandando mais avaliações e estudos técnicos (JIANG; SHARMA; YUAN, 2013; WANG et al., 2016).

O objetivo do estudo apresentado, neste capítulo, foi avaliar e otimizar a aplicação de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ na mitigação da formação e oxidação de H_2S em redes de esgotamento sanitário.

Tratamento de esgoto doméstico e mitigação de odores com $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$

Os sistemas anaeróbios, notadamente os reatores de manta de lodo (reatores do tipo UASB), passaram a ocupar uma posição de destaque, não só em nível mundial, mas principalmente em nosso país, face às oportunas condições ambientais de temperatura. A tecnologia anaeróbia apresenta diversas características favoráveis, como a baixa produção de sólidos, pequeno consumo de energia, baixo custo de implantação e operação, dentre outros. Entretanto, apresenta, também, características desfavoráveis como a remoção insatisfatória de nutrientes e patógenos e a produção de gases odorantes (CHERNICHARO, 2011).

O principal gás odorífero presente nas ETE é o H_2S , formado durante o processo de digestão anaeróbia pela ação das bactérias redutoras de sulfatos (BRS), principalmente pelas bactérias

Desulfovibrio e *Desulfotomaculum*, sendo que essas utilizam o sulfato e outros compostos à base de enxofre para respiração, resultando na formação do sulfeto (HAO et al., 2014; CHEN et al., 2011; CHERNICHARO et al., 2018; ZHANG et al., 2013). Abaixo, tem-se representada a equação de respiração heterotrófica das bactérias sulforredutoras (reação 1) (MATHIOUDAKIS et al., 2006).



Dependendo da concentração, a liberação de gás sulfídrico pode provocar corrosões nas estruturas, bem como causar impactos sobre a saúde humana, como vertigem, irritabilidade, dor de cabeça, tontura, tosse e outros, ocasionando diversas reclamações por parte da população vizinha. Normalmente, esse gás começa a ser perceptível pela população em concentrações acima de 0,0004 ppm (0,0004 mg.L⁻¹); quando ultrapassa 0,5 ppm (0,5 mg.L⁻¹), possui cheiro desagradável. Ao atingir concentrações de 10 ppm (10 mg.L⁻¹) pode ocasionar irritações e náuseas; quando as concentrações ultrapassam 50 ppm (50 mg.L⁻¹), podem ocorrer lesões oculares e respiratórias e, quando acima de 700 ppm, podem ser fatais (PARK et al., 2014; GODOI et al., 2018).

A redução de emissão do H₂S pode ser realizada por meio de diferentes métodos físicos, químicos e biológicos, os quais podem ser implementados tanto no meio líquido, como no meio gasoso (TALAIEKHOZANI et al., 2016).

Dentre os métodos mais utilizados para a mitigação de maus odores em ETE, tem-se a dosagem de cloro (Cl₂) gasoso no efluente de saída do reator anaeróbio. Embora com boa eficiência, o gás cloro apresenta riscos operacionais, devido à alta periculosidade em caso de vazamento. Além disso, na presença de matéria orgânica, o cloro livre forma trihalometanos (THM), os quais causam impactos negativos na saúde humana (PADHI; SUBRAMANIAN; SATPATHY, 2019; ZHANG et al., 2008).

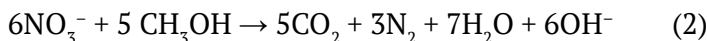
Outro método usualmente utilizado é a adição de peróxido de hidrogênio (H₂O₂) líquido no efluente de saída do reator anaeróbio. Esse composto tem elevado poder oxidativo e reduz

a presença de H_2S . Sua implantação e operação são simplificadas, podendo resultar em eficiências de remoção superiores a 85%. Contudo, com a aplicação de H_2O_2 em efluentes, problemas podem ser detectados, dentre eles a dificuldade de dosagem do produto, mudanças de cor, turbidez no efluente e alteração no odor do lodo (ZHANG et al., 2008; COSTA et al., 2016).

Há também o controle de odor pela precipitação química, que se dá pela adição de metais como ferro, cobre e zinco, que são capazes de reagir com o enxofre do H_2S dissolvido, formando um precipitado estável que fica complexado no efluente final, reduzindo, desta forma, a emissão de H_2S na atmosfera (ZHANG et al., 2013; PARK et al., 2014). A utilização de óxidos de ferro em geral é onerosa, já que estes produtos devem possuir uma pequena granulometria para serem aplicados (GUTIERREZ et al., 2010).

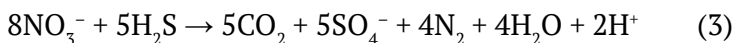
Outra alternativa para mitigação de odores é a adição de produtos à base de nitrato que podem atuar de dois diferentes mecanismos, prevenção e remoção, e cuja aplicação em redes de esgotamento sanitário vem apresentando resultados satisfatórios (JIANG; SHARMA; YUAN, 2013; WANG et al., 2016).

Na prevenção, o nitrato adicionado ao esgoto bruto é utilizado como um substituto da fonte de oxigênio. As bactérias anaeróbias facultativas e obrigatórias que são as responsáveis pelo odor e pela geração de sulfetos, usam o oxigênio do nitrato ou do sulfato como fonte de oxigênio, nesta ordem de preferência. Desta forma, quando o nitrato é adicionado ao esgoto, as bactérias o utilizam, em vez de utilizarem o sulfato. Este fato, resulta na produção de nitrogênio gasoso e outros compostos nitrogenados ao invés de sulfetos. Assumindo uma fonte simples de carbono (metanol) tem-se a reação 2, apresentada a seguir (WEF, 2004).



O sulfeto dissolvido pode ser gerado a montante do ponto de aplicação de nitrato e também precisa ser removido. O mecanismo de remoção ocorre pela ação de bactérias que bioquimicamente

oxidam o sulfeto na presença de nitrato. Devido ao processo de remoção ser bioquímico, a redução do sulfeto não é instantânea e ocorre entre 1 e 2 horas, conforme reação a 3 (WEF, 2004).



O fator crítico da aplicação de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ é o controle e a manutenção do seu residual na ordem de traço. O excesso pode prejudicar os tratamentos subsequentes do esgoto e também inferir no aumento de custos desnecessários (HOBSON; YANG, 2000).

São poucos os estudos com a aplicação de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ em plantas de tratamento, sendo que a grande maioria dos estudos tem avaliado aplicações apenas em redes de grandes extensões, que nessa condição teriam maior predisposição para desenvolver ambientes anaeróbios ou anóxicos. Churchill e Elmwe (1999) avaliaram a aplicação de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ em rede coletora de esgoto sanitário na cidade de Bedford, Massachusetts, EUA. De acordo com os autores, foram realizadas dosagens de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ na rede e medições do H_2S em três poços de visita ao longo da rede. As concentrações iniciais foram de 80 ppm de H_2S ; já após as dosagens, as concentrações reduziram-se a praticamente zero. O experimento apontou dosagens ideais do $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ entre 7,1 a 35,8 L.h^{-1} . Sena (2015) avaliou a aplicação do $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ na elevatória final da ETE Barigui, localizada em Mongaguá - SP. No período de testes, a vazão média afluente foi de 141 L.s^{-1} , o tempo de detenção de 2 horas e dosagens de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ de 15 L.h^{-1} . Os resultados demonstraram que 72% das amostras apresentaram concentrações de H_2S dissolvido abaixo de 0,5 mg.L^{-1} .

Nesse sentido, destaca-se que, apesar dos mecanismos de redução de sulfeto serem bem conhecidos, a aplicação de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ para minimização e mitigação de odor ainda é bastante incipiente e pouco consolidada no Brasil, demandando mais avaliações e estudos técnicos.

Materiais e métodos

O experimento foi realizado pelo período de 105 dias na Estação Elevatória de Esgoto (EEE) Menino Deus tendo em vista o histórico das elevadas concentrações de H_2S e os altos índices de reclamações por parte da população. Esta EEE está localizada na cidade de Quatro Barras – PR (Figura 01). Desta forma, para se obter o tempo de 20 minutos de contato do $Ca(NO_3)_2$ com o esgoto, os pontos de aplicação foram nas EEE precedentes a EEE Menino Deus, ou seja, na EEE Patrícia, EEE Santa Rosa e EEE Canguiri (Tabela 01). Enquanto que o ponto de coleta e avaliação no meio líquido foi o afluente da ETE Atuba Sul, por se tratar da ETE que recebe alimentação da EEE Menino Deus. As características das EEEs do estudo estão dispostas na Tabela 01.

Tabela 01: Características das EEE do estudo.

Sistema	Vazão média ($L.s^{-1}$)	Extensão da rede de recalque (m) até EEE Menino Deus
EEE Patrícia	21,10	1.218
EEE Santa Rosa	10,90	3.180
EEE Canguiri	25,30	1.541
EEE Menino Deus	100,00	–

Fonte: Os autores (2020)

Foi instalado um sistema de dosagem do $Ca(NO_3)_2$ em cada EEE precedente à EEE Menino Deus, conforme Figura 02. Cada sistema foi composto por contêineres de 1000 L desta solução com concentração de 50%, os quais foram interligados, formando um sistema de vasos comunicantes. O controle de nível do produto foi realizado por meio de um sensor.

Para otimização de sua dosagem, iniciou-se com $240 L.d^{-1}$, conforme descrito por Costa et al. (2017). Contudo, foi aplicada uma redução progressiva de dosagem até a otimização.

Figura 01: Pontos de aplicação de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$.



Fonte: Google Earth (2020)

Figura 02: Contêineres de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ na EEE Patrícia.



Fonte: Os autores (2020)

As medições dos gases de emissão fugitiva foram realizadas em dois momentos, ou seja, com e sem a aplicação de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$. Os aparelhos utilizados foram: *JEROME 631-X* (Instrumentos do Arizona, EUA) com limite de detecção de 0 a 50 ppm e o detector

de gases *GasAlert Micro 5* (BW Technologies) com limite de detecção de 0 a 100 ppm.

O monitoramento e mapeamento de dispersão de gases foram realizados de acordo com Hobson e Yang (2000), com medições das concentrações de gases em determinados pontos por um período de tempo. A técnica de mapeamento utilizada foi a de gradeamento, onde o local de estudo foi dividido em retângulos e suas arestas foram tomadas como ponto de amostragem. Foram mostrados 17 pontos em triplicata, à altura de 1,20m, totalizando 51 dados amostrados em cada campanha de medição. Depois da coleta dos dados, foi utilizado o *software ArcMap*, versão 10.6, para reproduzir as curvas de concentração do gás.

As análises físico-químicas realizadas duas vezes por semana no esgoto sanitário da rede foram DQO, pH e nitrogênio total. Todas as etapas de coleta, preservação, transporte e armazenamento das amostras foram executadas em conformidade com o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012).

As análises de DQO e nitrogênio total foram realizadas com o auxílio de kits da marca *Hach*®, aprovado pela *United States Environmental Protection Agency* (USEPA). Para DQO os kits utilizados apresentavam faixa de detecção de 20 a 1.500 mg.L⁻¹ e para nitrogênio total de 2 a 150 mg.L⁻¹. Já a análise de pH foi realizada de acordo com o método 4.500 H⁺ do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012).

Para as medições de H₂S na atmosfera, foi utilizado um medidor *online*, denominado *myDatasensmini H₂S*, da marca *Microtronics*®, com limite de detecção entre 0 e 1000 ppm, o qual foi instalado no poço da EEE Menino Deus. O medidor *online* registrou e enviou em tempo real (cada 15min) os dados de concentração do gás, via GSM, a uma plataforma de arquivamento de dados, cujo acesso foi disponibilizado via internet com controle de senhas de acesso.

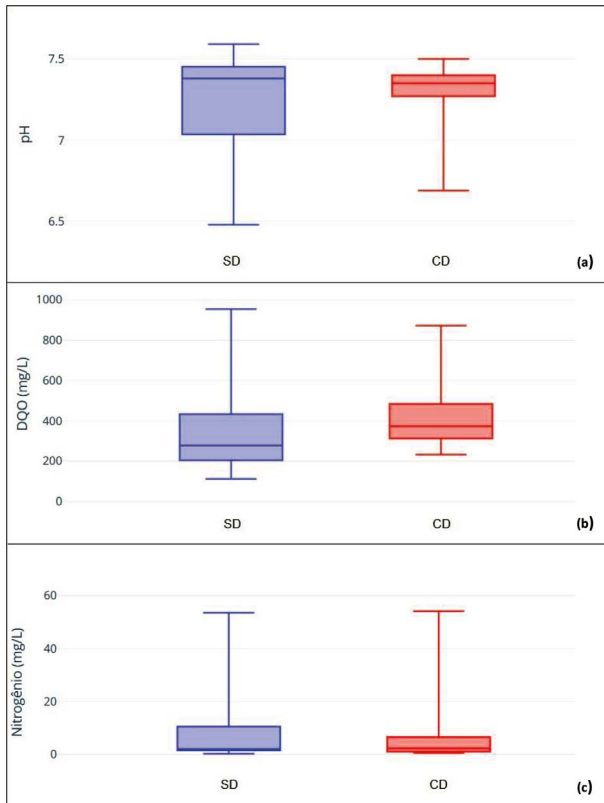
Como análise prévia, visando avaliar o comportamento de cada parâmetro ao longo do tempo, utilizou-se análise das séries

temporais. Além disso, em todos os testes e avaliações, considerou-se o nível de confiança de 95% ($\alpha = 0,05$) e o desvio padrão como incerteza de medição.

Resultados e discussão

Os resultados das análises físico-químicas de pH, DQO e nitrogênio do esgoto efluente da EEE Menino Deus estão apresentados na Figura 03.

Figura 03: Resultados das análises físico-químicas de pH, DQO e nitrogênio do esgoto efluente da EEE Menino Deus.



Nota: SD – sem dosagem e CD – com dosagem.

Fonte: Os autores (2020)

O pH (Figura 03a) médio do período sem dosagem (SD) foi de $(7,24 \pm 0,29)$, já para o período com dosagem (CD) foi de $(7,32 \pm 0,15)$. Esses valores estão próximos da faixa de 6,8 a 7,2 indicada por Chernicharo (2011) como ideais para reatores anaeróbios e, também, atendem aos padrões fixados pela Resolução Conama nº 430/2011 que prevê variações entre 5 a 9.

O valor médio de DQO (Figura 3b) no período sem dosagem (SD) foi de $(349,44 \pm 231,42)$ mg.L⁻¹, já para o período com dosagem (CD) foi de $(402,83 \pm 152,84)$ mg.L⁻¹. De acordo com Metcalf e Eddy (2014) os valores de DQO enquadram o esgoto na classificação como médio, o que é próprio para tratamento anaeróbio.

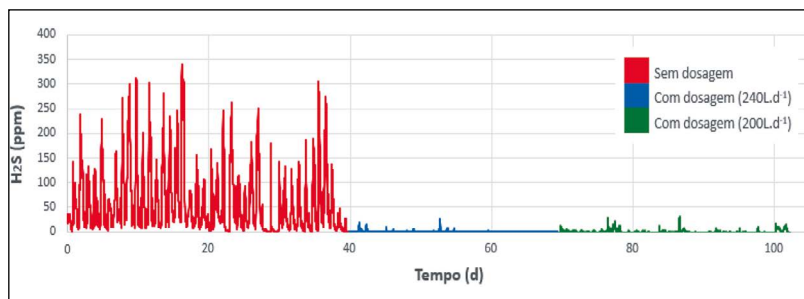
O teor médio de nitrogênio (Figura 03c) para o período sem dosagem (SD) foi de $(11,12 \pm 18,83)$ mg.L⁻¹, já para o período com dosagem (CD) foi de $(8,32 \pm 16,22)$ mg.L⁻¹. Desta forma, a baixa variação entre os tratamentos SD e CD evidencia que não houve residual de nitrogênio no esgoto e que provavelmente este foi consumido e atuou na mitigação de odores na rede. De acordo com Park et al. (2014), quando $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ é adicionado ao esgoto, a reação de consumo gera formas gasosas de N; uma vez que o N gasoso não foi quantificado, sugere-se que a rota teórica de desnitrificação explicaria a manutenção dos teores de N total do efluente semelhantes ao do afluente.

Portanto, por meio dos dados obtidos foi possível verificar que a dosagem de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ visando o controle de odores em rede de esgotamento sanitário não influenciou significativamente em termos operacionais o efluente da EEE Menino Deus, uma vez que os parâmetros avaliados apresentaram médias semelhantes entre os tratamentos SD e CD e ainda estão dentro, ou pelo menos muito próximos, da banda de confiança de 95% construída para todos os tratamentos em avaliação.

A Figura 04 refere-se ao monitoramento *online* de H_2S no poço da EEE Menino Deus, onde é possível observar que no período sem dosagem de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, a emissão média de H_2S foi de 60 ppm com picos de 340 ppm. Já no período com dosagem de

$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ a 240 L.d^{-1} , foi obtida uma emissão média de H_2S de 0,30 ppm com picos máximos de 27 ppm e, na dosagem otimizada de 200 L.d^{-1} , a emissão média de H_2S foi de 1,20 ppm com picos máximos de 31 ppm. Na condição otimizada, tendo em vista a característica de dispersão do gás, é possível afirmar que a aplicação de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ apresentou eficiência média de redução de 98% na emissão de odores em rede de esgotamento sanitário.

Figura 04: Resultado das medições de H_2S *online* no poço de entrada da EEE Menino Deus.



Fonte: Os autores (2020)

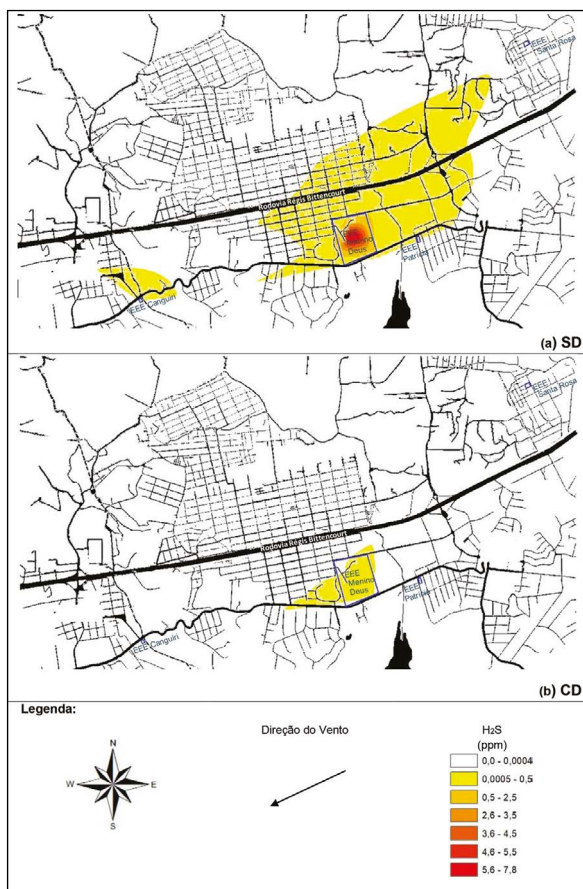
Na Figura 05 está representada a dispersão de H_2S na EEE Menino Deus, EEE Patrícia, EEE Canguiri, EEE Santa Rosa e também no entorno das EEE.

No período em que não houve aplicação de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ nas EEE (Figura 5a), é possível verificar que a EEE Menino Deus é o maior ponto de emissão de H_2S , estando na faixa de 5,5 a 7,8 ppm. Ainda, na EEE Menino Deus, foi identificada como a principal fonte de odor o canal de entrada de efluente na EEE. Contudo, no período sem dosagem de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, o H_2S também foi detectado na EEE Canguiri, EEE Patrícia e entorno das respectivas EEE na ordem de 0,0005 a 0,5 ppm. A única EEE que não apresentou emissão de H_2S foi a EEE Santa Rosa e tal fato se deve, provavelmente, às características da rede que a abastece.

Por sua vez, no período quando ocorreu a aplicação de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ nas EEE (Figura 05b), é possível verificar que o H_2S foi

detectado na EEE Menino Deus e seu entorno, estando o H_2S na faixa de concentração de 0,0005 a 0,5 ppm. Assim, segundo Park et al. (2014), o teor de H_2S na EEE e no entorno, pode ser perceptível e encontra-se abaixo dos teores que podem gerar desconforto ou danos à saúde.

Figura 05: Resultado das medições de dispersão H_2S na EEE Menino Deus, EEE Patrícia, EEE Canguiri, EEE Santa Rosa e também no entorno das EEEs.



Nota: SD – sem dosagem e CD – com dosagem

Fonte: Os autores (2020)

Essa característica da dispersão encontrada deve-se provavelmente à direção dos ventos, topografia e vegetação do local. Cabe destacar que a análise de dispersão realizada foi pontual, podendo apresentar variações ao longo do tempo. E, portanto, por meio dos dados apresentados nas Figuras 05a e 05b, foi possível verificar que a dosagem de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, visando ao controle de odores em rede de esgotamento sanitário, promoveu uma redução de 86% na dispersão de H_2S e, tal fato, corrobora com as medições *online* apresentadas na Figura 04.

Considerações finais

Por meio dos dados obtidos, foi possível concluir que a dosagem de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, visando ao controle de odores em rede de esgotamento sanitário, não influenciou significativamente em termos operacionais o efluente da ETE Menino Deus, uma vez que os parâmetros avaliados de DQO, pH e nitrogênio apresentaram médias semelhantes entre os tratamentos SD e CD e, ainda, não apresentaram diferença estatística significativa. Desta forma, cabe destacar que a baixa variação de nitrogênio entre os tratamentos SD e CD evidencia que não houve residual deste composto no esgoto e que provavelmente este foi consumido e atuou na mitigação de odores na rede.

A dosagem otimizada obtida para a mitigação de H_2S na rede em estudo foi de 200 L.d^{-1} e apresentou eficiência de remoção de 98% de H_2S da atmosfera. Tal fato, corrobora com os dados obtidos para a análise de dispersão do gás odorante, onde a redução foi de 86% na dispersão de H_2S na ETE Menino Deus e seu entorno.

Diante do exposto, conclui-se que a utilização de nitrato de cálcio para o controle de odores em rede de esgotamento sanitário mostrou-se eficiente na redução da emissão de H_2S , na diminuição do efeito *Nimby* (*not in my backyard*) e na melhoria da convivência harmônica entre a ETE e a sua vizinhança. Por consequência, a utilização deste processo apresenta-se como uma boa alternativa para a gestão de emissões odorantes em sistemas de esgotamento sanitário.

Referências

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION; WATER ENVIRONMENT FEDERATION. **Standard Methods for Examination of Water and Wastewater**, 22. ed. Washington: Publication Office American Public Health Association, APHA, AWWA, WEF, 2012.

CHEN, J. et al. Reducing H_2S production by O_2 feedback control during largescale sewage sludge composting. **Waste Management**. v. 31, n. 1, p. 65–66, jan. 2011.

CHERNICHARO, C. A. L. **Reatores Anaeróbios. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. 2. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2011.

CHERNICHARO, C. A. L. et al. Contribuição para o aprimoramento de projeto, construção e operação de reatores UASB aplicados ao tratamento de esgoto sanitário – Parte 1: Tópicos interessantes. **Revista DAE – edição especial**. v. 66, n. 214, p. 5–6, nov. 2018.

CHURCHILL, P.; ELMWE, D. Hydrogen Sulfide odor control in Wastewater Collection Systems. **Newea Journal**. v. 33, n. 1, p. 57–63, mai. 1999.

COSTA, F. J. O. G. et al. Avaliação dos impactos da aplicação de H_2O_2 no controle de odor em efluente de reatores anaeróbios. In: 5º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente, Bento Gonçalves-RS. **Anais**, p. 1–7, 2016.

COSTA, F. J. O. G. et al. Aplicação de nitrato de cálcio em rede de esgotamento sanitário na mitigação de odores. In Congresso ABES/Fenasan, São Paulo-SP. **Anais**, p. 1–6, 2017.

GODOI, A. F. L. Et al. Human exposure to hydrogensulphide concentrations near wastewater treatment plants. **Science of the Total Environment**. v. 610–611, p. 583–590, ago. 2018.

GUTIERREZ, O. et al. Iron salts dosage for sulfide control in sewers induces chemical phosphorus removal during wastewater treatment. **Water Research**, v. 44, n. 11, p. 3467–3475, jun. 2010.

HAO, T. et al. A review of biological sulfate conversions in wastewater treatment. **Water Research**. v. 65, p. 1-21, nov. 2014.

HOBSON, J.; YANG, G. The ability of selected chemicals for suppressing odour development in rising mains. **Water Science and Technology**. v. 41, n. 6, p. 165-173, mar. 2000.

JIANG, G.; SHARMA, K. R.; YUAN, Z. Effects of nitrate dosing on methanogenic activity in a sulfide-producing sewer biofilm reactor. **Water Research**. v. 47, n. 5, p. 1783-1792, abr. 2013.

MADEIROS, H.; GRIGIO, A.; PESSOA, Z. Desigualdades e justiça ambiental: um desafio na construção de uma cidade resiliente. **Revista de Geografia e Ordenamento do Território**, n. 13, p. 247-265, jun. 2018.

MATHIOUDAKIS, V. L.; VAIPOPOULOU, E.; AIVASIDIS, A. Addition of Nitrate for odor Control in Sewer Networks: Laboratory and Field Experiments. **Global NEST Journal**. v. 8, n. 1, p. 37-42, set. 2006.

METCALF & EDDY, Inc. **Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse**. 5. ed., New York: McGraw-Hill International Editions, 2014.

PADHI, R. K.; SUBRAMANIAN, S.; SATPATHY, K. K. Formation, distribution, and speciation of DBPs (THMs, HAAs, ClO_2^- , and ClO_3^-) during treatment of different source water with chlorine and chlorine dioxide. **Chemosphere**. v. 218, p. 540-555, mar. 2019.

PARK, K. et al. Mitigation Strategies of Hydrogen Sulphide Emission in Sewer Networks – A review. **International Biodeterioration & Biodegradation**. v. 95, n. A, p. 251-252, nov. 2014.

SENA, H. C. Controle de corrosão e odor em sistemas de esgoto sanitário com aplicação de produtos químicos. **Revista técnica do tratamento de água e efluentes**. v. IV, n. 23, p. 36-43, fev. 2015.

TALAEKHOZANI, A. et al. An overview of principles of odor production, emission, and control methods in wastewater collection and treatment systems. **Journal of Environmental Management**. v. 170, n. 1, p. 186-206, abr. 2016.

WANG, L et al. Potential risk assessment of heavy metals in sediments during the denitrification process enhanced by calcium nitrate addition: Effect of AVS residual. **Ecological Engineering**. v. 87, p. 333-339, fev. 2016.

WATER ENVIRONMENT FEDERATION. **Control of odors and emissions from wastewater treatment plants: manual of practice 25**. 25. ed. Alexandria: Water Environment Federation. 2004.

ZHANG, L. et al. Chemical and biological technologies for hydrogen sulfide emission control in sewer systems: a review. **Water Research**. v. 42, n.1-2, p. 1 – 12, 2008.

ZHANG, X. L. et al. Odor control in lagoons. **Journal of Environmental Management**. v. 124, p. 62-71, jul. 2013.

Capítulo 21

LODO TRATADO DE ESGOTO COMO AGREGADO MIÚDO NA PRODUÇÃO DE PAVERS

Luiz Henrique Fujisao da Silva
Elaine Carvalho da Paz (or)

Introdução

A Lei Federal nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, referente ao Saneamento Básico, fixa a universalização ao acesso a este serviço, o qual abarca o abastecimento de água, o esgotamento sanitário, a gestão de resíduos sólidos (RS) e a drenagem urbana, indicando a obrigatoriedade de disposição final adequada dos resíduos gerados nos processos executivos de saneamento (BRASIL, 2007).

O lodo tratado é um dos resíduos gerados no processo de tratamento de esgotos domésticos, sendo sua destinação um dos principais problemas do processo de tratamento (JORDÃO e PESSÔA, 2011). Como destinação final, o lodo é levado a aterros sanitários e sistemas de incineração (JORDÃO e PESSÔA, 2011), ou ainda, reutilizado como insumo agrícola e industrial (LUCENA et al., 2016; JORDÃO e PESSÔA, 2011; NUVOLARI, 2003).

O crescimento populacional vem imprimindo a necessidade de implantação de novos sistemas de tratamento de esgotos domésticos ou ampliação de plantas de tratamento em operação e, conseqüentemente, aumento da quantidade de lodo. Estima-se, em média, que cada ser humano produza

cerca de 120 gramas de sólidos secos diários lançados nas redes de esgoto (IWAKI, 2018).

No Brasil, o descarte ainda é normalmente realizado em aterros sanitários, o que agrava o problema com lixo urbano e vai contra a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) – Lei Federal nº 12.305/2010 –, a qual prevê a redução de RS urbanos úmidos dispostos em aterros sanitários (BRASIL, 2010).

Vários estudos apresentam alternativas de reutilização de diversos resíduos para fabricação de peças de concreto para pavimentação, como resíduos de ETA (lodo tratado) na confecção de pavimento intertravado tipo *paver* (ARAÚJO, 2017). Ou seja, a reutilização do lodo tratado, como material incorporado na fabricação de artefatos e peças de concreto ou cerâmica, vem se tornando uma alternativa sustentável *E-Cycle* (FONTES et al., 2016).

A Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar), que detém a concessão do Sistema de Esgotamento Sanitário (SES) da cidade de Londrina-PR, atualmente encaminha o lodo tratado em Unidade de Gerenciamento de Lodo (UGL), gerado pelas estações de tratamento de esgoto em operação, para um aterro sanitário.

Nesse sentido, este capítulo apresenta uma pesquisa sobre uma alternativa de destinação de lodo tratado de esgoto, no caso, para fabricação de peças de concreto para pavimentação intertravada de calçadas e pavimentos com tráfego leve, comercialmente conhecidos como *pavers*. Podem ser citados como benefícios desta proposta: (1) menor custo na fabricação das peças de concreto, considerando que haverá redução do consumo de recursos naturais; (2) redução do resíduo de ETE enviado ao aterro sanitário; (3) redução do volume de lodo tratado estocado na UGL. Ainda, como objetivos específicos, busca-se determinar o traço mais adequado para incorporação do lodo tratado ao concreto de fabricação de *pavers* e a análise da resistência característica da compressão do material.

Lodo de esgoto versus pavers

O lodo de esgoto é um RS ou semissólido, denominado lodo digerido, resultante do processo de tratamento de esgotos,

composto de substâncias minerais e orgânicas separadas durante o processo de tratamento (IMHOFF e IMHOFF, 1986; AZEVEDO NETTO e HESS, 1970).

O lodo digerido tratado é composto do lodo primário, gerado a partir da sedimentação de material particulado do esgoto afluente do sistema de tratamento, e do lodo secundário ou biológico, gerado no reator biológico, constituído de sólidos não-biodegradáveis e massa bacteriana (CAMPOS, 1999). Ele pode ser considerado o resíduo final no processo de tratamento de esgotos domésticos, podendo ser encaminhado para disposição final em aterros sanitários e sistemas de incineração (JORDÃO e PESSÔA, 2011).

O lodo tratado pode, também, ser reutilizado em usos agrícolas, como por exemplo, na aplicação direta para determinados cultivos e áreas de reflorestamento, adição em fertilizantes Organominerais e restauração de áreas degradadas. Como usos industriais, pode-se citar a incorporação do lodo tratado na produção de agregado miúdo para a construção civil e de agregado leve para base e sub-base de pavimentação asfáltica, bem como na fabricação de artefatos e peças de concreto ou cerâmica (LUCENA et al., 2016; JORDÃO e PESSÔA, 2011; NUVOLARI, 2003).

O destino final do lodo tratado tem se apresentado como um dos principais problemas do sistema de tratamento de esgotos domésticos, no qual, a decisão final deve considerar os aspectos técnicos (condicionamento e estabilização), econômicos (custos de transporte e tecnologia disponível) e ambientais (riscos de incineração e impactos de disposição em aterro sanitário, por exemplo) (JORDÃO e PESSÔA, 2011).

Com relação aos aspectos técnicos, uma das problemáticas a ser considerada é a estabilização do lodo, pois o mesmo apresenta uma elevada concentração de organismos patogênicos. Com relação aos econômicos, é o teor de sólidos que atenda à legislação vigente e o sistema de disposição final pretendido, que podem demandar a necessidade de utilização de processos mecanizados, químicos ou térmicos, agregando custo adicional ao sistema de

tratamento de esgotos domésticos. Com relação aos aspectos ambientais, uma das problemáticas a ser considerada seria a disposição em aterros sanitários de lixo urbano, que, dependendo de sua composição, pode comprometer o sistema de drenagem do aterro, ou ainda, incorporar concentrações elevadas de metais, dependendo do tipo de contribuição do esgoto, por exemplo, no caso de UGL, de ETE, que recebe lodo tratado de uma Estação de Tratamento de Água (ETA) (LUCENA et al., 2016; JORDÃO e PESSÔA, 2011; CONAMA, 2006).

Para que o lodo possa ser reutilizado, o seu processo de tratamento precisa garantir sua estabilidade biológica, qualidade higiênica e redução do teor de água (CAMPOS, 1999).

A reutilização do lodo tratado na fabricação de artefatos e peças de concreto ou cerâmica vem se tornando uma alternativa atrativa nos aspectos econômico e ambiental, sendo uma alternativa sustentável *E-Cycle*, por exemplo, a incorporação de lodo tratado em concreto (FONTES et al., 2016). Lucena et al. (2016), em pesquisa de aplicação conjunta de lodo tratado de ETA e lodo tratado de ETE em sub-bases e base de pavimento de tráfego leve, recomenda uma taxa de aplicação de 20% do lodo de ETA e 10% do lodo de ETE, em substituição ao material importado de jazidas.

Areias et al. (2017) avalia a incorporação de lodo tratado de ETE na produção de cerâmica vermelha e conclui que este tipo de resíduo deve ser incorporado em pequenas quantidades para este tipo de material (quantidade de até 2,5% em peso), sob pena de comprometer as propriedades físicas e mecânicas da cerâmica.

Para fabricação de blocos cerâmicos, é recomendada a adição de lodo tratado de ETE até 25% da massa da argila, considerando os parâmetros das normas vigentes de fabricação de blocos cerâmicos como elementos de vedação (SILVA et al., 2015). Fontes (2016) verifica que a incorporação de cinza de lodo de esgoto tratado em concretos de alto desempenho, produz refinamento na estrutura de poros do concreto, o que dificulta a percolação de agentes externos agressivos, contribuindo, assim, para o aumento da durabilidade do concreto.

A calcinação do lodo é uma alternativa para incorporação deste material como agregado miúdo na produção de concretos, sendo recomendadas as taxas de aplicação de 5%, 10% e 15% de lodo calcinado (PAZ JÚNIOR et al., 2018). Vários estudos apresentam alternativas de reutilização de diversos resíduos para fabricação de peças de concreto para pavimentação, como resíduos de borracha de pneus inservíveis, resíduos da construção civil (alvenaria, madeira, blocos cerâmicos e outros), resíduos de ETA (lodo tratado) (ARAÚJO, 2017; SOUZA e MORAES, 2017; SILVA et al., 2016).

O pavimento intertravado de concreto foi introduzido no Brasil a partir da década de 70. Originado na Europa do pós-guerra, os pisos intertravados tipo *pavers* são peças de concreto produzidos através de processos mecânicos de baixo custo, com qualidade controlada e alto desempenho mecânico. Este tipo de pavimento apresenta um custo de fabricação e construtivo inferior, quando comparado com alternativas em pavimento flexível e rígido, o que o torna um material competitivo comercialmente. Dentre as principais vantagens de utilização de *pavers* em pavimentos, pode-se citar: 1) durabilidade, com vida útil média de 25 anos, quando aplicado, bem como, sua estocagem pode ser efetuada por longos períodos; 2) resistência mecânica e química, no que diz respeito à resistência à compressão, abrasão e ataque de agentes agressivos; 3) facilidade construtiva, não necessitando de mão-de-obra especializada e rapidez na montagem; 4) permeabilidade, pois trata-se de um material parcialmente permeável; 5) manutenção de baixo custo (T & A BLOCOS E PISOS, 2004).

Na produção dos *pavers*, os materiais constituintes normalmente são: a areia natural e/ou artificial, pedrisco com dimensão máxima de 9,50 mm, cimento Portland que atenda às especificações das normas técnicas brasileiras, aditivos químicos, água e pigmentos. A dimensão máxima dos agregados utilizados em uma dosagem de *pavers* deve ficar entre 6 e 12 mm, não sendo admitida a presença de impurezas orgânicas (SHACKEL, 1990).

Para a produção de *pavers* ecológicos com lodo de esgoto, é necessário obter um lodo higienizado e estabilizado. Segundo

Von Sperling e Gonçalves (2001), o principal objetivo do processo de higienização do lodo é reduzir o nível de patógenos a valores aceitáveis. Já, a estabilização, visa atenuar os maus odores no tratamento e no manuseio do lodo.

A metodologia de dosagem utilizada para produção de *pavers* convencionais depende do tipo de técnica de produção adotada. A maioria das fábricas utiliza vibro-prensas, requerendo concretos de consistência seca e coesão suficiente para se manterem íntegros até seu endurecimento, sem sofrer desmoronamentos ou quebra de arestas. A coesão da mistura é obtida, principalmente, em função da correta quantidade de finos em conjunto com a vibração e pressão de adensamento exercidas pelo equipamento no momento da moldagem dos *pavers* (TETRACON, 2019).

Existe, também, o método de produção de peças tipo dormido. As peças dormidas são produzidas de forma manual. Neste processo, o concreto é lançado nas fôrmas, com um processo de cura de 24 horas para desmoldagem. Como os moldes são de plástico, aço ou fibra, este processo gera peças com um acabamento superficial mais liso, resultando em uma aparência estética mais agradável (FERNANDES, 2013).

Materiais e métodos

Para o desenvolvimento deste estudo, foi utilizado o estudo de caso com aplicação experimental em escala laboratorial. Os *pavers* foram confeccionados pelo método de produção tipo dormido e as matérias primas utilizadas na fabricação são apresentadas na Tabela 01.

O lodo seco de esgoto, higienizado e estabilizado (Figura 01), foi aplicado como agregado miúdo em substituição de uma fração da areia média, na produção dos *pavers*.

Neste caso, o lodo de esgoto foi tratado por caleação, que é um processo químico que envolve a adição de cal virgem (óxido de cálcio) ao lodo de esgoto. O percentual de mistura foi de 30% de óxido de cálcio (CaO) e mais 10% para alcalinização, em relação ao peso seco do lodo, seguido do armazenamento do material resultante por um período de 90 dias. Não foram realizados

ensaios para caracterização físico-química, bacteriológica ou cromatográfica do lodo.

Tabela 01: Matérias primas para fabricação dos *pavers*.

Matéria prima	Características
Cimento CP-II Z 32 Pedrisco ou Brita 0 Pó de Pedra Areia Média Lodo Seco de Esgoto Água	Aglomerante, com 6 a 4% de pozolana e até 10% de material carbonático Agregado graúdo, granulometria de 4,80 a 9,50 mm Agregado graúdo, granulometria < 4,80 mm, pó de brita Agregado miúdo, granulometria de 0,20 a 0,60 mm Higienizado a 30% de cal virgem e estabilizado a 10% de alcalinizante Hidratante e agente espessante, isenta de impurezas

Fonte: Os autores (2020)

Figura 01: Lodo de esgoto higienizado e estabilizado.



Fonte: Os autores (2020)

A mistura dos materiais foi realizada pelo método experimental. Estudo de Rodrigues (1995) afirma ser uma das maneiras práticas para determinar rapidamente o traço do concreto (maneira prática de indicar a proporção dos componentes do concreto, podendo ser em massa ou volume). Esse método deve ser realizado quando não for possível contar com os recursos de laboratório, que são capazes de proceder à dosagem do concreto.

Trata-se de um método simplificado e, como tal, apresenta menor precisão, compensada por uma dosagem de cimento Portland superior.

Com base no método experimental de dosagem, foram adotados dois tipos de traços em volume utilizados na maioria das fábricas de *pavers* da região de Londrina-PR, sendo um deles mais econômico, por considerar um menor consumo de cimento, a saber:

- Traço com menor consumo de cimento em volume (1 : 2,25 : 2,75), ou seja: 1 parte de cimento, 2,25 partes de agregado graúdo (pedrisco com 50% de pó de pedra e pedrisco sem pó de pedra), 2,75 partes de agregado miúdo (areia com lodo seco de esgoto variando de 0 a 100%).
- Traço com maior consumo de cimento em volume (1 : 1,50 : 1,50), ou seja: 1 parte de cimento, 1,50 partes de agregado graúdo (pedrisco com 50% de pó de pedra e pedrisco sem pó de pedra), 1,50 partes de agregado miúdo (areia com lodo de esgoto variando de 0 a 100%).

Figura 02: Mistura de areia Média com lodo seco de esgoto.



Fonte: Os autores (2020)

No intuito de determinar o traço mais adequado para incorporação do lodo seco de esgoto ao concreto de fabricação dos *pavers*, foram ensaiados cinco traços com base nas proporções

descritas anteriormente. O consumo de cimento e agregados graúdos (pedrisco e pó de pedra) permaneceu fixo em todos os traços. Na dosagem do agregado graúdo, foi definido um lote com 50% de pedrisco e 50% de pó de pedra, e outro lote com 100% de pedrisco. Já, para a dosagem do agregado miúdo (areia e lodo seco de esgoto), a incorporação de lodo variou de 0% a 100% (Figura 02).

As Tabelas 02, 03, 04 e 05 apresentam as composições dos traços em volume, utilizados para confecção de duas peças de *paver* por traço.

Tabela 02: Traços 1 e 2 sem pó de pedra (1 : 2,25 : 2,75) em volume (litros).

% DE LODO	AGLOMERANTE	AGREGADO GRAÚDO		AGREGADO MIÚDO		RELAÇÃO ÁGUA/ CIMENTO
	Cimento	Pedrisco	Pó de Pedra	Areia Média	Lodo seco	
0	0,6000	1,3500	-	1,6500	-	0,9000 a 1,0000
50	0,6000	1,3500	-	0,8250	0,8250	0,9000 a 1,0000
100	0,6000	1,3500	-	-	1,6500	0,9000 a 1,0000

Fonte: Os autores (2020)

Tabela 03: Traço 3 com pó de pedra (1 : 2,25 : 2,75) em volume (litros).

% DE LODO	AGLOMERANTE	AGREGADO GRAÚDO		AGREGADO MIÚDO		RELAÇÃO ÁGUA/ CIMENTO
	Cimento	Pedrisco	Pó de Pedra	Areia Média	Lodo seco	
0	0,6000	0,6750	0,6750	1,6500	-	0,9000 a 1,0000
25	0,6000	0,6750	0,6750	1,2375	0,4125	0,9000 a 1,0000
50	0,6000	0,6750	0,6750	0,8250	0,8250	0,9000 a 1,0000
75	0,6000	0,6750	0,6750	0,4125	1,2375	0,9000 a 1,0000
100	0,6000	0,6750	0,6750	-	1,6500	0,9000 a 1,0000

Fonte: Os autores (2020)**Tabela 04:** Traço 4 sem pó de pedra (1 : 1,50 : 1,50) em volumes (litros).

% DE LODO	AGLOMERANTE	AGREGADO GRAÚDO		AGREGADO MIÚDO		RELAÇÃO ÁGUA/ CIMENTO
	Cimento	Pedrisco	Pó de Pedra	Areia Média	Lodo seco	
0	0,9000	1,3500	-	1,3500	-	0,7000 a 0,8000
50	0,9000	1,3500	-	0,6750	0,6750	0,7000 a 0,8000
100	0,9000	1,3500	-	-	1,3500	0,7000 a 0,8000

Fonte: Os autores (2020)

Tabela 05: Traço 5 com pó de pedra (1 : 1,50 : 1,50) em volumes (litros).

% DE LODO	AGLOMERANTE	AGREGADO GRAÚDO		AGREGADO MIÚDO		RELAÇÃO ÁGUA/ CIMENTO
	Cimento	Pedrisco	Pó de Pedra	Areia Média	Lodo seco	
0	0,9000	0,6750	0,6750	1,3500	-	0,7000 a 0,8000
25	0,9000	0,6750	0,6750	1,0125	0,3375	0,7000 a 0,8000
50	0,9000	0,6750	0,6750	0,6750	0,6750	0,7000 a 0,8000
75	0,9000	0,6750	0,6750	0,3375	1,0125	0,7000 a 0,8000
100	0,9000	0,6750	0,6750	-	1,3500	0,7000 a 0,8000

Fonte: Os autores (2020)

Figura 03: Montagem dos pavers.



Fonte: Os autores (2020)

A mistura foi efetuada de forma manual, com adição de água em pequenas quantidades, até a determinação do teor ótimo. Para os traços 1, 2 e 3, a relação água cimento variou entre 0,90 a 1,00. Já, para os traços 4 e 5, se situou entre 0,70 a 0,80.

No processo de moldagem das peças, foram utilizadas fôrmas plásticas semelhantes às que são utilizadas em fábricas de *pavers*. Cada fôrma possui capacidade para moldar simultaneamente 02 *pavers* retangulares, com dimensões de 10 x 20 x 6 cm (largura x comprimento x espessura), dimensões recomendadas pela Norma Brasileira NBR-9781/2013 para utilização em pavimentos de tráfego leve. Como observamos, a Figura 03 apresenta a etapa de moldagem dos *pavers*.

Na sequência, a Figura 04 apresenta a etapa de desmoldagem dos *pavers*.

Figura 04: Desmontagem dos *pavers*.



Fonte: Os autores (2020)

Os testes com os modelos produzidos foram ensaiados à compressão axial para avaliação da resistência, de acordo com o método descrito na Norma Brasileira NBR-9781/2013: Peças de concreto para pavimentação – Especificação e Métodos de Ensaio (ABNT, 2013).

Essa Norma Brasileira (NBR-9781/2013) apresenta quatro ensaios como condicionantes de análise da qualidade do *paver* fabricado, a saber: 1) determinação da resistência característica à compressão; 2) determinação da absorção de água; 3) determinação de resistência à abrasão e 4) avaliação dimensional.

Como se trata de pesquisa preliminar, buscou-se inicialmente a seleção de proporções adequadas para a mistura de concreto

com o lodo seco de esgoto. Foi considerado o cronograma de desenvolvimento da pesquisa e, optou-se por selecionar um dos ensaios para aplicação na pesquisa, a saber, o ensaio de Determinação da Resistência Característica à Compressão (DRCC), o qual é referenciado na maioria das normas internacionais e nacionais como um dos principais parâmetros na avaliação do desempenho dos *pavers*. Os demais ensaios serão objeto de futuros trabalhos.

O ensaio de DRCC foi executado no laboratório de engenharia civil do Centro Universitário Filadélfia (UNIFIL), localizado no município de Londrina-PR, seguindo o que preconiza o Anexo A da NBR-9781/2013. A Figura 5, a seguir, ilustra a efetivação deste ensaio.

Figura 05: Ensaio de resistência à compressão.



Fonte: Os autores (2020)

O equipamento utilizado foi do tipo prensa de compressão classe 1, previamente calibrado. Os *pavers* foram previamente saturados em água a 23 °C por 24 horas antes da efetivação do ensaio. O carregamento (carga de compressão) foi aplicado a uma taxa média de 550 kPa/s até a ruptura completa da peça. O cálculo da resistência à compressão foi efetuado utilizando-se a Equação 1, apresentada a seguir:

$$f_{pk,est} = (f_p - f_p) \times s \quad (01)$$

Onde,

$f_{pk,est}$ = resistência característica estimada à compressão [MPa]
 f_{ck} = resistência média das peças [MPa]

t = coeficiente de *Student* em função do tamanho da amostra
 s = desvio padrão da amostra [MPa]

Sendo,

$$s = \sqrt{[(\sum(f_p - f_{pi})^2) / (n - 1)]} \quad (2)$$

Onde,

f_p = resistência média das peças [MPa]

f_{pi} = resistência individual das peças [MPa] n = número de peças da amostra

Resultados e discussão

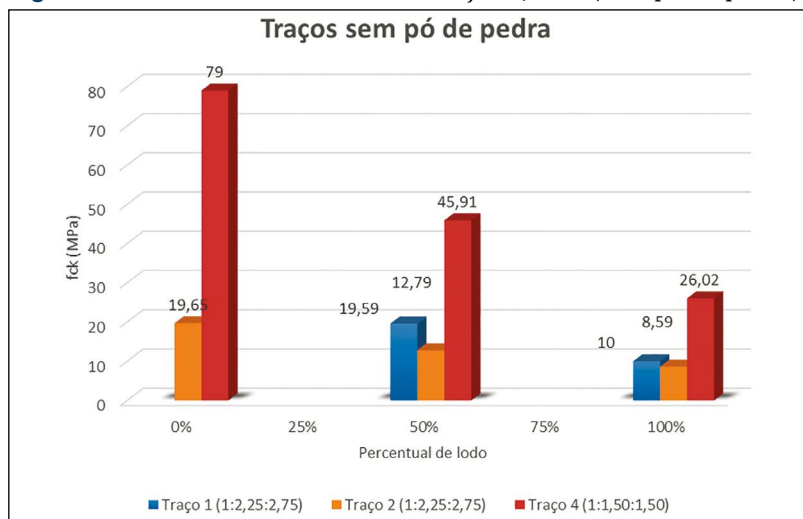
O gráfico da Figura 06, adiante, apresenta os resultados para o ensaio de resistência à compressão dos traços 1, 2 e 4, nos quais não foi utilizado o pó de pedra em sua composição.

Verifica-se que o concreto teve sua resistência à compressão alterada de forma inversamente proporcional à taxa de lodo seco de esgoto na mistura, ou seja, quanto maior a quantidade de lodo, menor foi a resistência característica estimada à compressão das peças ensaiadas.

A Figura 07, a seguir, apresenta os resultados para o ensaio de resistência à compressão dos traços 3 e 5, para os quais foi utilizado o pó de pedra em sua composição.

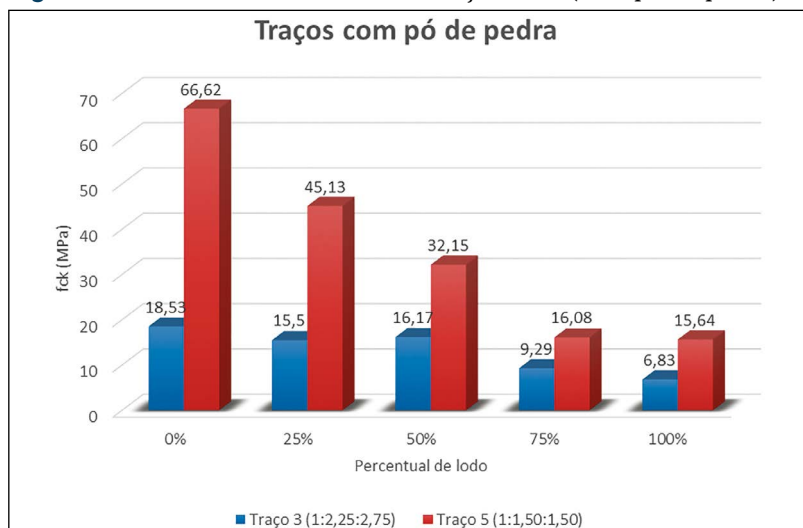
De forma análoga ao ensaio sem pó de pedra, o ensaio com adição de pó de pedra na composição da mistura, também apresentou relação inversamente proporcional da resistência à compressão do cimento, em relação à taxa de lodo seco de esgoto na mistura.

Figura 06: Resistências individuais traços 1,2 e 4 (sem pó de pedra).



Fonte: Os autores (2020)

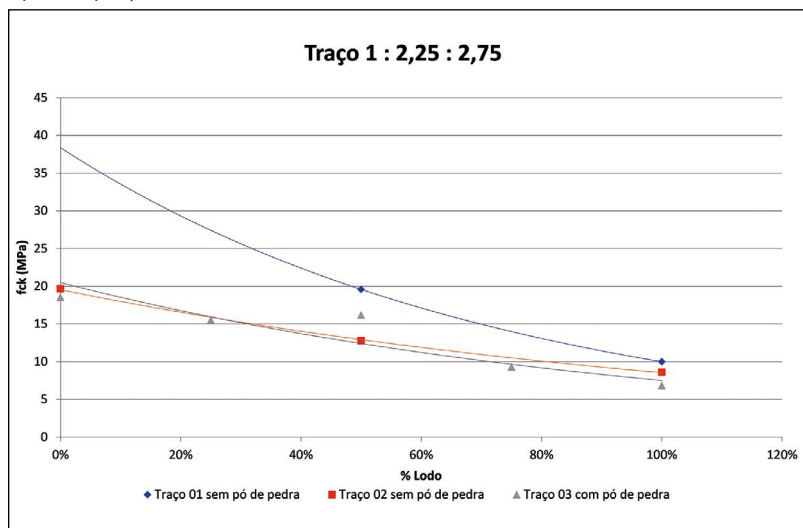
Figura 07: Resistências individuais traços 3 e 5 (com pó de pedra).



Fonte: Os autores (2020)

A Figura 08 apresenta, comparativamente, os resultados para o ensaio de resistência à compressão dos traços 1, 2 e 3, nos quais não foi utilizado o pó de pedra em sua composição, apenas os traços 1 e 2.

Figura 08: Curva de resistência à compressão traços 1, 2 e 3 (1 : 2,25 : 2,75).



Fonte: Os autores (2020)

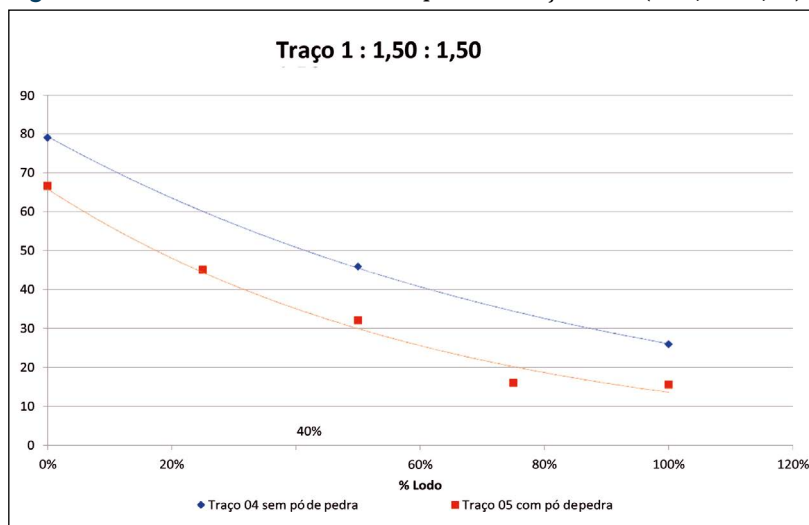
Na Figura 09, estão apresentados os resultados para os traços 4 e 5, nos quais não foi utilizado pó de pedra em sua composição, apenas o traço 4.

Da análise comparativa entre as composições dos traços 1, 2 e 3, com ou sem adição de pó de pedra, verificou-se que, as peças confeccionadas com traços sem lodo seco de esgoto e que possuíam pó de pedra em sua composição, apresentaram resistências características estimadas à compressão semelhantes às peças confeccionadas sem pó de pedra na composição de seu traço, com média de resistência de 19,09 MPa e desvio padrão de 0,79 MPa.

Para as peças confeccionadas com 50% de lodo seco de esgoto em sua composição, nos traços 1, 2 e 3, o melhor resultado

verificado foi para o traço 1 sem adição de pó de pedra em sua composição, com valor de resistência de 19,65 MPa. O traço 2 apresentou o pior resultado, 12,79 MPa.

Figura 09: Curva de resistência à compressão traços 4 e 5 (1 : 1,50 : 1,50).



Fonte: Os autores (2020)

O traço 3, confeccionado com lodo seco de esgoto e pó de pedra em sua composição, apresentou resistências de 18,53 MPa, 15,50 MPa, 16,17 MPa, 9,29 MPa e 6,83 MPa, para as porcentagens de lodo seco de esgoto de 0%, 25%, 50%, 75% e 100%, respectivamente, indicando decaimento da resistência de forma inversamente proporcional às porcentagens de lodo da mistura.

O traço 5, confeccionado com lodo seco de esgoto e pó de pedra em sua composição, apresentou resistências de 66,62 MPa, 45,13 MPa, 32,15 MPa, 16,08 MPa e 15,64 MPa, para as porcentagens de lodo seco de esgoto de 0%, 25%, 50%, 75% e 100%, respectivamente, indicando, de forma análoga ao traço 3, decaimento da resistência de forma inversamente proporcional às porcentagens de lodo da mistura.

Então, pode-se inferir que a mistura de pó de pedra com o lodo de esgoto, na composição do traço da peça, favorece a formação de maior porosidade do concreto, independentemente da quantidade de aglomerante no traço. Os traços 4 e 5, com maior consumo de cimento, atingiram a resistência característica mínima exigida pela Norma Brasileira NBR-9781/2013, a saber, de 35,00 MPa para tráfego de veículos leves e de pedestres, sem adição de lodo seco de esgoto, sendo a composição sem pó de pedra mais eficiente, tendo atingindo uma resistência de 79,00 MPa.

Com a adição do lodo seco de esgoto, apenas os *pavers* com 25% de lodo seco de esgoto (para os modelos com pó de pedra, traço 5) e 50% de lodo seco de esgoto (para os modelos sem pó de pedra, traço 4) atenderam ao valor recomendado pela Norma, com valores de 45,13 MPa e 45,91 MPa, respectivamente.

Portanto, pode-se inferir que a mistura com adição de pó de pedra, na composição do traço da peça, favorece a diminuição da resistência do concreto para peças de *paver*, independentemente da quantidade de aglomerante no traço.

Considerações finais

Este estudo possibilitou avaliar, preliminarmente, uma alternativa para destinação final do lodo tratado de esgoto, a saber, seu potencial de utilização como agregado miúdo na composição de concreto para fabricação de *pavers*, segundo o que preconiza a Norma Brasileira NBR-9.781/2013, em seu Anexo A – Determinação da Resistência Característica à Compressão.

Verificou-se que a adição de pó de pedra na composição do concreto para confecção de *pavers*, como agregado graúdo, considerando os traços ensaiados, não é indicada, pois confere redução da resistência à compressão da peça, independentemente da quantidade de aglomerante no traço.

O concreto teve sua resistência à compressão alterada de forma inversamente proporcional à taxa de lodo seco de esgoto na mistura, não sendo indicada a adição de taxas superiores a 50% de lodo seco de esgoto.

A mistura de pó de pedra com o lodo seco de esgoto, na composição do concreto, considerando os traços ensaiados, favorece a formação de maior porosidade do concreto, independentemente da quantidade de aglomerante no traço.

Os traços 4 e 5, com a adição do lodo seco de esgoto de 50% e de 25%, atenderam ao valor recomendado pela Norma, com valores de 45,91 MPa e 45,13 MPa, respectivamente. Assim, da avaliação do uso potencial do lodo tratado de esgoto como agregado miúdo na produção de *pavers*, verifica-se que há viabilidade de utilização do lodo tratado de esgoto como agregado miúdo na composição de concreto para fabricação de *pavers*, para utilização em pavimentos com tráfego leve. A faixa recomendada, para as taxas de aplicação do lodo seco de esgoto na composição do concreto é de 25% a 50%. A adição de pó de pedra, recomendada por alguns fabricantes de *pavers*, em mistura com o lodo seco de esgoto, deve ser revista, uma vez que esta mistura imprime decaimento da resistência à compressão, considerando que o lodo incorporado possui óxido de cálcio (CaO) em sua composição que poderá comprometer a hidratação do concreto. Os *pavers* que apresentaram resistência à compressão inferior a 35 MPa podem ser utilizados para outras finalidades, tais como, paisagismo, artesanato etc.

Os benefícios provenientes da adição de lodo de esgoto tratado implicam a redução do consumo de recursos naturais na fabricação de *pavers*. Com a redução de áreas necessárias para aterramento de resíduos; com a minimização de volume de resíduos estocados nas ETEs e com a redução da poluição.

Para futuros trabalhos, é sugerido que sejam feitos ensaios das demais condicionantes de análise da qualidade do *paver* fabricado, a saber, Determinação da Absorção de Água, Determinação de Resistência à Abrasão e Avaliação Dimensional, utilizando os melhores traços indicados nesta pesquisa (traços 4 e 5) e a faixa recomendada para taxa de lodo seco de esgoto de 25% a 50%.

Além disso, estima-se que a utilização de lodo de esgoto sem tratamento na composição do concreto, poderia influenciar no aumento da resistência dos corpos de prova. Sendo assim, a

cal virgem para higienização do lodo poderia resultar em uma redução na resistência à compressão e, consequentemente, na resistência à abrasão do concreto.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR-9781**: Peças de concreto para pavimentação – Especificação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2013.

ARAÚJO, F. de C. **Avaliação Técnica dos Resíduos Gerados em ETA como substituto parcial de Agregados em Componentes Cimentícios** – **PAVERS**. 2017. 89 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Goiás UFG,

AREIAS, I. O. R. et al. Incorporação de lodo da estação de tratamento de esgoto (ETE) em cerâmica vermelha. **Cerâmica**, v. 63, 2017, p. 343-349.

AZEVEDO NETTO, J. M. de; HESS, M. L. **Tratamento de Águas Residuárias**. 1. ed. São Paulo: DAE São Paulo, 1970.

BRASIL. Ministério das Cidades. **Lei Federal nº 11.445** – Lei do Saneamento Básico de 05 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências, 2007.

BRASIL. Casa Civil. **Lei Federal nº 12.305** de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências, 2010.

CAMPOS, J. R. **Tratamento de Esgotos Sanitários por Processo Anaeróbio e Disposição Controlada no Solo**. 1. ed. Rio de Janeiro: PROSAB / RECOPE, 1999. 464p.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 375** de 29 de agosto de 2006. Dispõe 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, 2006.

FERNANDES, I. D. **Blocos e Pavers – Produção e Controle de Qualidade**. 4. Ed. Ribeirão Preto: Treino Assessoria e Treinamentos Empresariais Ltda., 2013.

FONTES, C. M. A.; TOLEDO FILHO, R. D.; BARBOSA, M. C. Cinza de lodo de esgoto (CLE) em concretos de alto desempenho: caracterização e aplicação. **Revista Ibracon de Estruturas e Materiais**, v. 9, n. 6, 2016, p. 989-1006.

IMHOFF, K.; IMHOFF, K. R. **Manual de Tratamento de Águas de Residuárias**. 26. ed. São Paulo: Edgard Blücher Ltda., 1986.

IWAKI, G. **Destinação Final de Lodos de ETAs e ETE**. São Paulo: Portal Tratamento de Água, 2018. Disponível em: <<https://www.tratamentodeagua.com.br/artigo/destinacao-final-de-lodos-de-etase-etes/>>. Acesso em 22/07/2019.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, A. A. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 6. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2011.

LUCENA, L. C. et al. Characterization and Evaluation oh the Potential Use of Sludge from STP and WTO in Paving. **Journal of the Brazilian Association of Agricultural**, v. 36, n. 1, 2016, p. 166-178.

NUVOLARI, A. **Esgoto Sanitário – Coleta, Transporte, Tratamento e Reuso Agrícola**. 1. ed. São Paulo: Edgard Blücher Ltda., 2003.

PAZ JÚNIOR, J. G. da et al. **Substituição parcial do agregado miúdo do concreto pelo lodo calcinado da estação de tratamento de esgoto de Presidente Prudente**. Encontro Técnico AESABESP – FE-NASAN - 29º Congresso Nacional de Saneamento e Meio Ambiente, São Paulo, 2018, p. 1-5.

RODRIGUES, P. P. F. **BT-103. Fabricação de blocos pré-moldados de concreto para pavimentação**. 2 ed. São Paulo: ABCP, 1995.

SHACKEL, B. **Design and Construction of Interlocking Concrete Block Pavements**. 1 ed. New York: Elsevier Applied Science, 1990.

SILVA, A. P. da; CALDERARO, V. M.; CRUZ, G. da S.; GONÇALVES, E. P. G. Fabricação de pavimentos intertravados (*pavers*) utilizando resíduos de borracha de pneus inservíveis e resíduos da construção civil (RCC) como agregado miúdo. In: XX ENCONTRO LATINO AMERICANO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, XVI ENCONTRO LATINO AMERICANO DE PÓS-GRADUAÇÃO E VI ENCONTRO DE INICIAÇÃO À DOCÊNCIA, 2016, Vale do Paraíba. **Anais [...] Vale do Paraíba: UNIVAP, 2016, p. 1-6.**

SOUZA, B. H. Z. de; MORAES, G. C. de. **Produção de Blocos para Pavimentação Intertravada “Paver” com Agregados oriundos de demolição da construção civil.** 2017. 18 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil), Faculdade de Rondônia FARO, 2017.

T & A BLOCOS E PISOS. **Manual Técnico de Piso Intertravado de Concreto.** Fortaleza: T & A Blocos e Pisos, 2004.

TETRACON. Tetracon Especialistas em Pisos Intertravados. Goiânia: TETRACON, 2019. E-Book. Sem ISBN. Disponível em: <https://tetraconind.com.br/blog/concreto-ou-paver-qual-a-melhor-opcao-para-calcada/>. Acesso em 25/04/2020.

VON SPERLING, M.; GONÇALVES, R. F. **Lodo de esgotos: características e produção.** In: ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. (Org.) Lodo de esgotos: tratamento e disposição final. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG; Curitiba: SANEPAR, 2001.

Capítulo 22

POTENCIAL AGRONÔMICO DO LODO DE ESGOTO EM PATO BRANCO – PR

Diane Agustini
Tais Luzia Cadorin Peres
Adilson Ricken Schuelter

Introdução

A crescente preocupação ambiental relativa à gestão sustentável dos resíduos, aliada à demanda da sociedade pela manutenção e melhoria das condições ambientais, levou as empresas do setor de saneamento ao investimento e à expansão da coleta e tratamento do esgoto. Desta forma, foram implantadas melhorias nos processos de tratamento de esgoto, nos quais a parte sólida é separada da parte líquida, para que os corpos receptores possam receber o efluente tratado sem causar danos ao meio ambiente e à saúde da população (CORRÊA; FONSECA; CORREA, 2007).

O tratamento do esgoto promove a degradação da carga orgânica, gerando, ao final, um produto denominado lodo de esgoto (DAHMER, 2018), resíduo que para as empresas de saneamento tem sido um desafio quanto à sua destinação ambientalmente adequada. Porém, como forma de incentivo para a utilização de subprodutos do tratamento de esgoto, a *United States Environmental Protection Agency* (USEPA), denominou este produto de biossólido, possível de ser benéficamente utilizado ou reciclado em áreas

agrícolas, desde que não ocasione danos ambientais ou prejuízos para a saúde de animais e humanos (USEPA, 1995).

No Brasil, o Conama, por meio da Resolução nº 375/2006, define os critérios e procedimentos para a utilização dos lodos de esgoto na agricultura e determina, também, que os lodos gerados sejam submetidos a processos de redução de patógenos e da atratividade de vetores, para que possam ser utilizados na agricultura. No Estado do Paraná, em específico, a liberação do lodo de esgoto para finalidade agrícola encontra-se atrelada aos padrões estabelecidos pela Resolução SEMA nº 021/2009.

Em termos de utilização agrícola, o lodo de esgoto se caracteriza por promover modificações nas propriedades físicas do solo, o que inclui a redução da densidade, aumento da porosidade e da capacidade de retenção de água. De acordo com Malta (2001), o biossólido também melhora a fertilidade do solo, seja pelo incremento da matéria orgânica e suplementação de macro e micronutrientes essenciais, seja pelo aumento do pH que afeta diretamente a redução dos efeitos tóxicos do alumínio, estimulando o crescimento dos organismos no solo que promovem os elementos. Estudo realizado por Lobo et al. (2013), indicou que a aplicação do lodo de esgoto, associado ao sistema de rotação de cultura, promoveu incremento no rendimento de grãos e da matéria seca de diferentes espécies cultivadas.

Diante da importância do lodo de esgoto como alternativa para sua utilização na agricultura e da necessidade de gerenciar e fazer uma disposição correta do resíduo produzido, a Sanepar tem realizado, por meio de suas Estações de Tratamento de Esgoto (ETE), trabalho que tem beneficiado a comunidade de maneira geral. Nesse contexto, o município de Pato Branco-PR, com 82.881 habitantes (IBGE, 2019) e expressivo crescimento populacional, tem apresentado uma maior geração de resíduos, em especial de lodo de esgoto, pois conta com um índice de 82% de atendimento de rede coletora de esgoto. Ainda, trata em média 176 l/s de esgoto, gerando aproximadamente 169 t/ano de lodo de esgoto; o que revela a importância crescente de sua destinação correta.

Dessa forma, o estudo apresentado neste capítulo, tem como objetivo verificar o procedimento empregado para o atendimento dos parâmetros físicos, químicos e biológicos estabelecidos pela legislação, para uso agrícola do lodo de esgoto e avaliar o potencial agrônômico do biossólido produzido no período de 2013 a 2018 na ETE de Pato Branco-PR.

Utilização do lodo de esgoto na agricultura

Segundo a NBR 9648 (ABNT, 1986) esgoto sanitário é o despejo líquido constituído de resíduos de origem doméstica, resultante do uso da água para higiene e necessidades fisiológicas humanas; industrial – oriundo de processos industriais, respeitando-se os padrões de lançamentos; e as águas de infiltração – aquelas provenientes do subsolo, indesejáveis ao sistema separador e que penetram nas canalizações.

O lançamento de esgoto sem o devido tratamento nos corpos hídricos ocasiona diversas interferências no ambiente aquático, sendo que o elevado conteúdo de material orgânico é um fator importante para o seu desequilíbrio (BATISTA, 2015). Além disso, resulta em problemas à saúde da população e dificulta o acesso comum de qualidade (ALVES, 2016).

Os esgotos de diversas cidades brasileiras vêm sendo tratados em ETE, fazendo com que a água possa retornar aos mananciais, respeitando-se assim, os parâmetros exigidos pelos órgãos ambientais. No entanto, há geração de um resíduo semi-sólido, pastoso, de natureza predominantemente orgânica e com grande potencial poluidor, denominado lodo de esgoto (ANDRADE, 1999).

Como o gerenciamento do lodo de esgoto proveniente de estações de tratamento é uma atividade de grande complexidade e alto custo, se for mal executada, pode comprometer os benefícios ambientais e sanitários esperados destes sistemas (LUDUVICE, 2001).

De acordo com Pedroza et al. (2010), dentre os tratamentos de esgoto, o biológico é uma das alternativas mais econômicas e eficientes para a degradação da matéria orgânica pela ação de

bactérias, protozoários e algas. Essa degradação pode ocorrer por meio do tratamento anaeróbio ou aeróbio, ou seja, os microrganismos degradam substâncias orgânicas, como fonte de nutrientes e energia.

O esgoto sanitário contém, aproximadamente, 99,9% de água, sendo que o restante é a fração que inclui sólidos orgânicos e inorgânicos, suspensos e dissolvidos, bem como os microorganismos. Desta forma, as substâncias que compõem o esgoto são caracterizadas física, química e biologicamente, com o objetivo de estabelecer parâmetros, determinar o potencial poluidor e o tipo de tratamento a ser adotado (FUNASA, 2015).

O tratamento biológico viabiliza a remoção das substâncias orgânicas biodegradáveis e, em alguns casos, de nutrientes (nitrogênio e fósforo), a partir de reações químicas promovidas por microrganismos anaeróbios, aeróbios e facultativos que assimilam a matéria orgânica (METCALF e EDDY, 1991 apud BATISTA, 2015).

A qualidade e quantidade de lodo gerado em uma ETE podem ser utilizadas como referencial para a eficiência operacional do modelo de tratamento escolhido, comparando com o conhecimento da produção esperada de lodo para cada tipo de referido tratamento para possível alternativa de disposição final a ser aplicada (LINS, 2010).

De acordo com Bettiol e Camargo (2006), o lodo produzido concentra os nutrientes, a matéria orgânica, os metais pesados, os organismos patogênicos e outros elementos que podem oferecer risco à saúde e ao meio ambiente, caso não sejam controlados e monitorados adequadamente.

Como forma de regularizar a utilização de biossólidos em nível federal, criou-se a Resolução Conama nº 375, de 29 de agosto de 2006, que define critérios e procedimentos para uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, além de estabelecer algumas restrições de uso em pastagens, unidades de conservação, cultivo para consumo in natura (hortaliças), dentre outros. Já no Estado

do Paraná, o amparo legal para utilização do lodo de esgoto na agricultura encontra-se na Resolução SEMA nº 021/2009, em seu anexo 6, no qual é definida e reforçada a legislação federal, além de restringir ainda mais os limites para algumas substâncias inorgânicas, tais como: cádmio, cobre, mercúrio e zinco. Para os metais pesados presentes no lodo, essa Resolução SEMA 021/2009 determina em mg/kg que os limites máximos devem ser: 41 (Arsênio), 1300 (Bário), 20 (Cádmio), 300 (Chumbo), 1000 (Cobre), 1000 (Cromo), 16 (Mercúrio), 50 (Molibdênio), 420 (Níquel), 100 (Selênio) e 2500 (Zinco) (SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS, 2009).

Dentre tais elementos, parte deles com zinco (Zn), magnésio (Mg), cobre (Cu) e ferro (Fe) são micronutrientes essenciais para crescimento e desenvolvimento das plantas. No entanto, os demais elementos químicos são tóxicos às plantas e aos animais quando presentes em altas concentrações no lodo de esgoto, impossibilitando a sua utilização em áreas agrícolas (FERREIRA et al., 1999).

Outro parâmetro utilizado para caracterizar o lodo de esgoto é a presença de organismos patogênicos que são reduzidos e/ou eliminados pelo processo de higienização. Pela Resolução SEMA 021/2009, a concentração deve ser: Coliformes Termotolerantes <103 NMP/g de ST, Helmintos <0,25 ovo/g de ST, Vírus <0,25 UFP ou UFF/g de ST e, por fim, *Salmonella* ausência em 10g de ST.

De acordo com Bettiol e Camargo (2006), dentre os organismos patogênicos, os helmintos despertam um grande interesse; isto porque o ambiente nos processos de tratamento de esgotos é propício ao embrionamento de seus ovos. Já, em relação às bactérias entéricas patogênicas encontradas no esgoto, Andreoli et al. (2006) destacam que a *Salmonella spp* e a *Shigella spp* representam o maior risco de infecção para humanos, já que são mais encontradas em esgotos domésticos.

Em estudo realizado por Pires (2003) para avaliar a presença de organismos patogênicos, constatou-se que esses microrganismos se concentravam na camada superficial do solo (0-20cm),

não tendo sido detectados no líquido percolado. Assim, sugeriu-se que a dose de aplicação recomendada seja de 2,5 SST/ha a cada 40 dias, para garantir que não haja riscos de contaminação.

A aplicação de cal virgem ao lodo de esgoto promove a redução de agentes patogênicos, constituindo-se numa prática de higienização (DAHMER, 2018). Pesquisa de Maya; Ortiz e Jiménez (2010) constatou que a adição de cal promoveu aumento do pH para 12,5 e resultou na inativação dos ovos de helmintos quando expostos por 4 meses em umidade de 80%.

O uso do lodo na agricultura representa o reaproveitamento dos nutrientes nele acumulados, devido a presença de matéria orgânica expressa em termos da concentração de sólidos, sendo que os lodos de esgotos domésticos ficam na faixa de 75 a 85% SV/ST, representando um produto de alto potencial fertilizante (JORDÃO e PESSOA, 2005).

Outro fator relevante contemplado pela SEMA 021/2009, é o controle de odores (estabilidade) avaliado pelo parâmetro que considera o lodo estável, se a relação entre sólidos voláteis e sólidos totais for inferior a 0,70 (SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS, 2009).

Em relação aos teores de nutrientes presentes no lodo de esgoto, Andreoli et al. (2006) afirmam que muitas vezes são superiores aos encontrados na maioria dos materiais orgânicos de uso habitual na agricultura.

Por definição, elementos minerais essenciais são aqueles que atendem aos três critérios de essencialidade: (1) quando a planta não consegue completar seu ciclo de vida na sua ausência; (2) têm função específica e não podem ser substituídos e (3) estão envolvidos diretamente no metabolismo da planta, fazendo parte de um constituinte essencial (por exemplo, uma enzima). Para as plantas superiores, a essencialidade de 14 elementos minerais está bem estabelecida, onde aqueles exigidos em maiores quantidades pelas plantas são denominados macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) e aqueles exigidos em pequenas quantidades (B, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni e Zn) são denominados micronutrientes (KERBAUY, 2008).

De acordo com Mengel e Kerby (2001) apud Taiz e Zeiger (2017) os elementos essenciais podem ser agrupados; porém, não pelo teor nos tecidos e, sim, pela função bioquímica exercida, tais como: nutrientes que fazem parte de um composto orgânico (N e S); nutrientes envolvidos com metabolismo de energia ou da integridade estrutural (P e B); nutrientes que continuam na forma iônica (K, Ca, Mg, Cl, Na e Zn); e nutrientes envolvidos com reações de oxiredução (Fe, Mn, Cu, Ni e Mo).

Segundo Batista (2015), o lodo pode fornecer nitrogênio (N), fósforo (P), cálcio (Ca), enxofre (S), cobre (Cu) e zinco (Zn) em teores consideráveis. Já o elemento potássio (K), também é detectado, porém, em baixos teores nos biossólidos, devido a sua perda por lixiviação no efluente. Por este motivo, durante a aplicação de biossólido na nutrição de plantas, é necessária a complementação com esse nutriente.

Em relação à melhora nas propriedades físicas do solo, Melo e Marques (2000) enfatizam que a matéria orgânica contida no lodo de esgoto promove o aumento da agregação das partículas sólidas, favorecendo a infiltração de água, a aeração e a retenção de umidade.

A maior disponibilidade de nutrientes no solo decorrente da aplicação de lodo de esgoto pode levar a um melhor desenvolvimento da planta, e, conseqüentemente, a uma maior produtividade das culturas (BARBOSA e TAVARES FILHO, 2006). Neste contexto, testes comparativos realizados por extensionistas da Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural (Emater) do Paraná, verificaram aumento de produtividade de milho entre 30 e 77% (COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ, 1997).

Comprovou-se assim, que a reciclagem agrícola é, dentre as formas de destinação, a mais benéfica, pois transforma o lodo em um insumo, contribuindo para fechar o ciclo bioquímico dos nutrientes minerais, fornece matéria orgânica ao solo e estoca o carbono na forma de compostos estáveis, não liberando CO₂ na atmosfera (FERNANDES e SILVA, 1999).

Materiais e métodos

Este estudo consistiu no acompanhamento do processo de produção de biossólido na Unidade de Gerenciamento de Lodo de Esgoto (UGL) junto à ETE de Pato Branco-PR.

Quatro lotes de lodo de esgoto no período de 2013 a 2018 foram produzidos a partir do seguinte processo: tratamento preliminar (gradeamento e desarenador), após, seguiu para o sistema de tratamento biológico anaeróbico – RALF, onde bactérias anaeróbicas realizam a decomposição da matéria orgânica presente no esgoto, por meio de reações bioquímicas.

Na sequência, o lodo digerido passa pela etapa de desidratação em leitos de secagem até atingir uma concentração de sólidos totais (base seca) próxima de 50%. Após o deságue, o lodo é transportado por caçambas até a UGL para ser realizada a higienização (adição de cal virgem de 30 a 50% peso seco com revolvimento a cada 7 dias), cura e estocagem por, no mínimo, 30 dias.

A geração dos lotes leva em média de 12 a 20 meses, considerando-se para sua finalização o volume gerado e as culturas aptas a receberem o lodo de esgoto. Neste contexto, amostras dos quatro lotes de lodo de esgoto foram tiradas para realização de análises laboratoriais para parâmetros químicos, físicos e biológicos. Com base nos laudos laboratoriais, verificou-se o atendimento dos limites dos parâmetros exigidos pela Legislação (CONAMA nº 375/06 e SEMA nº 021/2009), fornecendo assim, informações sobre a destinação do lodo de esgoto.

Como os lotes de lodo de esgoto foram previamente analisados, coube analisar neste capítulo os laudos laboratoriais com o intuito de verificar o valor econômico e ambiental para o biossólido produzido. Dessa forma, realizou-se a compilação dos resultados pela elaboração de tabelas para auxiliar na exploração das informações.

Resultados e discussão

O esgoto tratado durante o período de 2013 a 2018 no município de Pato Branco-PR pelo sistema anaeróbio e desidratado

em leitos de secagem gerou 832 toneladas de lodo de esgoto (Tabela 01). Considerando a expressiva quantidade de lodo produzido nesses lotes, foi essencial a verificação da viabilidade agrícola para sua utilização, além de realizar a avaliação do atendimento ou não aos limites estabelecidos para substâncias inorgânicas, orgânicas e agentes patogênicos. Nesse contexto, as 832 toneladas de biossólido produzidas na ETE de Pato Branco-PR, foram destinadas aos pequenos produtores deste município, sendo distribuídas em 159 hectares, para o cultivo de milho, soja e aveia.

Tabela 01: Quantidade e destinação do lodo de esgoto produzido de 2013 a 2018, na UGL de Pato Branco – PR.

ANO	NÚMERO DO LOTE	QUANTIDADE PRODUZIDA (t)	DISTRIBUIÇÃO DO LODO (ha)	CULTURA DESTINADA
2013	01	323	41	Soja
2015	02	209	26	Milho e Soja
2016	03	127	36	Aveia
2018	04	173	56	Soja
Total	-	832	159	-

Fonte: Os autores (2020)

Em relação à adequação ao padrão sanitário mínimo estabelecido pela legislação para presença de organismos patogênicos, deve-se destacar que o tratamento auxilia na eliminação, porém, grande parte fica concentrada no lodo, seja por adsorção às partículas sólidas ou devido ao seu peso específico, como é o caso dos ovos de helmintos (DAHMER, 2018). Na Tabela 02 pode-se observar que os quatro lotes de lodo de esgoto apresentavam níveis de agentes patogênicos inferior ao limite estabelecido pela Resolução SEMA 021/2009. Esse resultado pode ser explicado pela

alcalinização do lodo, que foi obtido pela adição de cal virgem associado com um período de estocagem de, pelo menos, 30 dias, culminando com a inativação dos ovos e larvas de helmintos, vírus entéricos, coliformes termotolerantes e para *Salmonella spp.*

Tabela 02: Resultados para os parâmetros sanitários do lodo de esgoto produzido no período de de 2013 a 2018, na UGL de Pato Branco – PR.

PARÂMETRO	UNIDADE	LOTE 01	LOTE 02	LOTE 03	LOTE 04	LIMITE SEMA 021/09
Coliformes Termotolerantes	NMP/g de ST	<10	<10	<1,8	<0,19	<10
Ovos Viáveis de Helmintos	ovo/g de ST	Ausência	<0,25	<0,25	<0,10	<0,25
Vírus Entéricos	UFP/g de ST	<0,25	<0,25	<0,25	Ausência	<0.25
<i>Salmonella spp.</i>	Ausência 10g/ ST	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência

Fonte: Os autores (2020)

Pela análise química do lodo do esgoto, pode-se constatar a ausência de compostos orgânicos persistentes (benzenos clorados, ésteres de ftalatos, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos, fenóis clorados e não clorados e poluentes orgânicos persistentes) e dos teores de metais pesados (Arsênio, Bário, Cádmiio, Chumbo, Cobre, Cromo, Mercúrio, Molibdênio, Níquel, Selênio e Zinco) que se encontravam abaixo dos limites estabelecidos pela Resolução SEMA nº 021/2009 para utilização agrícola (Tabela 03).

Dentre os metais pesados analisados, zinco (Zn), cobre (Cu), molibdênio (Mo) e níquel (Ni), são micronutrientes essenciais para as plantas em baixos teores, segundo Kerbaui (2008), mas em altas concentrações podem ser fitotóxicos (BETTIOL e CAMARGO, 2006). Nesse contexto, os laudos laboratoriais indicam a qualidade química e sanitária dos lotes de lodo de esgoto.

Com a interpretação dos resultados para os teores de macronutrientes (Tabela 03), verificou-se que o percentual de carbono (C) orgânico médio foi de 11,34%, ocorrendo uma variação

substancial entre lotes. Em relação aos teores de N, P e K, foram detectadas baixas concentrações desses macronutrientes em relação aos fertilizantes químicos industriais. O nitrogênio (N), que é o elemento mais absorvido e utilizado pelas plantas, apresentou em média 2,05%, mas, deve-se destacar que, do total, apenas as formas de nitrato (0,015%) e amônio (0,46%) são absorvidas, percentual bem inferior ao que foi quantificado no laboratório. Uma explicação para a substancial variação do teor de Nitrogênio, pode ser atribuída à elevação do pH durante o processo de higienização, quando o nitrogênio é perdido por volatilização, comprovado pelo lote 4, que recebeu uma quantidade maior de cal virgem para eliminar a bactéria *Salmonella spp*, elevando assim, as concentrações de Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg). Desta forma, a dosagem de lodo a ser aplicada deve ser menor, pois as plantas sobrevivem melhor na faixa de pH de 6,0 a 7,0 (BARBOSA e TAVARES FILHO, 2006).

Tabela 03: Resultados para os parâmetros químicos o lodo de esgoto produzido no período de de 2013 a 2018, na UGL de Pato Branco – PR.

PARÂMETRO	UNIDADE	LOTE 01	LOTE 02	LOTE 03	LOTE 04	MÉDIA	LIMITE SEMA 021/09
pH em água	Adimensional	7,30	7,90	8,55	12,69	9,11	
Sólidos Totais	%	63,9	64,9	80,7	97,27	76,7	
Umidade	%	36,05	35,12	19,36	2,73	23,31	
C Orgânico	% de ST	17,8	17,44	9,15	0,97	11,34	
N Kjeldahl	% de ST	2,25	1,78	1,92	0,38	1,58	
N nitrato + nitrito	% de ST	0,025	0,026	0,005	0,005	0,015	
N Amoniacal	% de ST	0,62	1,03	0,18	0,016	0,46	Sem limite

(Tabela 03 – cont.)

(Tabela 03 – cont.)

PARÂMETRO	UNIDADE	LOTE 01	LOTE 02	LOTE 03	LOTE 04	MÉDIA	LIMITE SEMA 021/09
N Total	% de ST	2,89	2,83	2,10	0,40	2,05	
Ca Total	% de ST	2,29	4,55	7,98	24,19	9,75	
P Total	% de ST	0,08	0,65	0,48	0,0085	0,304	
Mg Total	% de ST	0,09	0,30	0,22	12,55	3,29	
K Total	% de ST	0,033	0,120	0,030	0,026	0,052	
Arsênio	mg/kg de ST	< 0,04	< 0,04	< 10	< 6	4,02	41
Bário	mg/kg de ST	179,78	< 20	378,15	< 100	169,48	1.300
Cádmio	mg/kg de ST	14,61	< 0,24	< 10	< 6	7,71	20
Chumbo	mg/kg de ST	< 4	12,60	29,19	< 20	16,44	300
Cobre	mg/kg de ST	73,41	174,80	130,69	32,11	102,75	1.000
Cromo	mg/kg de ST	36,33	589,37	< 100	< 20	186,42	1.000
Mercúrio	mg/kg de ST	< 0,04	< 0,04	1,11	< 0,20	0,34	16
Molibdênio	mg/kg de ST	< 0,40	< 0,40	6,02	< 6	3,20	50
Níquel	mg/kg de ST	37,45	16,54	< 20	< 10	20,99	300
Selênio	mg/kg de ST	< 0,40	< 0,40	< 10	6,60	4,35	100
Zinco	mg/kg de ST	205,99	1.044,09	367,42	< 100	429,	2.500

Fonte: Os autores (2020)

Em relação aos macronutrientes potássio e fósforo, que são elementos responsáveis pela ativação de várias enzimas e no metabolismo energético das plantas, respectivamente (TAIZ e ZEIGER, 2017), apresentaram, independente dos lotes analisados,

baixos teores e com expressiva variação. De acordo com Dahmer (2017), o potássio (K), por ser bastante solúvel, é perdido juntamente com a água durante o processo de desaguamento do lodo; já o fósforo (P) sofre remoção no processo de higienização com cal devido a sua elevação do pH.

Foi verificada também uma variação de sólidos totais (ST) entre lotes. Isso ocorreu devido à variação na umidade, ou seja, quanto menor a umidade, maior é a concentração de sólidos totais. Essa concentração está relacionada à estabilidade do lodo, pois, conforme determina a Conama nº 375/2006, o biossólido é considerado estável quando a relação entre sólidos voláteis e totais for inferior a 0,70. Nos lotes analisados todos apresentaram uma relação inferior ao que estabelece a legislação, confirmando que o lodo produzido na ETE Pato Branco-PR é estável.

Pelos resultados das análises químicas do lodo, pode-se destacar sua importância como condicionador de solo, pois influencia positivamente nos atributos do solo (pH, CTC, matéria orgânica, fósforo, cálcio e magnésio). O uso da cal virgem no processo de higienização contribui para a correção da acidez do solo, melhorando as condições de absorção. Já, a matéria orgânica contribui para um aumento da capacidade de troca de cátions (CTC) e melhora o estado de agregação das partículas do solo, diminuindo sua densidade e aumentando a aeração e a porosidade. O aumento da saturação por bases está relacionado aos teores de cálcio e magnésio, aumentando assim, as condições gerais de fertilidade do solo.

Considerações finais

Os lotes disponibilizados apresentaram as variações de substâncias inorgânicas dentro dos limites da Resolução SEMA 021/2009, bem como ausência de substâncias orgânicas e de agentes patogênicos, comprovando que a higienização com cal virgem é eficiente para a eliminação de microrganismos, o que garante a qualidade e segurança do lodo de esgoto.

Em termos agrônômicos, pode-se destacar que o biossólido obtido dos quatro lotes analisados, apresenta constituição

química que revela seu potencial como fornecedor de nutrientes às plantas, e como condicionador de solo, uma vez que promove formação de agregados, culminando com o incremento da porosidade e da capacidade de retenção de umidade.

Além disso, o lodo de esgoto utilizado na agricultura promove, não apenas a redução de gastos do agricultor com a compra de fertilizantes, mas principalmente, beneficia a população de maneira geral, pela redução de envio desse resíduo para aterros sanitários.

Referências

ALVES, L. A. **Cidades Saudáveis e Qualidade de Vida em Uberlândia (MG): Aportes metodológicos para um processo em construção.** 2016. 495 f. Tese (Doutorado) – Curso de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2016.

ANDRADE, C. A. **Nitratos e metais pesados no solo e em plantas de Eucalyptus grandis após aplicação de biossólido da ETE de Barueri.** 1999. 65p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1999.

ANDREOLI, C. V. et al. **Uso de lodo de esgoto na produção de substrato vegetal. In: biossólidos - alternativas de uso de resíduos do saneamento.** Rio de Janeiro: Editora ABES, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 9648:** Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário – Procedimento, 1986.

BARBOSA, G. M. C.; TAVARES FILHO, J. **Uso agrícola do lodo de esgoto: influência nas propriedades químicas e físicas do solo, produtividade e recuperação de áreas degradadas.** Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/272655985_Uso_agricola_do_lodo_de_esgoto_influencia_nas_propriedades_quimicas_e_fisicas_do_solo_produtividade_e_recuperacao_de_areas_degradadas>. Acesso em: 18 set. 2019.

BATISTA, L. F. **Lodos gerados nas estações de tratamento de esgotos no distrito federal: um estudo de sua aptidão para o condicionamento, utilização e disposição final**. 2015. 214 f. Dissertação (Mestrado). – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília. Brasília, 2015.

BETTIOL, W.; CAMARGO, O. **Lodo de esgoto: impactos ambientais na agricultura**. 1ª ed. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006.

CORRÊA, R. S.; FONSECA, Y. M. F.; CORREA, A. S. Produção de biossólido agrícola por meio da compostagem e vermicompostagem de lodo de esgoto. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.**, Campina Grande, v. 11, n. 4, p. 420-426, Ago.. 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662007000400012&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 24 de nov. 2020.

DAHMER, M. A. **Plano de Gerenciamento para Utilização Agrícola do Lodo de Esgoto**. Curitiba: Sanepar, 2018.

FERNANDES, S. A. P.; SILVA, S. M. C. P. **Manual prático para compostagem de biossólidos**. Londrina: Prosab, Finep, 1999.

FERREIRA, A. C. et al. **Uso e Manejo do Lodo de Esgoto na Agricultura: Produção e características dos biossólidos**. Curitiba: Programa de Pesquisa em Saneamento Básico, 1999. 8 p.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE – FUNASA. **Manual de Saneamento**. Ministério da Saúde. Brasília, 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pr/pato-branco.html>>. Acesso em: 16 dez. 2019.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos**. 4. ed. Rio de Janeiro: Segrac, 2005.

KERBAUY, G. B. **Fisiologia Vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan S.A., 2008.

LINS, G. A. **Impactos Ambientais em Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs)**. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

LOBO, T. F. et al. Manejo do lodo de esgoto e nitrogênio mineral na fertilidade do solo ao longo do tempo. Seminário Ciências Agrárias. Universidade Estadual de Londrina, 2013.

LUDUVICE, M. **Processos de estabilização de lodos. In: Lodos de Es-
gotos – Tratamento e Disposição Final.** Rio de Janeiro: ABES, 2001.

MALTA, T. S. **Aplicação de lodos de ETEs na agricultura: Estudo de
caso Município de Rio das Ostras – RJ.** 2001. 68 f. Dissertação (Mes-
trado) - Curso de Engenharia Sanitária e Saúde Pública, Escola Nacio-
nal de Saúde Pública, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2001.

MAYA, C.; ORTIZ, M.; JIMÉNEZ, B. Viability of Ascaris and other
helminth genera non larval eggs in different conditions of tempera-
ture, lime (pH) and humidity. **Water Science And Technology**, [s.l.],
v. 62, n. 11, p. 2616-2624, 1 dez. 2010. IWA Publishing. Disponível em:
<<http://dx.doi.org/10.2166/wst.2010.535>>. Acesso em: 25 set. 2019.

MELO, W. J.; MARQUES, M. O. **Potencial do lodo de esgoto como
fonte de nutrientes para as plantas.** Jaguariúna, Embrapa Meio
Ambiente, 2000.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. CONAMA. **Resolução 375/2006:**
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. Brasília, 2006.
Disponível em: <[http://www2.mma.gov.br/port/conama/res/res06/
res37506.pdf](http://www2.mma.gov.br/port/conama/res/res06/res37506.pdf)>. Acesso em: 27 out. 2019.

PEDROZA, M. M. et al. **Produção e tratamento de lodo de esgoto -
uma revisão.** Liberato: Educação, Ciência e Tecnologia, Rio Grande
do Norte, 2010.

PIRES, M. S. G. **Avaliação da presença de patógenos no lodo líquido
estabilizado de ETE (processo aeróbio) quando aplicado ao solo
arenoso-siltoso.** 2003. 162 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia
Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS. **SEMA
Nº 021/09:** Dispõe sobre licenciamento ambiental, estabelece
condições e padrões ambientais e dá outras providências, para

empreendimentos de saneamento. Curitiba, 2009. Disponível em: <http://www.iap.pr.gov.br/arquivos/File/Legislacao_ambiental/Legislacao_estadual/RESOLUCOES/RESOLUCAO_SEMA_24_2008_LICENCIAMENTO_AVICULTURA.pdf>. Acesso em: 27 out. 2019

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

USEPA - United States Environmental Protection Agency. **A guide to the biosolids risk assessments for the EPA Part 503 rule**, 1995. Washington: Office of Wastewater Management, EPA/832-B-93-005. Disponível em: <<https://www.epa.gov/sites/production/files/2018-11/documents/guide-biosolids-risk-assessments-part503.pdf>>. Acesso em: 16 dez. 2019.

PARTE IV

A SANEPAR E SUAS OPERAÇÕES

Capítulo 23

FONTES POLUIDORAS DA BACIA DO RIO PIRAPÓ: PARÂMETROS QUÍMICOS E MICROBIOLÓGICOS

Lilian Maria Pagamunici de Oliveira
Nelson Menolli Jr.

Introdução

De acordo com a Agência Nacional das Águas (ANA), a demanda de água no Brasil, para fins de abastecimento urbano, irrigação, indústria, termoeleétrica, uso animal, rural e mineração, é crescente. Nas últimas duas décadas, houve um aumento de 80% dessa demanda e a previsão estimada até 2030 é uma elevação superior a 24% (ANA, 2019). Ainda de acordo com a ANA (2019), nessa perspectiva, a quantidade de água requerida para fins de abastecimento urbano está na segunda posição no ranking de uso da água, referindo-se a 23,8% do total da demanda de água no Brasil e, em primeiro lugar, destaca-se o setor de irrigação, com 52%. Algumas alterações nos ecossistemas aquáticos afetam os organismos neles presentes, pois a água constitui um dos elementos fundamentais para a sua sobrevivência. Sendo assim, a biota dos ecossistemas aquáticos sofre interferências de componentes provenientes de resíduos de inseticidas e agrotóxicos, que não fazem parte do habitat natural dos organismos ali viventes, gerando sérios prejuízos ao meio ambiente como um todo (MONTANHA et al., 2011).

Mesmo os sistemas de abastecimento de água sendo sanitariamente eficientes, podem ser prejudicados se algo ocorrer no manancial de captação, como, por exemplo, a descarga acidental de contaminantes e o lançamento clandestino de efluentes (ANA, 2019). Por isso, a qualidade da água torna-se de extrema importância, pois inúmeras enfermidades podem ser veiculadas ao homem por meio da ingestão de água contaminada com componentes nocivos ao organismo humano (BRASIL, 2006). Como exemplos de contaminantes, destacam-se: compostos nitrogenados (nitrato, nitrito), compostos orgânicos voláteis (benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno) e micro-organismos como bactérias (Grupo Coliformes totais e *Escherichia coli*) e cianobactérias (BRASIL, 2006).

O rio Pirapó abrange 28 municípios e a água captada é utilizada principalmente para consumo humano (KLEPKA, 2011). Em 19 dos 28 municípios pertencentes à bacia, o sistema de abastecimento público é realizado pela Sanepar. Maringá-PR é o único município dentre os 28, que utiliza somente água da bacia do rio Pirapó para abastecimento público (OLIVEIRA, 2016), com uma vazão atual captada de 1.000 litros/segundo, 3.600 m³/hora para o abastecimento da cidade (PLANO MUNICIPAL DE SANEAMENTO BÁSICO DE MARINGÁ, 2011).

Em outubro de 2019, a partir de trabalhos internos das equipes da estação de tratamento de água (ETA) de Maringá-PR, associada ao rio Pirapó, foram relatadas dificuldades na floculação da água durante o tratamento, mesmo com turbidez baixa. Diante dessa ocorrência, o Instituto Ambiental do Paraná (IAP) e a Sanepar decidiram monitorar o rio a fim de identificar possíveis contaminações provenientes de descargas clandestinas. Assim, o estudo aqui apresentado visa atender a uma demanda e tem como objetivo detectar, por meio da identificação de compostos orgânicos e inorgânicos, microbiológicos e químicos, enquanto possíveis fontes poluidoras em amostras de água *in natura* do rio Pirapó (Maringá – PR).

Controle da qualidade de ecossistemas aquáticos

A água é um elemento essencial à vida e apresenta influência significativa no desenvolvimento socioeconômico de determinada região (FOLLMANN; FOLETO, 2010). Diante da importância do uso de recursos hídricos, há uma preocupação crescente da humanidade com relação à quantidade e qualidade da água, não só devido à escassez desse recurso, mas também pela deterioração dos mananciais (BRASIL, 2006). Além disso, a interferência do homem no ambiente natural vem causando inúmeras mudanças na constituição da biodiversidade de ecossistemas aquáticos que são fruto das consequências geradas pelo estilo de vida da sociedade atual e seu modelo econômico (MONTANHA et al., 2011). Os autores resgatam que a constituição dos ecossistemas aquáticos é constantemente exposta às substâncias lançadas pelo homem no ambiente natural e provenientes de diversas fontes de emissão, como descarga de efluentes industriais, drenagem agrícola e esgotos domésticos.

Os compostos nitrogenados, ou seja, aqueles que têm nitrogênio (N) em sua constituição, podem estar presentes em sistemas aquáticos em sua forma estável ou oxidada, sendo indicativos de contaminação de aquíferos e/ou más condições higiênico sanitárias quando presentes em excesso, tornando a água imprópria para o consumo humano (ALABURD; NISHIHARA, 1998). Ainda, os autores afirmam que, sobre à saúde humana, o consumo de nitrito (NO_2^-) e de nitrato (NO_3^-) está relacionado ao potencial de formação de compostos carcinogênicos como as nitrosaminas e nitrosamidas, bem como a ocorrência de metemoglobinemia.

A metemoglobinemia, segundo Udeh, Bittikofer e Sum-Ping (2001), corresponde a uma síndrome clínica causada pelo aumento da concentração de metemoglobina no sangue e consequente redução de oferta de oxigênio. Vanin, Baldasso e Zeni (2018) também relataram que o consumo em excesso de nitrato, nitrito e amônia (NH_3) pode desencadear metemoglobina em bebês e câncer de estômago, bexiga e mama em adultos. De acordo com o Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5 do Ministério da

Saúde (BRASIL, 2017) e a Resolução nº 357 do Conama (BRASIL, 2005), os valores máximos permitidos (VMP) de nitrato e nitrito, tanto em água tratada como *in natura* (água doce Classe II), são de 10mg/L e 1mg/L, respectivamente.

No caso da contaminação de águas por Compostos Orgânicos Voláteis (COV), que é oriunda da ação humana, os contaminantes estão relacionados aos impactos em sistemas ambientais, processos atmosféricos e aos riscos significativos para a saúde humana (BEZERRA et al., 2012). Dentre os COV, destacam-se o benzeno (C_6H_6), o tolueno (C_7H_8), o etilbenzeno e o xileno (C_8H_{10}), conhecidos, em conjunto como BTEX. Esses compostos são hidrocarbonetos aromáticos que apresentam elevada solubilidade em água e toxicidade reconhecida (TIBURTIUS; ZAMOURA; EMMEL, 2009).

Sua nocividade à saúde humana relaciona-se, principalmente, ao comprometimento neurológico e, no caso da exposição ao benzeno, pode causar efeitos hematológicos, incluindo anemia aplástica e leucemia mieloide aguda. Entretanto, esses riscos dependem da quantidade e modo de exposição aos compostos BTEX, sendo também possível que haja efeitos cumulativos quando em contato com essa mistura (WILBUR; BOSH, 2004).

De acordo com o Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2017), os VPM de benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno em água tratada são de 5 µg/L, 0,17 mg/L, 0,2 mg/L e 0,3 mg/L, respectivamente. Segundo a Resolução nº 357 do Conama (BRASIL, 2005), para água *in natura* (água doce Classe II), o VMP é de 5 µg/L para benzeno, 2,0 µg/L para tolueno, 90 µg/L para etilbenzeno e 300 µg/L para xileno.

A água destinada ao consumo humano deve ser isenta de contaminantes biológicos (BRASIL, 2005), dentre os quais, os de maior importância são os micro-organismos patogênicos (MARTINS; REZENDE 2011). A Resolução nº 357 do Conama (BRASIL, 2005), corresponde à legislação vigente para classificação de corpos d'água superficiais, para acompanhamento da condição e controle da qualidade do corpo d'água em relação à contaminação

microbiológica, a partir do monitoramento da presença e da quantidade de coliformes termotolerantes.

Alternativamente, pode-se utilizar a ocorrência da bactéria *Escherichia coli* como parâmetro, por se tratar do principal representante desse grupo de termotolerantes e o indicador mais específico de contaminação fecal, já que é a única espécie do grupo dos coliformes termotolerantes cujo *habitat* exclusivo é o intestino humano, além de eventual presença de organismos patogênicos (SILVA; JUNQUEIRA, 2001; BRASIL, 2005).

Ainda, vale destacar que a Resolução nº 357 do Conama (BRASIL, 2005) estabeleceu que a quantidade máxima de coliformes termotolerantes (ou *E. coli*) em amostras de água *in natura* não poderá exceder a 1000 NMP (número mais provável) de *E. coli* em 100 mililitros de água em 80% ou mais de, pelo menos, seis amostras coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral de coletas. Água contaminada por *E. coli* pode acometer o indivíduo, o qual, ao consumir, pode desencadear diarreias moderadas a severas, colite hemorrágica grave, síndrome hemolítica urêmica e, em casos mais extremos, óbito (ROVERI; MUNIZ, 2016).

Em relação às cianobactérias, essa mesma Resolução (nº 357 do Conama) (BRASIL, 2005) determinou o acompanhamento da condição e controle da qualidade dos corpos d'água por meio da densidade de cianobactérias. A presença de determinadas cianobactérias pode indicar um processo acelerado de eutrofização, provocado pelo aumento de nutrientes nos corpos d'água que são provenientes, geralmente, de descargas de esgotos domésticos e industriais (MACEDO; TAVARES, 2010).

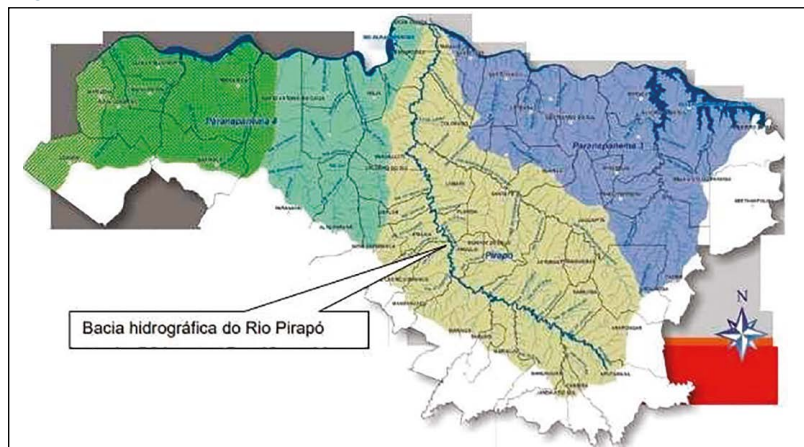
O aumento da incidência de florações de cianobactérias pode provocar elevação no custo do tratamento da água de abastecimento e consequências relacionadas à saúde pública, que podem não estar relacionadas às cianobactérias em si, mas sim às toxinas (cianotoxinas) por elas produzidas, sendo essa a principal via de intoxicação a partir do consumo oral de água contaminada por tais toxinas que podem causar no ser humano problemas relacionados ao sistema nervoso, fígado e derme (BRASIL, 2014).

De acordo com o Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5 do MS (BRASIL, 2017), a frequência do monitoramento de cianobactérias no manancial de superfície utilizado para abastecimento de água relaciona-se ao número de células por mililitros (células/mL). Se a densidade de cianobactérias for inferior a 10.000 células/mL, o monitoramento deve ser feito mensalmente, mas se for maior que este valor, o monitoramento deverá ser semanal (BRASIL, 2017). Quando o número de cianobactérias detectado no monitoramento for 20.000 células/mL, deverão ser realizadas, semanalmente, análises de cianotoxinas na água do manancial de superfície (BRASIL, 2017).

Materiais e métodos

A hidrografia de Maringá-PR pertence às bacias do rio Pirapó (Figura 01) e rio Ivaí. Porém, o manancial de superfície, fonte de captação de água para abastecimento deste município, é o rio Pirapó, o qual contribui com vazão atual captada de 3.600 m³/hora de um total de 5.700 m³/hora da vazão de água que a Sanepar capta e distribui, em função da demanda (PLANO MUNICIPAL DE SANEAMENTO BÁSICO DE MARINGÁ, 2011).

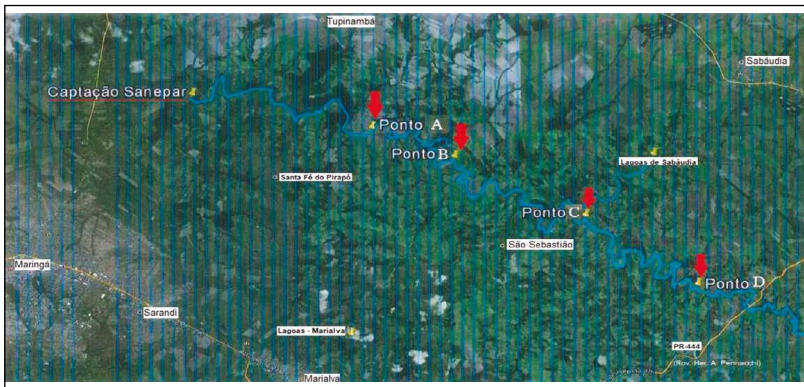
Figura 01: Bacia hidrográfica do rio Pirapó.



Fonte: Plano Municipal de Saneamento Básico de Maringá (2011)

De acordo com Oliveira (2016), o rio Pirapó compreende uma área de drenagem de 5057 km² localizada no terceiro planalto paranaense. Sua nascente encontra-se no município de Apucarana-PR, a 1.000 metros de altitude e corre em direção ao norte, percorrendo uma extensão de 168 km até sua foz, a qual desagua no rio Paranapanema, a 300 metros de altitude no município de Jardim Olinda-PR (OLIVEIRA, 2016).

Figura 02: Localização dos pontos de coleta de água do rio Pirapó.



Fonte: Arquivo interno, Sanepar (2019)

Para averiguação da qualidade química e microbiológica da água do rio Pirapó, foram realizadas coletas de água *in natura* em quatro pontos do rio (Figura 02), no período de 120 dias, totalizando 16 amostras (Quadro 01). Todas as amostras foram submetidas às análises dos seguintes parâmetros: 1) químicos – nitrito, nitrato, benzeno, etilbenzeno, tolueno e xileno; e 2) microbiológicos – *Escherichia coli* e cianobactérias.

Todas as análises químicas e microbiológicas foram realizadas no laboratório da Gerência de Avaliação de Conformes da Sanepar, unidade de Maringá-PR. Para determinação de nitrito foi utilizado o método colorimétrico 4500-NO₂ (American Public Health Association, 2017). Para nitrato foi utilizado o método 4500-NO₃-B – *Ultraviolet Spectrophotometric Screening Method* (American Public Health Association, 2017). A determinação

dos compostos voláteis (BTEX) foi realizada por meio de cromatografia gasosa acoplada a espectrômetro de massas triplo quadrupolo (7890B/7000C – Agilent), de acordo com método SMEWW – 6200B (*American Public Health Association*, 2017). Para determinação de *Escherichia coli* foi utilizado o Método 9223 de substrato enzimático em poços múltiplos (*American Public Health Association*, 2017). Para determinação de cianobactérias foi utilizado o Método de Utermohl (*American Public Health Association*, 2017) e consulta a bibliografias especializadas para confirmação taxonômica como Sant’Anna et al. (2012) e Guiry e Guiry (2020).

Quadro 01: Período e pontos de coleta e códigos das amostras de água *in natura* do rio Pirapó.

Semana da coleta	Pontos de coleta			
	Ponto A	Ponto B	Ponto C	Ponto D
	23° 20' 53,49" S 51° 45' 05,86" O	23° 21' 55,80" S 51° 42' 29,67" O	23° 41' 01,44" S 51° 38' 26,10" O	23° 26' 24,51" S 51° 34' 58,88" O
	Amostras			
Coleta 1 (4ª semana nov./2019)	1A	1B	1C	1D
Coleta 2 (1ª semana jan./2020)	2A	2B	2C	2D
Coleta 3 (3ª semana jan./2020)	3A	3B	3C	3D
Coleta 4 (1ª semana fev./2020)	4A	4B	4C	4D

Fonte: Os autores (2020)

Os resultados obtidos foram submetidos a análises estatísticas por meio de delineamento de blocos casualizados. Para comparação de médias, empregou-se o teste de Tukey, adotando-se 0,05 de nível de confiança e utilizando o programa SASM- agri, versão 8.2 (CANTAGARI et al., 2001).

Resultados e discussão

Os dados quantitativos referentes aos parâmetros químicos e microbiológicos das análises das amostras *in natura* do rio Pirapó estão apresentados na Tabela 01, seguidos da discussão de cada parâmetro analisado com base nos resultados obtidos.

Tabela 01: Concentração dos valores obtidos referentes aos parâmetros químicos e microbiológicos das análises das amostras de água bruta do rio Pirapó.

Parâmetros									
Químicos							Microbiológicos		
	Amostras	Nitrito (mg/L)	Nitrato (mg/L)	*Xileno (µg/L)	*Tolueno (µg/L)	*Benzeno (µg/L)	*Etilbenzeno (µg/L)	<i>Escherichia coli</i> (NMP/100 mL)	Cianobactérias (n° cel./100mL)
Ponto A	1A	0,059 ^a	1,88 ^a	<0,69	<0,34	<0,35	<0,57	285,1 ^a	192 ^d
	2A	0,009 ^b	1,57 ^{ab}	<0,69	<0,34	<0,35	<0,57	65,7 ^c	2336 ^b
	3A	0,009 ^b	1,94 ^a	<0,69	<0,34	<0,35	<0,57	214,2 ^b	5408 ^a
	4A	0,003 ^c	1,47 ^b	<0,69	<0,34	<0,35	<0,57	30,5 ^d	288 ^c
Ponto B	1B	0,01 ^b	1,89 ^c	<10,0	<0,10	<0,50	<0,10	770,1 ^a	4160 ^a
	2B	0,017 ^b	1,85 ^c	<10,0	<0,10	<0,50	<0,10	435,2 ^b	480 ^c
	3B	0,018 ^b	2,18 ^b	<10,0	<0,10	<0,50	<0,10	410,6 ^b	1920 ^b
	4B	0,059 ^a	2,43 ^a	<10,0	<0,10	<0,50	<0,10	344,8 ^c	3744 ^a

(Tabela 01 – cont.)

(Tabela 01 – cont.)

Parâmetros									
Químicos							Microbiológicos		
	Amostras	Nitrito (mg/L)	Nitrato (mg/L)	*Xileno (µg/L)	*Tolueno (µg/L)	*Benzeno (µg/L)	*Etilbenzeno (µg/L)	<i>Escherichia coli</i> (NMP/100 mL)	Cianobactérias (n° cél./100mL)
Ponto C	1C	0,006 ^b	1,78 ^b	<0,69	<0,34	<0,35	<0,57	210,5 ^c	960 ^b
	2C	0,007 ^b	1,99 ^{ab}	<0,69	<0,34	<0,35	<0,57	178,2 ^d	64 ^d
	3C	0,013 ^{ab}	2,30 ^a	<0,69	<0,34	<0,35	<0,57	488,4 ^a	160 ^c
	4C	0,023 ^a	2,64 ^a	<0,69	<0,34	<0,35	<0,57	435,2 ^b	1056 ^a
Ponto D	1D	0,01 ^b	2,06 ^a	<0,69	<0,34	<0,35	<0,57	2909,0 ^{bc}	480 ^b
	2D	0,036 ^a	2,00 ^{ab}	<0,69	<0,34	<0,35	<0,57	2282,0 ^c	1280 ^a
	3D	0,024 ^{ab}	2,10 ^a	<0,69	<0,34	<0,35	<0,57	4352,0 ^a	384 ^b
	4D	0,032 ^a	1,81 ^b	<0,69	<0,34	<0,35	<0,57	3255,0 ^b	32 ^c

Parâmetros									
Químicos							Microbiológicos		
	Amostras	Nitrito (mg/L)	Nitrato (mg/L)	*Xileno (µg/L)	*Tolueno (µg/L)	*Benzeno (µg/L)	*Etilbenzeno (µg/L)	<i>Escherichia coli</i> (NMP/100 mL)	Cianobactérias (n° cél./100mL)
**VMP		1	10	300	2	5	90	<1000	<10000
Coleta 1	1A	0,059 ^a	1,88 ^b	<0,69	<0,34	<0,35	<0,57	285,1 ^c	192 ^c
	1B	0,01 ^b	1,89 ^b	<10,0	<0,10	<0,50	<0,10	770,1 ^b	4160 ^a
	1C	0,006 ^b	1,78 ^c	<0,69	<0,34	<0,35	<0,57	210,5 ^d	960 ^d
	1D	0,01 ^b	2,06 ^a	<0,69	<0,34	<0,35	<0,57	2909,0 ^a	480 ^b

(Tabela 01 – cont.)

(Tabela 01 – cont.)

Parâmetros									
Químicos							Microbiológicos		
	Amostras	Nitrito (mg/L)	Nitrato (mg/L)	*Xileno (µg/L)	*Tolueno (µg/L)	*Benzeno (µg/L)	*Etilbenzeno (µg/L)	<i>Escherichia coli</i> (NMP/100 mL)	Cianobactérias (nº cél./100mL)
Coleta 2	2A	0,009 ^c	1,57 ^c	<0,69	<0,34	<0,35	<0,57	65,7 ^d	2336 ^a
	2B	0,017 ^b	1,85 ^b	<10,0	<0,10	<0,50	<0,10	435,2 ^b	480 ^c
	2C	0,007 ^c	1,99 ^a	<0,69	<0,34	<0,35	<0,57	178,2 ^c	64 ^d
	2D	0,036 ^a	2,00 ^a	<0,69	<0,34	<0,35	<0,57	2282,0 ^a	1280 ^b
Coleta 3	3A	0,009 ^d	1,94 ^c	<0,69	<0,34	<0,35	<0,57	214,2 ^c	5408 ^a
	3B	0,018 ^b	2,18 ^b	<10,0	<0,10	<0,50	<0,10	410,6 ^b	1920 ^b
	3C	0,013 ^c	2,3 ^a	<0,69	<0,34	<0,35	<0,57	488,4 ^b	160 ^d
	3D	0,024 ^a	2,14 ^b	<0,69	<0,34	<0,35	<0,57	4352,0 ^a	384 ^c
Coleta 4	4A	0,003 ^d	1,47 ^d	<0,69	<0,34	<0,35	<0,57	30,5 ^d	288 ^c
	4B	0,059 ^a	2,43 ^b	<10,0	<0,10	<0,50	<0,10	344,8 ^c	3744 ^a
	4C	0,023 ^c	2,64 ^a	<0,69	<0,34	<0,35	<0,57	435,2 ^b	1056 ^b
	4D	0,032 ^b	1,81 ^c	<0,69	<0,34	<0,35	<0,57	3255,0 ^a	32 ^d

* Valor correspondente ao limite inferior da curva de calibração do equipamento.

** Valor Máximo Permitido pela Resolução nº 357 do CONAMA (BRASIL, 2005) para corpos d'água doce de Classe II. Ponto A, B, C e D: valores com letras minúsculas diferentes, na coluna, não diferem significativamente ao nível de 5%. Coleta 1, 2, 3 e 4: valores com letras minúsculas diferentes, na coluna, não diferem significativamente ao nível de 5%.

Fonte: Os autores (2020)

Na Tabela 01, os resultados dos parâmetros químicos (nitrito, nitrato, benzeno, etilbenzeno, tolueno e xileno) obtidos em todos os pontos de coleta, no decorrer dos 120 dias de monitoramento, encontram-se inferiores ao VMP pela legislação, ou seja, encontram-se dentro dos limites estabelecidos pela Resolução nº 357 do Conama para corpos d'água doce de Classe II (BRASIL, 2005). Em relação aos dados de BTEX obtidos, a ausência desses compostos nas amostras avaliadas neste capítulo demonstra que não foi verificada, nos pontos avaliados do rio Pirapó, contaminação por resíduos químicos provenientes de derivados do petróleo, como gasolina para automóveis, advinda, principalmente, de vazamento de postos de combustíveis.

Segundo Tiburtius (2004), combustível derramado no solo pode, por exemplo, ser carregado pela chuva e contaminar rios. A problemática dessa contaminação está relacionada aos BTEX que, juntamente com outros compostos aromáticos, correspondem a cerca de 10 a 59% da gasolina (massa/massa). Verifica-se, ainda, que os baixos resultados de nitrito e nitrato encontrados neste estudo são indicativos da ausência de efluentes industriais e poluição antiga proveniente, principalmente, de resíduos de atividades agrícolas e efluentes de estações de tratamento de esgotos.

Schneider et al. (2011) avaliaram o conteúdo de nitrito e nitrato em córregos que compõem a bacia hidrográfica do rio Pirapó e os resultados encontravam-se dentro do VMP pela legislação vigente. Neste estudo realizado no período de 2008 a 2009, a concentração de nitrato nas águas dos córregos Romeira e Mandacaru (componentes da bacia do ribeirão Maringá, afluente da margem esquerda do rio Pirapó), também estavam dentro do VMP pela legislação.

De acordo com a Tabela 01, a concentração (NPM/100 mL) de *Escherichia coli* das amostras coletadas nos pontos A, B e C, em todos os períodos de coleta, no decorrer dos 120 dias de monitoramento, foi inferior aos VMP pela legislação, ou seja, encontram-se dentro dos limites estabelecidos pela Resolução nº 357 do Conama para corpos d'água doce de Classe II (BRASIL, 2005).

Entretanto, para as amostras do ponto D, todas apresentaram contaminação por *Escherichia coli* com valores superiores a 1000 NMP/100 mL, o que corresponde ao VMP pela legislação. Para o ponto D, todas as amostras apresentaram resultados superiores a 2200 NMP/100 mL de *Escherichia coli*, sendo que houve diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre as amostras desse ponto em diferentes momentos de coleta, exceto para as amostras 1D e 2D que não diferiram entre si. As coordenadas referentes ao ponto D, correspondem ao local próximo à ponte que liga as cidades de Mandaguari-PR e Arapongas-PR, na rodovia Hermínio Pennacchi (PR-444). Nesse contexto, verificam-se várias possibilidades de razões pelos elevados índices de *Escherichia coli* encontrados no corpo receptor dessa região do rio. Uma das possíveis causas seriam redes de esgoto doméstico clandestinas de casas ribeirinhas ou de indústrias da região, lançadas diretamente no rio. Além disso, próximo às margens, existe acesso direto de gado e outros animais ao corpo d'água.

Alves et al. (2008) monitoraram a qualidade da água do rio Pirapó em cinco pontos (sendo um deles, localizado próximo ao ponto D deste estudo) e foi constatada a presença de *Escherichia coli* em quantidades superiores ao limite estabelecido pela legislação pertinente. Segundo os autores, esta elevada presença de *E. coli* pode estar relacionada a fontes poluidoras oriundas do lançamento de despejos domésticos. Também, estudo de Cassaro e Correia (2005) apontou o lançamento de diversos efluentes com carga biológica e poluentes orgânicos na nascente do rio Pirapó, localizada no município de Apucarana-PR.

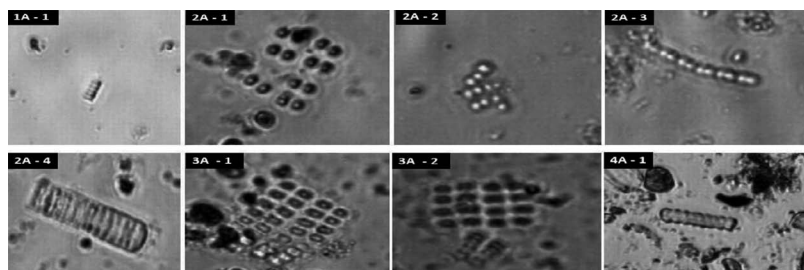
Segundo a Tabela 01, a concentração (n° cél./100mL) de cianobactérias de todas as amostras coletadas nos pontos A, B, C e D no decorrer dos 120 dias de monitoramento, foram inferiores ao VMP pela legislação, ou seja, encontram-se dentro dos limites estabelecidos pela Resolução n° 357 do Conama para corpos d'água doce de Classe II (BRASIL, 2005).

Com relação ao mesmo período de coleta, mas em diferentes pontos, sempre houve diferença significativa ($p \leq 0,05$)

da concentração de cianobactérias de diferentes pontos em um mesmo período de coleta, indicando que o ponto de coleta é um fator diferencial na amostragem de um mesmo momento temporal. Avaliando cada ponto de coleta em diferentes momentos, no ponto A, a maior quantidade de cianobactérias foi identificada na amostra da terceira semana de janeiro (3A). No ponto B, a maior contagem de cianobactérias foi encontrada em novembro de 2019 (1B). No ponto C, a maior contagem de cianobactérias se deu em fevereiro de 2020 (4C). E, por fim, no ponto D, a maior concentração de cianobactérias ocorreu na primeira semana de janeiro de 2020 (2D).

Na Figura 03 estão ilustradas, a partir de fotografias, as principais cianobactérias e microalgas encontradas nas amostras do ponto A e, a seguir, uma descrição sucinta dos principais táxons encontrados nas amostras desse ponto.

Figura 03: Fotografias das principais cianobactérias evidenciadas nas amostras 1A, 2A, 3A e 4A de água *in natura* do rio Pirapó.



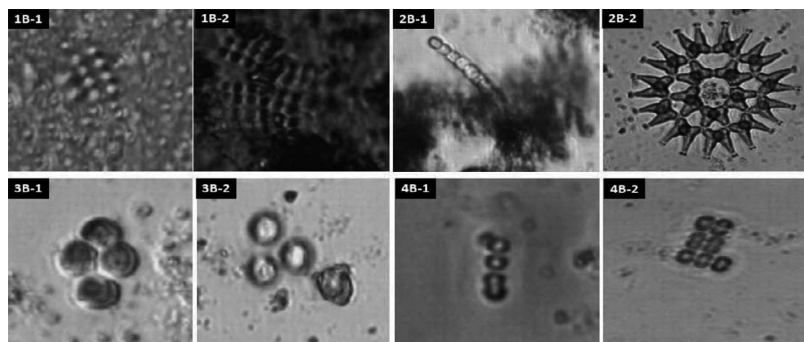
Fonte: Os autores (2020)

Para a amostra 1A, foram identificadas cianobactérias da ordem Spirulinales, família Spirulinaceae, com taxonomia provável de *Spirulina subsalsa* (Figura 03-1A-1). De acordo com Guiry e Guiry, (2020), essa ordem de cianobactérias apresenta algumas características como sendo regularmente enroladas em forma de parafuso ao longo de todo o comprimento do tricoma, com largura inalterada. Os espirais formados na estrutura desses organismos são muito apertados, tocando um no outro ou com

pequenos espaços entre eles, compostos de células cilíndricas móveis (GUIRY; GUIRY, 2020). Na amostra 2A, foi verificada a presença de cianobactérias da ordem Synechococcales, família Merismopediaceae, gênero *Merismopedia* (Figura 03-2A-1,2). Ainda, foi possível identificar representantes da ordem Oscillatoriales, família Gomontiellaceae, gênero *Komvophoron* (Figura 03-2A-3), e ordem Oscillatoriales, família Oscillatoriaceae, correspondendo provavelmente à espécie *Oscillatoria limosa* (Figura 03-2A-4). Para a amostra 3A, foi possível identificar a provável ocorrência de *Merismopedia* (Figura 03-3A-1,2). Na amostra 4A, foi identificada apenas a provável ocorrência de cianobactérias *Spirulina subsalsa* (Figura 03-4A-1).

Na Figura 04 estão ilustradas, a partir de fotografias, as principais microalgas encontradas nas amostras do ponto B e, a seguir, uma descrição sucinta dos principais táxons encontrados nas amostras desse ponto.

Figura 04: Fotografias das principais cianobactérias e microalgas evidenciadas nas amostras 1B, 2B, 3B e 4B de água bruta do rio Pirapó.



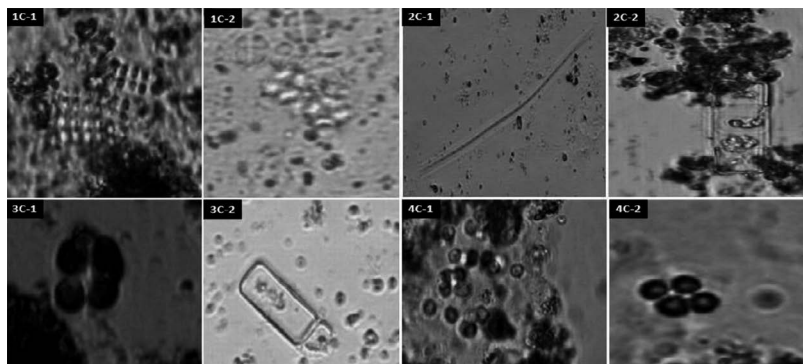
Fonte: Os autores (2020)

Para a amostra 1B, foi verificada a presença de cianobactérias de taxonomia provável referente ao gênero *Merismopedia* (Figura 04-1B-1,2). Na amostra 2B, foram identificados representantes de cianobactérias, provavelmente da ordem Oscillatoriales

(Figura 04-2B-1), além de algas verdes da divisão Chlorophyta, possivelmente da família Hydrodictyaceae (Figura 04-2B-2). Em relação à amostra 3B, foram identificadas cianobactérias da ordem Chroococcales (Figura 04-3B-1,2). Na amostra 4B, foram identificadas cianobactérias da ordem Synechococcales (Figura 04-4B-1), com possíveis representantes do gênero *Merismopedia* (Figura 04-4B-2).

Na Figura 05 estão ilustradas, a partir de fotografias, as principais microalgas encontradas nas amostras do ponto C e, a seguir, uma descrição sucinta dos principais táxons encontrados nas amostras desse ponto.

Figura 05: Fotografias das principais cianobactérias e microalgas evidenciadas nas amostras 1C, 2C, 3C e 4C de água bruta do rio Pirapó.

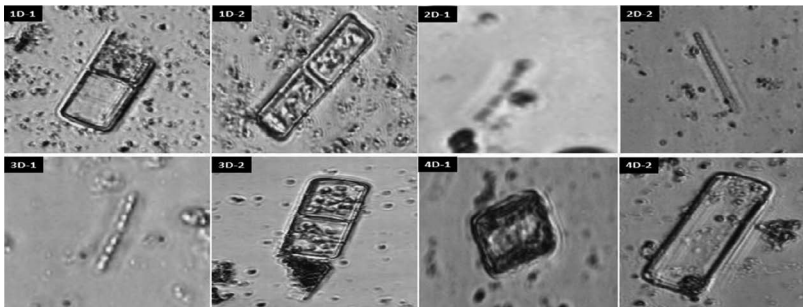


Fonte: Os autores (2020)

Na amostra 1 foram identificadas cianobactérias possivelmente representando o gênero *Merismopedia* (Figura 05-1C-1), além de algas verdes da divisão Chlorophyta, possivelmente *Tetrastrum triangulare* (Figura 05-1C-2), da família Scenedesmaceae, ordem Sphaeropleales. Na amostra 2C, foram verificadas cianobactérias possivelmente da ordem Spirulinales (Figura 05-2C-1), além de diatomáceas, possivelmente do gênero *Melosira* (Figura 05-2C-2). Na amostra 3C, foram identificadas as cianobactérias

da ordem Chroococcales (Figura 05-3C-1), além de diatomáceas possivelmente do gênero *Melosira* (Figura 05-3C-2). Na amostra 4C, verificou-se a presença de cianobactérias da ordem Chroococcales (Figura 05-4C-1,2). Na Figura 06 estão ilustradas, a partir de fotografias, as principais microalgas encontradas nas amostras do ponto D e, a seguir, uma descrição sucinta dos principais táxons encontrados nas amostras desse ponto.

Figura 06: Fotografias das principais cianobactérias e microalgas evidenciadas nas amostras 1D, 2D, 3D e 4D de água bruta do rio Pirapó.



Fonte: Os autores (2020)

Na amostra 1D, constatou-se a presença de diatomáceas, possivelmente do gênero *Melosira* (Figura 06-1D-1,2). Na amostra 2D, foram identificadas cianobactérias de taxonomia provável de *Romeriavictoriae* (Figura 06-2D-1), da família Lep-*to*lyngbyaceae, ordem Synechococcales, além de cianobactérias da ordem Spirulinales (Figura 06-2D-2). Na amostra 3D, foi possível identificar representantes da ordem Oscillatoriales (Figura 06-3D-1), bem como diatomáceas, possivelmente, do gênero *Melosira* (Figura 06-3D-2). As imagens da amostra 4D também retratam diatomáceas. Em todas as amostras analisadas, detectou-se a presença de cianobactérias, além de microalgas, mas sempre dentro dos limites estabelecidos pela Resolução nº 357 do Conama para corpos d'água doce de Classe II (BRASIL, 2005). Não houve, portanto, preocupação com a quantidade de

cianotoxinas. A importância da detecção de cianobactérias em água para consumo humano está relacionada, principalmente, à presença de seus metabólitos secundários (cianotoxinas) com efeitos neurotóxicos (neurotoxinas) e hepatotóxicos (hepatotoxinas), quando em concentrações elevadas desses organismos nos corpos d'água.

De modo geral, todas as cianobactérias são potencialmente produtoras de cianotoxinas. Algumas estão diretamente relacionadas a produção de neurotoxinas como, por exemplo, os gêneros *Aphanizomenon*, *Arthrospira*, *Cylindrospermum*, *Oscillatoria*, *Phormidium*, *Anabaena*, *Raphidiopsis*, *Cylindrospermopsis*, *Hydrocoleume* *Lyngbya* (BRASIL, 2015). Já, a produção de hepatotoxinas relacionam-se aos gêneros *Anabaena*, *Anabaenopsis*, *Aphanocapsa*, *Fischerella*, *Gloeotrichia*, *Hapalosiphon*, *Microcystis*, *Nostoc*, *Oscillatoria*, *Phormidium*, *Planktothrix*, *Radiocystis*, *Synechocystis*, *Cylindrospermopsis*, *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Raphidiopsis* *Noctularia* (BRASIL, 2015).

Considerações finais

Foi possível depreender que, os quatros pontos do rio Pirapó monitorados durante 120 dias, não apresentaram contaminação por BTEX, nitrato e nitrito, sendo possível indicativo de que não houve contaminação proveniente de derivados do petróleo, como gasolina para automóveis, bem como, por efluentes industriais e resíduos de atividades agrícolas.

Em relação à contagem de cianobactérias, todas as amostras analisadas encontraram-se dentro dos limites estabelecidos pela legislação vigente. Já, sobre o parâmetro bacteriológico, constatou-se contaminação por *Escherichia coli* no ponto D, em todo período de estudo, indicando contaminação do rio por fontes poluidoras de origem fecal, como efluentes de estações de tratamento de esgotos e despejos clandestinos de esgoto sanitário.

Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil**. Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA, 2019.

ALABURDA, J.; NISHIHARA, L. Presença de compostos de nitrogênio em águas de poços. **Revista de Saúde Pública**, São Paulo, v. 32, n. 2, p. 160-165, 1998.

ALVES, E. C. et al. Avaliação da qualidade da água da bacia do rio Pirapó Maringá, Estado do Paraná, por meio de parâmetros físicos, químicos e microbiológicos. **Acta Scientiarum Technology**, Maringá, v. 30, n. 1, p. 39-48, jan. 2008.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 23 ed. Washington: APHA, AWWA, WPCF, 2017.

BEZERRA, P. G. et al. Indicadores geoquímicos de contaminação por compostos orgânicos voláteis em águas subterrâneas da Bacia do Rio Lucaia, Salvador, Bahia. **Revista Brasileira de Geociências**, [s.l.], v. 42, n. 1, p. 238- 244, 2012.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS**. Brasília: Funasa, 2014.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. Portaria de Consolidação nº 5 – Anexo XX /Ministério da Saúde. Brasília: 2017.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Cianobactérias/cianotoxinas: procedimentos de coleta, preservação e análise**. Brasília: Ministério da Saúde, 2015.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano**. Brasília: Ministério da Saúde, 2006.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. CONAMA. **Resolução 357** de 17 de março de 2005. Brasília, 2005.

CANTAGARI, M. G. et al. Agri-sistema para análise e separação de médias em experimentos agrícolas pelos métodos Scolt- Knott, Tukey e Duncan. **Revista Brasileira de Agrocomputação**, v.1, n. 2, p 18-24. 2001.

CASSARO, L.; CARREIA, M.F. Fatores de degradação ambiental da bacia de captação de água para a cidade de Maringá – rio Pirapó. **Sanare**, Curitiba, v. 16, p. 41-47, 2005.

FOLLMANN, F. M.; FOLETO, E. M. Recarga de Aquífero em Santa Maria/RS: a importância desta área protegida. **Reflexões sobre a Geografia do Rio Grande do Sul: Temas em Debate**. Santa Maria: UFSM, 2010. p. 223- 233.

GUIRY, M.D; GUIRY, G.M. 2020. **AlgaeBase**. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. Disponível em:<<https://www.algaebase.org>>. Acesso em 05. de mai. 2020.

KLEPKA, V. Qualidade da água na bacia do rio Pirapó: uma análise das condições bióticas e abióticas. **Diálogos & Saberes**, Mandaguari, v. 7, n. 1, p. 9-17. 2011.

MACEDO, C. F.; SIPAÚBA-TAVARES, L. H. Eutrofização e qualidade da água na piscicultura: consequências e recomendações. **Bol. Inst. Pesca**, São Paulo, Vol. 36, n 2, p.149-163, 2010.

MARTINS, R. T. M. C.; REZENDE, C. S. A. Comparação dos padrões de Balneabilidade das praias de palmas, estado de Tocantins, no período de 2007 a 2009. **Boletim do Laboratório de Hidrobiologia**. Tocantins, v. 24, n.2. p 59-63. 2011.

MONTANHA, F. P.; ASTRAUSKAS, J. P.; KIRNEW et al. Degradação de ambientes aquáticos por exposição a compostos Químicos. **Revista Científica Eletrônica de Medicina Veterinária**, Garça, n. 17, p. 1-12, jul. 2011.

OLIVEIRA, D. D. **Elaboração do Plano das Bacias: Pirapó, Parapanema 3 e 4**. Arquivo - Águas Paraná, p.2-30. 2016.

Plano Municipal de Saneamento Básico de Maringá, 2011. Disponível em:<<http://www.maringa.pr.gov.br/saneamento/pmsb1.pdf>>. Acesso em 03 de abr. 2020.

ROVERI, V.; MUNIZ, C. C. Contaminação microbiológica por *Escherichia coli*: estudo, preliminar, no canal de drenagem urbana da av. Lourival Verdeiro do Amaral – São Vicente/SP. **Revista Don Domênico**, Guarujá, n. 8, p. 1-9, jul. 2016.

SANT'ANNA, C. L.; TUCCI, A.; AZEVEDO, M. T. P.; et al. **Atlas de cianobactérias e microalgas de águas continentais brasileiras**. Publicação eletrônica: Instituto de Botânica. 2012. Disponível em: <https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/institutodebotanica/wp-content/uploads/sites/235/2013/09/virtuais_3atlas.pdf>. Acesso em 10 de jan. 2020.

SCHNEIDER, R. M. et. Al. Estudo da influência do uso e ocupação de solo na qualidade da água de dois córregos da Bacia hidrográfica do rio Pirapó. **Acta Scientiarum Technology**. Maringá, v. 33, n. 3, p. 295-303, 2011.

SILVA, N.; JUNQUEIRA, V C. A. **Manual de métodos de análises microbiológicas de alimentos**. 2.ed. São Paulo: Varela, 2001.

TIBURTIUS, E. R. L.; PERALTA-ZAMORA, P.; EMMEL, A. Degradação de benzeno, tolueno e xilenos em águas contaminadas por gasolina, utilizando-se processos foto-Fenton. **Química Nova**, São Paulo, v. 32, n. 8, p. 2058-2063, 2009.

UDEH C, BITTIKOFER J, SUM-PING STJ – Severe methemoglobinemia on reexposure to benzocaine. **J Clin Anesth**, 13, p. 128-130, 2001.

VANIN, A. P.; BALDASSO, C.; ZENI, M. Utilização de eletrodialise na remoção de compostos nitrogenados visando melhorar a qualidade da água potável. 23º CBECiMat - **Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais**. 04 a 08 de novembro de 2018, Foz do Iguaçu, PR, Brasil. p. 8535- 8543.

WILBUR, S., BOSCH, S. Interaction profile for: benzene, toluene, ethylbenzene, and xylenes (BTEX) U.S. **Department of Health and Human Services Public Health Service Agency for Toxic Substances and Disease Registry**. ATSDR: 2004. Disponível em: <<https://www.atsdr.cdc.gov/interactionprofiles/IP-btex/ip05-p.pdf>>. Acesso em: 26 de nov. 2019.

Capítulo 24

CURVA DE CONSUMO: SAA DE ÁGUA DE PONTA GROSSA – PR

Luiz Fernando Wagner
Dyego L. Ferraz Caetano

Introdução

A previsão do consumo de água é um dos fatores fundamentais para o planejamento, gerenciamento e operação dos sistemas de abastecimento público de água potável. O dimensionamento desses sistemas é uma tarefa desafiadora para as companhias de saneamento, principalmente nos grandes centros urbanos, pois a projeção do consumo de água depende de uma série de fatores (TZATCHKOV; AL-COCER-YAMANAKA, 2016).

Um dos fatores que afetam as vazões de dimensionamento é a variação sazonal do consumo de água. No abastecimento de uma determinada área podem ser observadas variações anuais, mensais, diárias, horárias e instantâneas no consumo de água (MOREIRA, 2018; TSUTIYA, 2006).

O conhecimento da variação desse consumo em uma determinada região, ao longo do tempo, é fundamental para a operação do sistema, bem como para o controle de outras variáveis como a vazão e a pressão na rede e as perdas no sistema distribuidor (BARRETO, 2008; GUIDI; SILVA; LUVIZOTTO JR., 2015).

De acordo com a norma brasileira NBR 12211, que trata dos estudos de concepção de sistemas públicos de abastecimento de água, a demanda adotada no dimensionamento deve ser calculada sempre tomando como base as condições locais e levando-se em conta os coeficientes do dia de maior consumo – k_1 e da hora de maior consumo – k_2 (ABNT, 1992).

A curva de consumo de um sistema de abastecimento de água (SAA) normalmente é obtida a partir de uma série de medições contínuas da vazão de saída de uma fonte ou reservatório que abastece a rede de distribuição. A partir da curva de consumo, obtêm-se os valores dos coeficientes de majoração k_1 e k_2 (TZAT-CHKOV; ALCOCER-YAMANAKA, 2016).

Em muitos casos, os dados para compor a curva de consumo de água de uma localidade podem ser obtidos através dos Centros de Controle Operacional (CCO), que concentram os registros de operação do sistema, tais como vazão e pressão em diversos pontos da rede de distribuição.

O SAA de Ponta Grossa-PR é atualmente administrado pela Sanepar. A gestão do SAA é feita a partir de um CCO, que concentra dados de vazão e pressão em diversos pontos da rede de distribuição, além dos níveis dos reservatórios e dados do funcionamento dos conjuntos motobombas das diversas elevatórias existentes no sistema, tais como a potência e corrente elétrica de funcionamento.

A proposta deste capítulo consiste em obter a curva de consumo de água do município de Ponta Grossa-PR, analisando os dados registrados no CCO, relativos à vazão de saída de um dos principais reservatórios de distribuição do sistema, obtida do medidor eletromagnético nele instalado. Com a curva de consumo, também é possível obter os valores reais dos coeficientes k_1 e k_2 do sistema de abastecimento de água.

Por se tratar de um trabalho inédito aplicado neste SAA, os dados se mostram relevantes do ponto de vista econômico e ambiental, visto que podem auxiliar na compreensão do consumo de água no município, assim como de sua variabilidade no decorrer

do tempo. A obtenção desses dados também poderá ser utilizada como base para determinação das vazões de dimensionamento de diversas unidades do sistema, em futuros projetos de ampliação.

Coeficientes de majoração e curva de consumo

O crescimento da população dos grandes centros urbanos é um dos desafios das companhias de abastecimento, exigindo dos seus gestores uma programação antecipada quanto às obras de ampliação e demais intervenções necessárias no sistema de abastecimento, objetivando a continuidade do serviço de forma satisfatória (GUIDI; SILVA; LUVIZOTTO JR., 2015; TINO et al., 2017).

A determinação das vazões de demanda é o ponto de partida para os estudos de implantação e ampliação dos sistemas de abastecimento de água (NINOMIYA; KELLNER; AKUTSU, 2013). As vazões de projeto, por sua vez, dependem, dentre outras coisas, dos coeficientes de majoração de vazão k_1 e k_2 . A NBR 12211 define o k_1 e o k_2 , de acordo com as Equações 1 e 2 demonstradas a seguir (ABNT, 1992):

$$k_1 = \frac{\text{maior consumo diário anual}}{\text{consumo médio diário anual}} \quad (1)$$

$$k_2 = \frac{\text{máxima vazão horária do dia de maior consumo}}{\text{vazão média do dia de maior consumo}} \quad (2)$$

A NBR 12218, que trata do projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público, recomenda que, quando não se tem dados disponíveis da localidade em estudo, devem ser adotados os valores de 1,2 para o k_1 e 1,5 para o k_2 (ABNT, 2017).

O consumo urbano de água sofre variações sazonais, tanto ao longo das horas do dia quanto ao longo dos dias do ano, e depende do período do dia, do dia da semana, da estação do ano, da temperatura, da ocorrência de chuva, dentre outros fatores (ALMEIDA, 2007; ODAN, 2013; SILVA, 2003; TINO et al., 2017). A

Figura 01 mostra a curva de consumo diário de água do sistema distribuidor do município de Apucarana-PR, obtida a partir dos dados do CCO existente na localidade (GASPARINI, 2017):

Figura 01: Curva de consumo diário de água de Apucarana-PR.



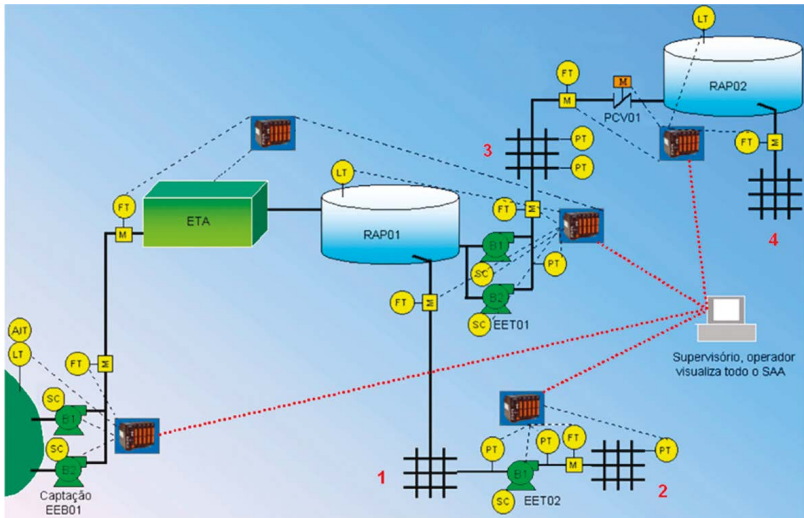
Fonte: Gasparini (2017)

Conhecer como a demanda de água varia no tempo é de fundamental importância para os gestores dos sistemas urbanos de abastecimento de água, não só para operação dos sistemas, bem como para a correta previsão das obras de ampliação (BRENTAN et al., 2014; LOMBARDI et al., 2018). Os sistemas de abastecimento público de água estão ficando cada vez mais extensos e complexos, principalmente nos grandes centros urbanos. Isso exige investimentos cada vez maiores na automação dos sistemas, concentrando os dados importantes no CCO (FALKENBERG, 2005).

Os dados obtidos dos instrumentos de medição (nível, pressão, vazão) e dos acionadores (estado das bombas e abertura das válvulas) são utilizados pelos Controladores Lógicos Programáveis (CLP) no processo de automação e enviados ao CCO, onde são trabalhados através do sistema supervisor do tipo SCADA – *Supervisory Control and Data Acquisition* (VICENTE, 2005).

Segundo Tsutiya (2006), o SCADA possui duas funções distintas: o controle supervísório remoto dos acionadores (bombas e válvulas) e a aquisição de dados dos instrumentos de medição (nível, pressão, vazão), configurando-se como uma ferramenta poderosa de otimização operacional em sistemas de abastecimento. A Figura 02 traz uma representação esquemática da topologia genérica de um sistema de supervisão e controle do tipo SCADA, utilizado em um sistema de abastecimento de água.

Figura 02: Topologia genérica de um sistema supervísório de um SAA.



Fonte: Falkenberg (2005)

Materiais e métodos

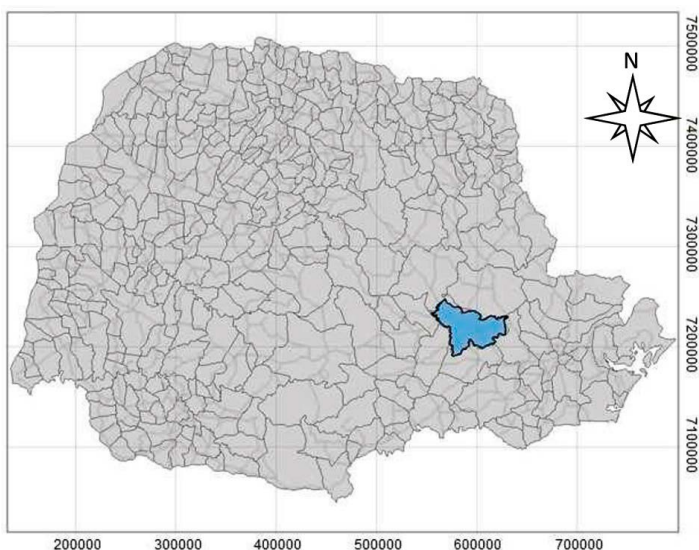
O município de Ponta Grossa-PR está localizado a 114 km da capital paranaense (Figura 03), com população estimada em 311.611 segundo dados do censo de 2010 (IBGE, 2010).

O SAA de Ponta Grossa-PR atualmente é administrado pela Sanepar e possuía 118.687 ligações totais de água em dezembro de 2019. Atualmente o município conta com seis reservatórios de

distribuição de água, sendo quatro Reservatórios Apoiados (RAP) e dois Reservatórios Semienterrados (RSE):

- RAP 1 (ETA) - 4000 m³
- RAP 2 (Suíço) - 5000 m³
- RAP 3 (Los Angeles) - 5000 m³ + 5000 m³ + 5000 m³
- RAP 4 (Jóquei) - 5000 m³
- RSE 1 (Centro) - 2700 m³
- RSE 2 (Futsal) - 5300 m³

Figura 03: Localização do município de Ponta Grossa-PR.



Fonte: Wagner (2015)

Na presente pesquisa, foi escolhido o reservatório RAP 2 (Suíço), com capacidade de 5000 m³, que abastecia, por gravidade, aproximadamente 22.310 ligações totais de água em dezembro de 2019. Na saída do reservatório, existe um medidor eletromagnético de vazões, instalado em uma tubulação de diâmetro 600 mm, composto por um tubo sensor marca Engistrel, modelo 570TM, e um transmissor da marca Yokogawa, modelo AM11.

Os valores de vazão são transmitidos ao CCO através de uma linha de fibra ótica. O CCO faz o registro do volume totalizado pelo medidor a cada hora, através do sistema supervisorio do tipo SCADA. Foram obtidos os volumes horários totalizados pelo CCO no período entre 01/04/19 e 31/12/19. No mês de março de 2019, foi implantado um novo programa no supervisorio do CCO, impossibilitando a utilização dos dados registrados nos períodos anteriores a esta data.

Com os valores dos volumes totalizados pelo medidor, foi possível obter o consumo de água de cada um dos dias analisados e o consumo médio diário registrado no período de estudo. A partir dos valores observados para o consumo diário de água e para o consumo médio diário do período de pesquisa, foi obtida a curva de variação diária de consumo de água, bem como o valor correspondente ao k1.

Com os valores de volumes totalizados de hora em hora, também foi possível obter o consumo horário para cada uma das 24 horas registradas e o consumo médio horário de água para cada um dos dias de estudo. Na sequência, foi calculada a razão entre o consumo horário e o consumo médio diário, para cada uma das 24 horas do dia, e, com estes dados, obteve-se o gráfico com a curva de variação horária de consumo de água, assim como o correspondente valor do k2, para cada um dos dias estudados.

Para efeito de comparação dos resultados, foram obtidos, por meio do *site* do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET)¹, os dados de temperatura média diária e da altura de chuva acumulada em 24 horas, para cada um dos dias de estudo. Por não haver dados do município de Ponta Grossa-PR, foram utilizados os dados da estação meteorológica mais próxima, localizada no município de Castro, distante 32 km de Ponta Grossa-PR.

Resultados e discussão

Os valores obtidos para o consumo de água na saída do RAP 2 para cada um dos dias de estudo encontram-se na Tabela 01.

1 IN: www.inmet.gov.br

Tabela 01: Consumo de água na saída do RAP 2 (m³) no município de Ponta Grossa-PR.

Dia	Abr/19	Mai/19	Jun/19	Jul/19	Ago/19	Set/19	Out/19	Nov/19	Dez/19
1	20082	17750	18009 ^{S*}	18790	19128	16617 ^D	20146	20282	19402 ^D
2	19601	18531	16793 ^{D*}	18540	18639	18171*	20289	20608 ^S	19909
3	19030	19130	19039*	17923	18186 ^{S*}	18024*	19799	19027 ^D	19680
4	18679	19105 ^S	19173	17933*	16931 ^{D*}	17597*	21014	20695	19242
5	19574	18000 ^D	18273	18112*	18059*	17411*	21188 ^S	19467	18873
6	18402 ^{S*}	19023	18360*	17565 ^S	19054*	17766*	12561 ^{D*}	18948*	20219
7	20511 ^{D*}	18282*	19082	17009 ^D	19318	19800 ^{S*}	19623*	19308	20176 ^S
8	18057*	18208*	19253 ^S	18549	19611	18566 ^D	19703*	20008	17894 ^D
9	18154*	18249	17490 ^D	18477*	20315	20117	19779	20185 ^S	18167
10	18768*	18757	12795	18345*	19665 ^S	20094	19619	18045 ^{D*}	19533
11	18956	17382 ^{S*}	19522	18568	18106 ^D	20153	20625	19274*	18728
12	19879	16895 ^D	18588	19274	19973	20274	20236 ^S	18981*	19907
13	19092 ^S	18338	18562	18953 ^S	18821	19196	18497 ^D	19185*	20336
14	18138 ^D	18283*	19194	17456 ^D	18832	19785 ^S	19734	18136*	19366 ^S
15	19481	17103*	19335 ^S	17001*	18757	18471 ^D	18110*	20050	18269 ^D
16	18793	17529*	17622 ^D	18300*	20186	20399	19177*	18862 ^S	17955
17	18827*	17307	18655	18029	20227 ^S	20681	19962	18276 ^D	18319
18	19600	17563 ^{S*}	17998	18015	18279 ^D	19044	20871*	20167	18308
19	18450	16842 ^D	18436	18716	17764*	17653*	20699 ^{S*}	20114	19497
20	19007 ^S	18502	18841	18309 ^S	18236*	18986*	17488 ^{D*}	20301	19531
21	16740 ^{D*}	18688	17980	17059 ^D	18560	17692 ^{S*}	17431*	20600	19122 ^S
22	19028*	18357	17280 ^S	18937	18794	17342 ^{D*}	19240*	21272*	18430 ^D
23	18875*	16230*	16915 ^D	18676	18608*	18913*	19098	20528 ^{S*}	20101
24	18936*	18403*	18740	18731	19177 ^S	18874*	19882	18110 ^{D*}	19742

(Tabela 01 – cont.)

(Tabela 01 – cont.)

Dia	Abr/19	Mai/19	Jun/19	Jul/19	Ago/19	Set/19	Out/19	Nov/19	Dez/19
25	19506*	18540 ^{S*}	18487	18674	12091 ^D	18624*	20769	20634	17506
26	19829*	17275 ^D	17017*	18377	20756	19630	20496 ^S	19684	20539
27	19408 ^{S*}	18493	17702	18546 ^S	19089	20042	18911 ^D	18688*	20484
28	16581 ^D	16688	18878	17527 ^D	18801	19707 ^S	19684*	19539*	19889 ^S
29	18928	17954*	18497 ^S	19541	19245	18366 ^D	20305*	21065*	18850 ^D
30	18377	17853*	17200 ^D	18270	19920	19868	20224*	21222 ^S	20302
31	-	12715*	-	19015*	18819 ^S	-	19490*	-	17717
Média	18910	17806	18124	18297	18772	18929	19505	19709	19226
P (mm)	68	167	103	22	37	83	109	180	119
T (°C)	19	17	15	13	14	17	20	20	20

Legenda: S = sábado; D = domingo; * = chuva; P = precipitação total; T = temperatura média diária

Fonte: Os autores (2019)

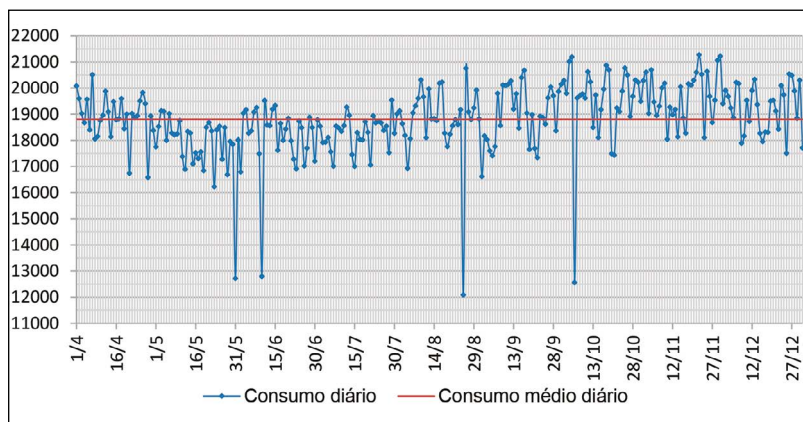
O dia de maior consumo registrado foi 22/11/19, uma sexta-feira, com o valor de 21.272 m³. Neste dia, apesar da ocorrência de chuva de 2mm, a temperatura média foi de 22°C, próxima da máxima de 24°C registrada neste estudo. O consumo médio diário de água no período de estudo foi de 18.807 m³, o que resultou num k1 igual a 1,13, cerca de 6% abaixo do valor recomendado pela NBR 12218 (ABNT, 2017), que é de 1,2.

Ninomiya, Kellner e Akutsu (2013), estudando o consumo de água em dois bairros de São Carlos-SP, entre os anos de 2005 a 2012, encontraram valores de k1, que variaram entre 1,06 a 1,20 para o loteamento Douradinho, e entre 1,15 e 1,64, para o loteamento Faber I. No estudo do consumo de água do distrito de medição e controle denominado de Ana Dorothea, na cidade de Franca-SP, os pesquisadores Guidi, Silva e Luvizotto Junior (2015) encontraram o valor de 1,18 para o coeficiente k1. Almeida (2007)

encontrou os valores de 1,15 e 1,25 para o coeficiente k_1 , ao estudar o consumo de água nos Conjuntos Habitacionais Glória I e Glória II, na cidade de Campo Grande-MS.

Assim, o valor encontrado para o coeficiente k_1 , no presente estudo, está próximo dos valores reportados em pesquisas semelhantes. A Figura 04 mostra os valores de consumo de água registrados na saída do RAP 2 para o período de estudo, assim como o consumo médio diário.

Figura 04: Consumo de água na saída do RAP 2 (m^3) em Ponta Grossa-PR.



Fonte: Os autores (2019)

Os valores registrados nos dias 31/05, 10/06, 25/08 e 06/10/19 ficaram bem abaixo da média, devido ao fato da ocorrência de obras programadas de ampliação em parte da rede de distribuição atendida, o que ocasionou a interrupção parcial do abastecimento, com consequente diminuição do consumo.

As médias de consumo de água estratificadas, em relação aos dias da semana, estão apresentadas na Tabela 02. A sexta-feira foi o dia da semana que apresentou o maior consumo diário, na média, com o valor de 19.329 m^3 .

Tabela 02: Consumo médio diário de água na saída do RAP 2 (m³) em Ponta Grossa-PR.

Dia	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
Consumo médio	18992	18920	18710	18909	19329	19228	17553

Fonte: Os autores (2019)

Os valores obtidos para o k2, para cada um dos dias de estudo, encontram-se na Tabela 03.

Tabela 03: Valores do coeficiente da hora de maior consumo (k2) em Ponta Grossa-PR.

Dia	Abr/19	Mai/19	Jun/19	Jul/19	Ago/19	Set/19	Out/19	Nov/19	Dez/19
1	1,37	1,41	1,43	1,41	1,37	1,41	1,30	1,34	1,41
2	1,33	1,41	1,44	1,36	1,44	1,39	1,34	1,40	1,35
3	1,33	1,40	1,43	1,40	1,41	1,31	1,35	1,39	1,37
4	1,30	1,43	1,40	1,33	1,43	1,31	1,35	1,45	1,25
5	1,41	1,45	1,41	1,40	1,36	1,33	1,38	1,37	1,24
6	1,42	1,43	1,41	1,42	1,40	1,45	1,43	1,34	1,39
7	1,44	1,37	1,42	1,46	1,40	1,49	1,28	1,33	1,37
8	1,31	1,31	1,47	1,46	1,39	1,48	1,36	1,34	1,39
9	1,33	1,34	1,47	1,39	1,37	1,41	1,40	1,37	1,25
10	1,32	1,38	1,42	1,42	1,47	1,37	1,36	1,37	1,31
11	1,34	1,35	1,36	1,42	1,42	1,35	1,38	1,31	1,32
12	1,39	1,45	1,38	1,40	1,40	1,36	1,45	1,32	1,32
13	1,46	1,42	1,37	1,46	1,29	1,34	1,43	1,32	1,39
14	1,43	1,39	1,43	1,44	1,34	1,39	1,45	1,34	1,33
15	1,41	1,33	1,47	1,34	1,36	1,39	1,29	1,48	1,40
16	1,35	1,39	1,45	1,43	1,34	1,39	1,34	1,34	1,30

(Tabela 03 – cont.)

(Tabela 03 – cont.)

Dia	Abr/19	Mai/19	Jun/19	Jul/19	Ago/19	Set/19	Out/19	Nov/19	Dez/19
17	1,30	1,34	1,43	1,39	1,41	1,32	1,34	1,35	1,29
18	1,39	1,44	1,35	1,38	1,45	1,37	1,37	1,39	1,36
19	1,44	1,44	1,42	1,44	1,31	1,29	1,37	1,31	1,37
20	1,40	1,42	1,41	1,42	1,34	1,38	1,34	1,31	1,46
21	1,37	1,42	1,45	1,47	1,30	1,36	1,31	1,32	1,41
22	1,37	1,41	1,39	1,47	1,39	1,37	1,37	1,31	1,41
23	1,32	1,25	1,47	1,42	1,37	1,41	1,30	1,42	1,41
24	1,33	1,38	1,44	1,42	1,38	1,35	1,33	1,34	1,38
25	1,38	1,46	1,41	1,42	1,45	1,34	1,35	1,37	1,38
26	1,39	1,48	1,38	1,47	1,26	1,37	1,40	1,33	1,42
27	1,40	1,43	1,40	1,44	1,37	1,39	1,41	1,24	1,36
28	1,30	1,24	1,42	1,39	1,34	1,44	1,43	1,29	1,33
29	1,43	1,32	1,49	1,44	1,38	1,46	1,32	1,34	1,36
30	1,38	1,39	1,49	1,43	1,40	1,40	1,36	1,36	1,39
31	-	1,42	-	1,39	1,49	-	1,31	-	1,45
Média	1,37	1,39	1,42	1,42	1,38	1,38	1,36	1,35	1,36

Fonte: Os autores (2019)

Segundo Tsutiya (2006), o consumo de água varia em função das condições climáticas e dos hábitos da população, sendo esperado um consumo mais elevado no verão e nos finais de semana, conforme verificado neste estudo.

De acordo com a NBR 12218 (ABNT, 2017), o coeficiente k_2 deve ser determinado no dia de maior consumo do SAA. Assim sendo, para o período estudado, este valor corresponde a 1,31, valor encontrado para o dia 22/11/19. Este valor é cerca de 13% inferior ao recomendado pela referida norma para os sistemas de abastecimento que não possuam dados reais, que é de 1,5.

Guidi, Silva e Luvizotto Júnior (2015) encontraram o valor de 1,56 para o coeficiente k_2 em seu estudo na cidade de Franca-SP. Gasparini (2017) encontrou o valor de 1,44 para o coeficiente k_2 , ao estudar o consumo de água na cidade de Apucarana-PR. Estudando a distribuição de água em Guanajuato, no México, Zapata (2015) encontrou o valor de 1,61 para o coeficiente k_2 . No estudo da cidade de Campo Grande-MS, Almeida (2007) encontrou os valores de 2,36 e 2,41 para os Conjuntos Habitacionais Glória I e Glória II, respectivamente.

Assim sendo, o valor de k_2 encontrado no presente estudo, no município de Ponta Grossa-PR, foi inferior aos valores encontrados nas pesquisas relatadas anteriormente, ficando mais próximo do valor encontrado por Gasparini (2017) em Apucarana-PR. A Tabela 04 mostra os valores do coeficiente k_2 estratificados em relação aos dias da semana.

Tabela 04: Valores de k_2 em função dos dias da semana no município de Ponta Grossa – PR.

Dia	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
k_2 – valor mínimo	1,25	1,24	1,24	1,24	1,31	1,33	1,30
k_2 – valor médio	1,39	1,36	1,35	1,36	1,39	1,41	1,42
k_2 – valor máximo	1,47	1,45	1,42	1,42	1,48	1,49	1,49
Pm (mm)	7	2	4	4	3	1	2
T (°C)	18	17	17	17	18	18	18

Legenda: Pm = precipitação total média; T = média das temperaturas médias diárias

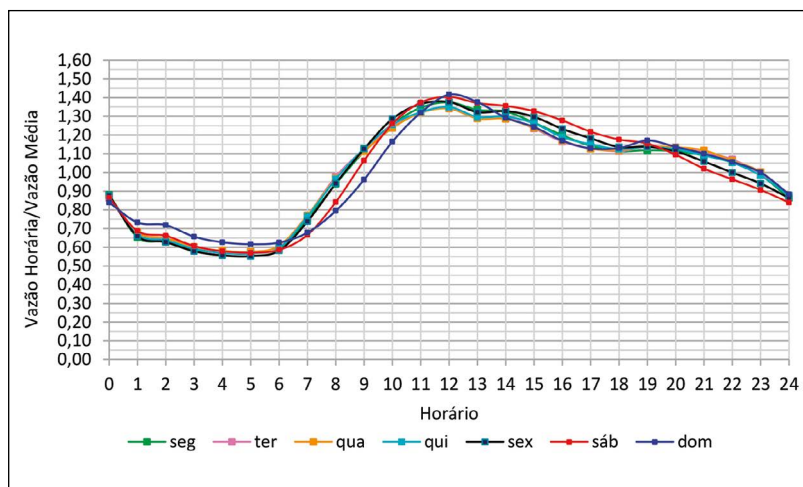
Fonte: Os autores (2019)

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 04, não houve grandes diferenças entre os dias da semana para os valores médios de k_2 , apesar de ter ocorrido diferença nas precipitações

médias observadas. As temperaturas médias também não mostraram grandes diferenças entre os dias da semana, no período de estudo. O maior valor de k_2 observado no estudo foi de 1,49, que ocorreu nos sábados dias 29/06/19, 31/08/19 e 07/09/19 e no domingo dia 30/06/19. O domingo foi o dia da semana que apresentou o maior valor médio de k_2 , com valor de 1,42, seguido do sábado, com valor médio de k_2 de 1,41.

A Figura 05 mostra as curvas de consumo diário de água, obtidas para cada um dos dias de estudo e estratificadas em relação aos dias de semana. As curvas foram construídas através da média aritmética simples dos valores individuais, observados entre os dias correspondentes, para cada uma das 24 horas do dia.

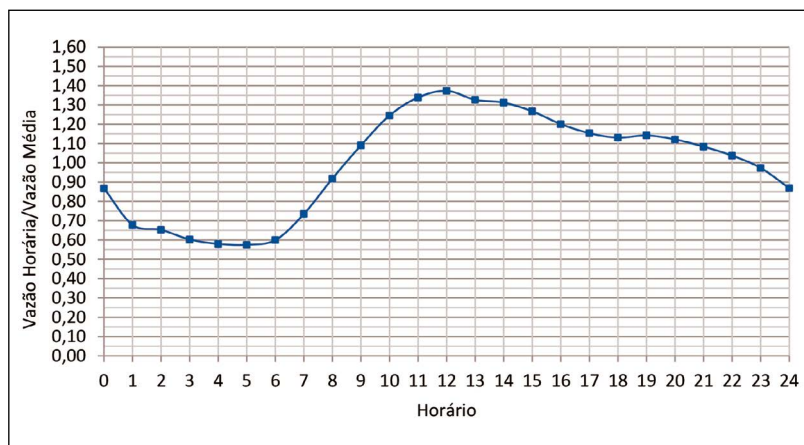
Figura 05: Curvas de consumo diário de água por dia de semana em Ponta Grossa-PR.



Fonte: Os autores (2019)

A partir das curvas de consumo diário de água na saída do RAP 2, obtidas para cada um dos dias de estudo, foi obtida a curva de consumo diário final do sistema, através da média aritmética simples dos valores individuais observados dia a dia (Figura 06).

Figura 06: Curva de consumo diário de água na saída RAP 2 em Ponta Grossa–PR.



Fonte: Os autores (2019)

A variação horária do consumo de água está relacionada principalmente aos hábitos de consumo, de forma que este vai crescendo à medida que o uso da água vai aumentando nas atividades domésticas, tais como a lavagem de roupas, a limpeza da casa e o preparo dos alimentos, sendo que o maior consumo normalmente ocorre entre dez e doze horas (TSUTIYA, 2006). No presente estudo, o pico de consumo ocorreu às doze horas.

Segundo Almeida (2007), conhecer a curva de consumo de água de um sistema de abastecimento é de suma importância para o desempenho dos sistemas de abastecimento público, visto que o uso dos coeficientes k_1 e k_2 , com valores mais próximos da realidade do sistema, permitirá o dimensionamento mais assertivo das unidades que o compõem. Além disso, Moreira (2018) e Vicente (2005) destacam que o conhecimento da curva de consumo de água do SAA é indispensável para a correta operação dos sistemas e para a programação das ações de redução do consumo de energia elétrica.

Considerações finais

O SAA de Ponta Grossa-PR apresentou valores dos coeficientes k_1 e k_2 bastante próximos dos recomendados pela NBR 12218 (ABNT, 2017). O k_1 ficou em 1,13 e o k_2 ficou em 1,31.

O dia de maior consumo foi verificado na penúltima sexta-feira do mês de novembro de 2019, sendo este também o dia que apresentou o maior consumo diário na média, em relação aos demais dias da semana. A segunda-feira foi o dia da semana com o maior valor de precipitação total média diária e não houve diferença significativa entre os dias da semana quanto à temperatura média observada. O sábado e o domingo foram os dias da semana que apresentaram os maiores valores individuais para o k_2 , com valor máximo de 1,49, e também foram os dias que apresentaram o maior valor médio de k_2 quando comparados com os demais dias da semana.

Foi possível obter a curva de consumo diário final do SAA de Ponta Grossa-PR, a partir da média dos dados observados em cada um dos dias de estudo. A curva média de consumo diário apresentou valor para o k_2 de 1,37, que corresponde à média dos valores observados dia a dia no período de estudo.

É importante destacar que a pesquisa compreendeu apenas nove dos doze meses do ano, não tendo sido avaliados os meses de janeiro, fevereiro e março, devido à inexistência de dados. Recomenda-se, portanto, cautela no uso dos valores encontrados e que, em pesquisas futuras, seja ampliado o período de estudo para, no mínimo, doze meses, de modo a possibilitar uma análise mais completa e verificar possíveis alterações nos valores encontrados na presente pesquisa.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 12211**: Estudos de concepção de sistemas públicos de abastecimento de água – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS– ABNT. **NBR 12218**: Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ALMEIDA, S. A. B. **Contribuição à aplicação de coeficientes de consumo em projetos de abastecimento de água e esgotamento sanitário em comunidades urbanas de baixa renda do nordeste do Brasil – estudo de caso**. 2007, 70 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2007.

BARRETO, D. Perfil do consumo residencial e usos finais da água. **Am-biente Construído**, Porto Alegre, v. 8, n. 2, 2008, p. 23-40.

BRENTAN, B. M. et al. Synthetic reconstruction of water demand time series for real time demand forecasting. **Journal of Water Resource and Protection**, n. 6, p. 1437- 1443, 2014.

COSTA, L. H. M.; CASTRO, M. A. H.; RAMOS, H. Utilização de um algoritmo genético híbrido para operação ótima de sistemas de abastecimento de água. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, 2010, p. 187-196.

FALKENBERG, A. V. **Previsão de consumo urbano de água em curto prazo**. 2005, 89 f. Dissertação (Mestrado em Métodos Numéricos). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

GASPARINI, R. R. Utilização de curva de consumo específico para auxílio na definição de conjunto motor-bomba para elevatória de água do tipo “booster”. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 29., 2017, São Paulo. **Anais eletrônicos**. São Paulo: ABES, 2017.

GUIDI, J. M. M.; SILVA, J. V. V.; LUVIZOTTO JR., E. Análise da variação de consumo de água utilizando dados obtidos por sistemas supervisórios remotos – estudo de caso: município de Franca/SP. In: DELGADO-GALVÁN, X.; RODRIGUEZ, J. M.; MEDEL, J. O. (Coord.) **Los servicios de agua y drenaje com una visión integral**. 1. ed. Guanajuato: Universidad de Guanajuato, 2015 p. 24-37.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **População no último censo**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.

LOMBARDI, F. et al. Daily water demand. **Revista Ambiente e Água**, Taubaté, v. 13, n. 5, 2018.

MOREIRA, F. N. C. **Dimensionamento do volume útil de reservação de água considerando o consumo de energia elétrica no horário de ponta do setor elétrico**. 2018, 141 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Pará, Pará, 2018.

NINOMIYA, G. A.; KELLNER, E.; AKUTSU, J. Análise comparativa do consumo de água de dois bairros da cidade de São Carlos (SP). **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, São Paulo, v. 1, n. 5, 2013, p. 107-122.

ODAN, F. K. **Estudo de confiabilidade aplicado à otimização da operação em tempo real de redes de abastecimento de água**. 2013, 210 f. Tese (Doutorado em Ciências). Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.

SILVA, C. S. **Previsão multivariada da demanda horária de água em sistemas urbanos de abastecimento**. 2003, 280 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

TINO, J. K. et al. Proposta de ferramenta de diagnóstico de vazão através das análises do coeficiente k₂, volumes de reservatórios e demandas dos sistemas de abastecimento de água. In: Congresso ABES Fenasan 2017. **Anais eletrônicos**. São Paulo: ABES, 2017. Disponível em: <<https://www.tratamentodeagua.com.br/wp-content/uploads/2018/10/I-206.pdf>>. Acesso em 16 de dez. 2020.

TSUTIYA, M. T. **Abastecimento de água**. 3. ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.

TZATCHKOV, V. G.; ALCOCER-YAMANAKA, V. H. Modelación de lavariación del consumo de aguapotable con métodos estocásticos. **Tecnología y Ciencias del Agua**, Morelos, v. 7, n. 3, 2016, p. 115-133.

VICENTE, R. V. **Modelo de operação para Centros de Controle de sistemas de abastecimento de água – Estudo de caso: sistema adutor metropolitano de São Paulo**. 2005, 139 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

WAGNER, L. F. **Avaliação do lançamento de lodo de ETA Actiflo® em ETE com reator anaeróbio no município de Ponta Grossa – PR**. 2015, 120 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária e Ambiental). Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2015.

ZAPATA, M. J. G. et al. Modelación y calibración hidráulica en periodo extendido para la red de distribución de agua potable y ubicación de válvulas para el control de presiones en la zona de “La Venata”, Guanajuato, Gto. México *In*: DELGADO-GALVÁN, X.; RODRIGUEZ, J. M.; MEDEL, J. O. (Coord.) **Los servicios de agua y drenaje con una visión integral**. 1. ed. Guanajuato: Universidad de Guanajuato, 2015. cap. 10, p. 112-125.

Capítulo 25

AVALIAÇÃO DE CUSTOS: LODO DE ESGOTO NA AGRICULTURA (CURITIBA E REGIÃO METROPOLITANA)

Suzana Maria Halitski Tomaz
Anelisa Ramão

Introdução

No atual cenário mundial, em que a preocupação com o meio ambiente é primordial, as empresas públicas e privadas de saneamento devem buscar alternativas sustentáveis de tratamento e destinação dos efluentes: “Este tratamento gera um resíduo sólido em quantidades variáveis segundo o tipo de esgoto e o sistema de tratamento adotado, denominado lodo de esgoto” (ANDREOLI e PEGORINI, 1998, p. 1).

O lodo de esgoto pode ser disposto e aproveitado de várias formas, sendo “em aterros sanitários exclusivos ou em codisposição com lixo, em lagoas próximas as ETEs, em superfície nos solos, no oceano, incinerado ou utilizado na agricultura”, (PEGORINI, 2002, p. 2), recuperando a “degradação física e química de solos”, (NAKAYAMA; OLIVEIRA; PERDONÁ, 2014, p. 3), na “fabricação de blocos de concreto para alvenaria” (GASPARIN, 2013, p. vii), e no “aproveitamento energético” (ROSA; CHERNICHARO; MELO, 2015, p. 57).

A alternativa de disposição agrícola do lodo é vista como mais atrativa sustentavelmente, devido aos seus aspectos social, ambiental e econômico, pois transforma o resíduo em um insumo rico em nutrientes para o solo, recuperando suas deficiências (PEGORINI, 2002).

O lodo de esgoto pode ser utilizado como fertilizante e condicionador de solos “para promover o crescimento de plantas, representa a possibilidade de associar ganhos para o produtor, por meio do aumento da produtividade das culturas e redução do uso de fertilizantes minerais” (GUEDES et al., 2006, p. 268). Já, para as empresas de saneamento, os maiores ganhos são sociais e ambientais pela efetivação de métodos adequados de disposição final desse resíduo, atendendo às normas ambientais brasileiras.

Além dos ganhos sociais e ambientais que a destinação agrícola traz, existe também o aspecto econômico, que reflete nos custos durante o processo de destinação. O custo com transporte dos insumos é visto muitas vezes, como um dos vilões nas empresas de saneamento. Isso ocorre pelo fato de, muitas vezes, não ser dada a devida importância ao resíduo, não sendo visto como um fertilizante que irá suprir as necessidades físicas/químicas do solo. Se comparados os benefícios do resíduo com o custo do transporte, este passa a ser irrisório, até por que, se ocorrer uma secagem extra desse resíduo, automaticamente diminuirá a quantidade a ser transportada, aumentando sua capacidade fertilizante (QUINTANA; BUENO; MELO, 2012).

Para mensurar os custos e as possibilidades de otimização, dentre as alternativas de destinação de lodo de Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), se para agricultura ou aterro sanitário para o município de Curitiba-PR e Região Metropolitana de Curitiba (RMC), o importante é manter a destinação correta dos resíduos, de forma que os resultados econômico-financeiros, sociais e ambientais, estejam norteando sustentavelmente a empresa. As alternativas de disposições que mais se enquadram no escopo da empresa devem ser avaliadas para que, se necessário, sejam efetuadas adequações nos processos relacionados. Neste capítulo

serão avaliados os custos de: estrutura de gestão; higienização; análise; carregamento, transporte e aplicação; investimentos e apoio agrônômico.

Diante do exposto, o objetivo é comparar os custos da disposição do lodo na agricultura com a disposição de lodo em aterro sanitário, avaliando onde estão os maiores custos e o que pode ser feito para otimizá-los.

Avaliação de custos das alternativas de destinação

A busca por alternativas de destinação correta do lodo de esgoto é um problema que vem aumentando nos últimos anos, pois, não havendo tais cuidados, o resíduo pode voltar ao ciclo inicial da água, contaminando os recursos hídricos e impactando diretamente na saúde humana e no meio ambiente. Para diminuir os impactos da destinação final dos resíduos, as empresas de saneamento buscam cada vez mais fazer a escolha correta de destinações ambientalmente sustentáveis (LEE, 2011).

Em 2006 o Conama publicou a Resolução nº 375/2006, orientando a prática de destinação de lodo na agricultura. O lodo de esgoto, apesar de trazer riscos à saúde e ao meio ambiente, por meio de grandes cargas patogênicas, também carrega um volume muito grande de matéria orgânica que, após passar pela higienização e controle de qualidade, está apta a ser destinada às áreas agrícolas. Atendendo aos critérios regulamentadores, a destinação agrícola passa a ser umas das práticas mais vantajosas ambientalmente disponíveis no Brasil (BRASIL, 2006).

Além do baixo custo e da segurança sanitária, a reciclagem agrícola tem sido considerada como vantajosa alternativa para o aproveitamento de biossólidos por apresentar também excelentes resultados na produção agrícola, uma vez que devolve ao solo os nutrientes removidos pela agricultura e melhora a resistência à erosão dessas terras (FERNANDES; SILVA, 1999).

A destinação do lodo para agricultura reduz os custos para o agricultor, que economiza com a compra de fertilizantes e traz grandes benefícios para o meio ambiente, diminuindo o consumo de combustíveis fósseis, reduzindo a adição de produtos químicos

ao solo e, por conseguinte, recompondo naturalmente a sua estrutura (BITTENCOURT, 2014).

A disposição de lodo na agricultura difere das outras alternativas devido à grande complexidade do processo, que depende da liberação de licenças ambientais, implantação de uma Unidade de Gerenciamento de Lodo (UGL), elaboração de projetos, divulgação com os agricultores e aptidão das áreas, formação, controle e rastreabilidade dos lotes de lodo (SAMPAIO, 2013).

Na reciclagem agrícola, além do ganho social e ambiental dessa alternativa, há o impacto econômico gerado devido aos vários custos provenientes das inúmeras etapas da destinação. Os custos mais significantes são com a higienização com cal e o transporte. Na higienização, além das despesas com os insumos, tem toda estrutura e mecanismos necessários para execução do processo. Já, os custos com transporte englobam vários fatores, como distância (quanto mais longe mais caro o valor do frete), condições do resíduo (quanto mais úmido o insumo, mais caro fica o transporte), condições do trajeto (se o trajeto não for bom, o caminhão tem que ser menor, o que aumenta o custo), capacidade do transporte (quanto menor o caminhão, maior o valor do frete) (CANZIANI et al., 1999).

Inversamente à alternativa agrícola, a destinação para aterro é menos complexa e pode, muitas vezes, ser mais viável economicamente, pois só depende do local para o aterro sanitário e do transporte. Do ponto de vista ambiental, porém, este tipo de destinação não traz benefícios, e ainda pode impactar negativamente os ecossistemas, com a contaminação dos solos e águas subterrâneas (BRINGHENTI, 2018).

Diante do exposto, além da viabilidade econômica, social e ambiental, é importante, “conhecer os processos logísticos para identificar as alternativas existentes em equipamentos, materiais e instalações, fator determinante para garantir a máxima eficiência do processo com o mínimo custo” (GODOY, 2013, p. 89), para posteriormente identificar a forma de disposição mais viável.

Materiais e métodos

O estudo apresentado neste capítulo, consiste em uma pesquisa documental com dados de planilhas, normativas, contratos e documentos (de 2019), os quais foram disponibilizados por diversas áreas da Sanepar. Assim, para avaliar o custo da Estrutura de Gestão, pesquisaram-se os dados junto à gerência de gestão de pessoas (GGPS); para o custo de higienização, as informações foram pesquisadas junto à gerência de tratamento de esgoto de Curitiba e região metropolitana de Curitiba-PR (GTESG); para o custo de análises, os números foram obtidos na GTESG e a Gerência de Gestão Ambiental (GGAM); para as despesas com carregamento, transporte e aplicação, buscaram-se os dados na GTESG; os gastos com investimento foram pesquisados junto à GTESG e à gerência de projetos KFW (GPKFW); os de manutenção, foram buscados na GPKFW; avaliaram-se os custos com apoio agrônômico, com os dados disponibilizados pela GGAM e GTESG e, por fim, para avaliar o que se gastou com aterro, utilizaram-se os dados informados pela GTESG.

Resultados e discussão

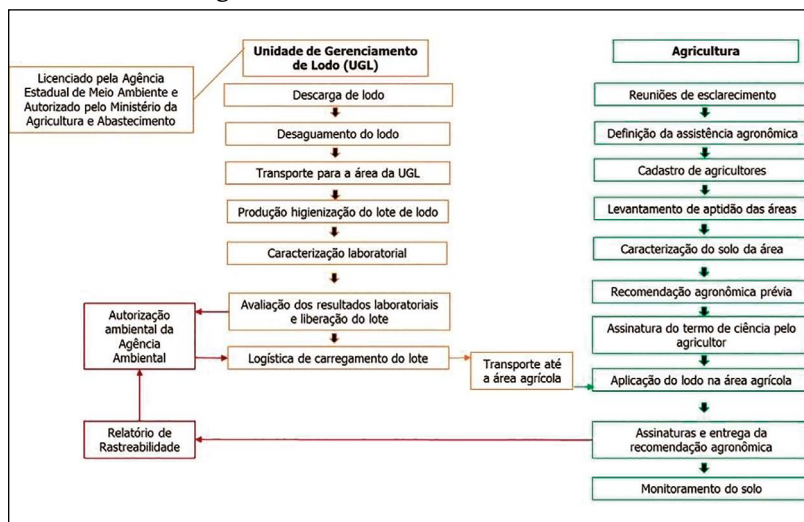
Na Figura 01, é possível observar vários caminhos a serem percorridos durante todo o processo para a disposição do lodo de ETE na agricultura, que vão, desde as licenças para o funcionamento de uma UGL, até o monitoramento do solo após a aplicação do lodo.

A estrutura de gestão para o processo de destinação de lodo de ETE na agricultura é composta por trabalhos administrativos e de programação de serviços, com estimativa de 12 dias anuais de dedicação de um agente técnico, para realização das contratações para atividades de higienização à aplicação do lodo e controle dos serviços administrativos.

O processo de higienização do lodo de esgoto adotado pela Sanepar é a Estabilização Alcalina Prolongada (EAP), que consiste na adição de cal calcítica (CaO) ou cal dolomítica (CaO + MgO) ao lodo de esgoto. Sobre o processo de higienização por EAP, segundo Bittencourt, Aisse e Serrat (2017, p. 1134), “é necessário

que o lote de lodo, depois de formado, permaneça no mínimo 60 dias armazenado em pátio (30 dias para o período de cura e 30 dias para a realização de análise de ovos viáveis de helmintos)”. Nos lotes de lodo que foram enviados para a agricultura em 2019 na RMC, foi adicionada uma proporção média de 30,8% de cal, tendo sido destinadas para a agricultura 7.449,42 toneladas de lodo e utilizadas 1.090 toneladas de cal para a higienização.

Figura 01: Fluxograma das etapas de gestão do processo de uso agrícola de lodo de esgoto.



Fonte: Manual de Uso Agrícola de Lodo de Esgoto da Sanepar - MN/OPE/0033-004

Conforme determina a Resolução Conama nº 375/2006, os parâmetros que devem ser analisados são os patogênicos, agrônômicos e inorgânicos do lodo e de agrônômicos e inorgânicos do solo. Foram realizadas análises laboratoriais para a caracterização dos lotes de lodo de esgoto para o uso agrícola e de caracterização de solo (parâmetros agrônômicos). As análises dos parâmetros patogênicos, agrônômicos e inorgânicos foram realizadas pelo laboratório da Sanepar, Gerência de Avaliação de Conformidades

(GACF), exceto as análises de vírus e substâncias orgânicas que foram feitas por laboratórios contratados.

Após a formação dos lotes de lodo e a aptidão dos mesmos para destinação na agricultura, começam os processos de carregamento, transporte e aplicação do lodo de esgoto na agricultura. Esse estudo avaliou os processos de destinação realizados no ano de 2019 para Curitiba-PR e RMC. O lodo destinado para agricultura saiu de três UGL's, CIC Xisto, Fazenda Rio Grande e Padilha Sul.

O custo com investimento foi avaliado por meio do levantamento junto à GTESG da estrutura existente nas UGLs com pátios de cura/estocagem de lodo, e sistema de dosagem e mistura de cal. Os custos com manutenção civil e eletromecânica da estrutura foram estimados em função da dificuldade de individualização dos custos específicos com as unidades envolvidas na reciclagem agrícola, em relação às despesas com a manutenção civil e eletromecânica geral das ETES da RMC. Assim, foram utilizados parâmetros contábeis adotados nos projetos do Programa Paraná Bem Tratado, da Sanepar, respectivamente 0,50% e 3% do custo de investimento realizado.

A assistência agrônoma constitui uma etapa de grande importância no programa de reciclagem agrícola e é realizada por um engenheiro agrônomo. Estima-se haver necessidade de 138 dias de trabalho de um engenheiro agrônomo no processo de destinação do lodo de esgoto na agricultura. Esse trabalho envolve algumas atividades específicas tais como: reuniões e cadastro de agricultores, levantamento e aptidão de áreas, projeto agrônomo, avaliação dos efeitos do lodo no solo antes e após aplicação, acompanhamento de produtividade e aceitação pública, acompanhamento na formação, envio e aplicação dos lotes de lodo de esgoto na agricultura.

A destinação final em aterro sanitário é contratada como operação única (custo único) envolvendo, o carregamento, o transporte e o aterro propriamente dito. Em 2019 a GTESG enviou

55.000,00 toneladas de lodo para aterro, a um custo médio estimado de R\$ 155,00 por tonelada.

Conforme está discriminada na Tabela 01, a distribuição do lodo de esgoto em 2019 foi destinada para 45 glebas agrícolas distribuídas em 5 municípios da RMC, a serem: Campo Largo, Balsa Nova, Lapa, Contenda e Araucária. Nesse mesmo ano, foram destinadas 7.449,42 toneladas de lodo, aplicadas em uma área de 423,5 hectares.

Tabela 01: Distribuição e aplicação do lodo na agricultura em 2019 na RMC.

Municípios	Quantidade recom. (ton)	Quantidade enviada (ton)	Área (ha)	Dose (ton/ha)	Cultura
Campo Largo, Balsa Nova, Lapa e Contenda	3161,10	3161,32	241,4	286,7	Soja
Contenda, Lapa e Araucária	2474,80	2471,76	94,2	279,6	Aveia
Lapa e Campo Largo	907,30	905,48	41,0	142,9	Milho
Campo Largo e Contenda	857,90	854,18	38,6	87,3	Cevada
Contenda	58,70	56,68	8,3	7,1	Trigo
Total	7459,80	7449,42	423,5	803,6	

Fonte: As autoras (2019)

Na Tabela 02, são apresentados os custos para as práticas de destinação de lodo pela GTESG em 2019, para as alternativas de disposição de lodo na agricultura e em aterro sanitário, com base no custo total realizado por item e por tonelada de lodo disposto.

Destaca-se que os valores apresentados são estimados e baseados na composição de custos, conforme descrito. Assim, para cálculo dos valores para investimento, foi estimada para o pátio

de lodo uma vida útil de 30 anos, para o pátio de estocagem e para o sistema de estocagem e mistura de cal, uma vida útil de 10 anos.

Tabela 02: Custos de destinação de lodo na agricultura e em aterro em 2019 – Curitiba e RMC.

Itens	R\$ Custos/ 2019	R\$ Agr/t transportada	R\$ Agr/ t produzi- da***	R\$ aterro t/2019	%
Investimento					
Pátio de lodo	R\$ 216.287,50	R\$ 29,03	R\$ 21,29	-	18,51%
Estocagem e Dosagem de Cal	R\$ 30.000,00	R\$ 4,03	R\$ 2,95	-	2,57%
Manutenção civil e eletromecânica					
Manutenção civil e eletromecânica	R\$ 59.443,13	R\$ 7,98	R\$ 5,85	-	5,09%
Pessoal					
Gestão do processo	R\$ 2.042,02	R\$ 0,27	R\$ 0,20	-	0,17%
Apoio Agrônômico	R\$ 82.634,40	R\$ 11,09	R\$ 8,13	-	7,07%
Insumos					
Higienização Cal	R\$ 301.976,89	R\$ 40,54	R\$ 29,73	-	25,85%
Serviços					
Análises de Lodo	R\$ 63.357,23	R\$ 8,50	R\$ 6,24	-	5,42%
Análises de Solo	R\$ 2.160,00	R\$ 0,29	R\$ 0,21	-	0,18%
Carregamento, Transporte e Aplicação	R\$ 398.824,02	R\$ 53,54	R\$ 39,26	-	34,14%
Combustível	R\$ 11.557,00	R\$ 1,55	R\$ 1,14	-	0,99%
Transporte e Aterro	R\$ 8.525.000,00	-	-	R\$ 155,00	-
Total	-	R\$ 156,82	R\$ 115,00	-	100,00%

*** Durante o processo de estocagem, o lodo perde umidade, o que resulta em redução da quantidade a transportar e enviar.

Fonte: As autoras (2019)

Para fins comparativos de custos entre as duas alternativas de destinação, adotou-se como referência o lodo desaguado, destinado para aterro, uma vez que durante o processo de estocagem utilizado para reciclagem agrícola, o lodo reduz sua umidade e, conseqüentemente, a massa para transporte. Assim, considerou-se teor de aproximadamente 20% de sólidos totais.

Neste cenário, os custos para destinação de lodo observados em 2019 apresentam vantagem clara para a reciclagem agrícola, com valores cerca de 26,27% inferiores. Assim, o custo unitário médio (R\$/t) para disposição em aterro sanitário corresponde a 155,00 reais (conforme contratos 29609/2018 e 36803/2019) e o custo unitário médio produzido (R\$/t) para destinação na agricultura compreende 115,00 reais. A alternativa de destinação do lodo para agricultura apresenta complexidade significativamente superior à destinação em aterro; por outro lado, houve vantagem econômica, além de ser expressivamente superior em termos de sustentabilidade.

A complexidade da destinação do lodo para agricultura é muito grande, pois envolve várias etapas, a infraestrutura para a produção dos lotes, que podem levar até 60 dias para estarem aptos à destinação, ao controle de produção de lotes conforme demanda agrícola. Não é sempre que as áreas agrícolas estão disponíveis para receber o insumo, além de uma equipe técnica responsável para conduzir a produção, a destinação, a aplicação e assistência da pós-aplicação (BITTENCOURT; AISSE; SERRAT, 2017).

Já, em relação à composição média unitária transportada, os custos e a proporção em relação ao custo total são: Investimento: R\$/t 33,06 – 21,08%; Manutenção: R\$/t 7,98 – 5,09%; Pessoal: R\$/t 11,37 – 7,25%; Insumos: R\$/t 40,54 – 25,85% e Serviços: R\$/t 66,35 – 40,73%.

Observa-se que os itens de maior relevância no processo, do ponto de vista operacional, são o transporte, confirmando os apontamentos da literatura especializada, e do tratamento para higienização, que envolve custos operacionais (insumos) e de investimento (pátio e sistema de dosagem).

Quanto ao custo de transporte, o valor pode ser muito diferenciado, pois o que encarece bastante é a distância entre as UGLs até as áreas agrícolas. A área estudada de Curitiba-PR e RMC possui poucas áreas agrícolas, influenciando diretamente no valor final da destinação. Em algumas áreas da RMC, há predomínio de declives acentuados, que são aptos apenas para manejo florestal, mas não agrícola. Outras regiões com menor declive estão comprometidas pela ocupação urbana ou são áreas de várzea ou planícies de inundação, inadequadas para cultivo agrícola (IPARDES, 2004). Em suma, apenas as regiões a oeste e sudoeste da RMC foram consideradas passíveis de manejo agrícola e aplicação de lodo (BITTENCOURT; AISSE; SERRAT, 2017).

Neste sentido, para otimizar o custo com transporte, é importante buscar por ações que visem reduzir a distância entre as unidades geradoras de lodo até as áreas agrícolas. Uma das opções a serem estudadas é a implantação de uma unidade distribuidora, facilitando a distribuição e sucessivamente reduzindo custos com transporte (CANZIANI et al., 1999).

Já, para Quintana, Bueno e Melo (2012, p. 95), “o transporte do lodo é compensador, pois o preço da quantidade de fertilizantes por ela oferecida é maior do que o preço de seu frete”. Após a higienização do lodo, o resíduo se transforma em um rico fertilizante que atua diretamente nas condições físico-químicas e biológicas do solo, aumentando a produtividade das culturas e reconstituindo a estrutura original do solo em matéria orgânica.

Não havendo áreas agrícolas para destinação de lodo, poderá ser utilizada a higienização por EAP, que promove, além da redução de patógenos, a redução de umidade e mantém a destinação do lodo em aterro, com redução proporcional à secagem em relação aos custos de transporte e aterro propriamente dito. Automaticamente, minimiza o impacto ambiental com a redução significativa da massa de lodo destinada para aterro, e consequentemente, reduz a geração de chorume, que pode contaminar corpos d’água superficiais, solo e lençol freático.

Vale lembrar que esta opção necessita de um estudo prévio, visto que se torna mais complexa, pois exige a implantação de uma UGL (área, pátio coberto), equipamentos de mistura e a operação de transporte entre ETE e a UGL. Se já existir uma UGL, recomenda-se um estudo para fazer o uso simultâneo para ambas destinações.

Considerações finais

Este estudo avaliou sob o ponto de vista econômico, a destinação do lodo de ETE na agricultura e em aterro, indicando que a destinação em aterro não é uma opção economicamente muito viável, comparada à agricultura. Esta alternativa poderia ter sua economicidade melhorada com a aplicação de cal e estocagem, ocorrendo uma redução significativa da massa e impactando diretamente na relação aos custos de transporte e aterro propriamente dito. Já a viabilidade da prática do uso agrícola do lodo de esgoto não está intimamente relacionada aos custos da prática, mas sim, à complexidade de todo o processo, que vai desde a implantação de uma UGL, produção e controle dos lotes de lodo, além de todo o processo de aptidão das áreas agrícolas e posterior a aplicação, acompanhamento e análises de controle da qualidade do solo.

Com a escassez de apontamentos na literatura especializada quanto aos custos detalhados de destinação agrícola de lodo, é importante que sejam incentivadas pesquisas para avaliar estes custos, não só na área estudada de Curitiba e RMC, mas em todo o estado do Paraná. Para ampliar as destinações agrícolas e atender com precisão às exigências ambientais brasileiras (SILVA et al., 2017).

Além disso, esse processo de destinação ultrapassa os limites de economicidade, impactando diretamente nos benefícios ambientais e sociais para com as comunidades agrícolas que recebem o insumo, elevando o nível de sustentabilidade e confiabilidade da Sanepar.

Referências

ANDREOLI, C. V.; PEGORINI, E. S. Gestão de Biossólidos Situação e perspectivas. In: I Seminário sobre gerenciamento de biossólidos do Mercosul, 1., 1998, Curitiba. **Gestão de Biossólidos Situação e perspectivas**. Curitiba: Companhia de Saneamento do Paraná - Sanepar/gecip, 1998. p. 1 - 7. Disponível em: <http://www.sanepar.com.br/Sanepar/Gecip/Congressos_Seminarios/Lodo_de_Esgoto/gestao_bioss_situacao_e_perspectivas.pdf>. Acesso em: 27 set. 2019.

BITTENCOURT, S. **Gestão do Processo de uso Agrícola de Lodo de Esgoto no Estado do Paraná: Aplicabilidade da Resolução CONAMA 375/06**. 2014. 257 f. Tese (Doutorado) – Curso de Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

BITTENCOURT, S.; AISSE, M. M.; SERRAT, B.M. Gestão do uso agrícola do lodo de esgoto: estudo de caso do estado do Paraná, Brasil. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [s.l.], v. 22, n. 6, p.1129-1139, dez. 2017. FapUNIFESP (SciELO).Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522017000601129>. Acesso em: 18 set. 2019.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 375**, de 29 de agosto de 2006. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário. 2006. Disponível em: <www.mma.gov.br/port/conama/res/res06/res37506.pdf>. Acesso em: 09 jan. 2020.

BRINGHENTI, J. R. Codisposição de lodos de tratamento de esgotos em aterros sanitários brasileiros: aspectos técnicos e critérios mínimos de aplicação. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [s.l.], v. 23, n. 5, p. 891-899, 22 out. 2018. FapUNIFESP (SciELO). Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522018000500891>. Acesso em: 12 mar. 2020.

CANZIANI, J. R. F. et al. Análise econômica para reciclagem agrícola do lodo de esgoto da ETE- Belém. **Sanare - Revista Técnica da Sanepar**, Curitiba, v. 11, n. 11, p. 51-58, jan. 1999. Disponível em: <<http://www.sanepar.com.br>>.

sanepar.com.br/sanepar/sanare/v11/Analise/analise.html>. Acesso em: 11 dez. 2019.

FERNANDES, F.; SILVA, S. M. P. **Manual Prático para a Compostagem de Biossólidos**. 1999. Disponível em: <https://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/Livro_Compostagem.pdf> Acesso em: 06 fev. 2020.

GASPARIM, J. C.. **Viabilidade de aproveitamento de resíduos de tratamento de esgotos na construção civil**. 2013. 127 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2013.

GODOY, L. C.. A Logística na Destinação do Lodo de Esgoto. **Revista Científica On-line Tecnologia – Gestão – Humanismo**, Guaratingueta, v. 2, n. 1, p. 79-90, nov. 2013. Disponível em: <<http://www.fatecguaratingueta.edu.br/revista/index.php/RCO-TGH/article/view/43/27>>. Acesso em: 08 maio 2020.

GUEDES, M. C. et al. **Propriedades Químicas do Solo e Nutrição do Eucalipto em Função da Aplicação de Lodo de Esgoto**. São Paulo: Revista Brasileira de Ciência do Solo, 2006. 14 f. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v30n2/a08v30n2>>. Acesso em: 07 out. 2019.

LEE, E. S. H. Caracterização do lodo proveniente de Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) e estudo sobre seu potencial energético. **Anais do II Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental**, Londrina, v. 2., 2011. Disponível em: <www.ibeas.org.br/congresso/anais.htm>. Acesso em: 26 dez. 2019.

NAKAYAMA, F. T.; OLIVEIRA, C. L. B.; PERDONÁ, M. J.. Recuperação de solo degradado com a aplicação de lodo de esgoto e plantas de cobertura. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, [s.l.], v. 10, n. 7, p. 28-38, 10 nov. 2014. Disponível em: <http://amigosdanatureza.org.br/publicacoes/index.php/forum_ambiental/article/view/826>. Acesso em: 08 mai. 2020.

PEGORINI, E. S. **Avaliação de Impactos Ambientais do Programa de Reciclagem Agrícola de Lodo de Esgoto na Região Metropolitana**

de Curitiba. 2002. 236 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002. Disponível em: <<https://acervodigital.ufpr.br/bitstream>>. Acesso em: 16 set. 2019.

QUINTANA, N. R. G.; BUENO, O. C.; MELO, W. J. Custo de transporte do lodo de esgoto para viabilidade no uso agrícola. **Energia na Agricultura**, [s.l.], v. 27, n. 3, p. 90- 96, 2012. Disponível em: <<http://revistas.fca.unesp.br/index.php/energia/article/view/648>>. Acesso em: 26 set. 2019.

ROSA, A. P.; CHERNICHARO, C. A. L.; MELO, G. C. B. Contribuição para o aproveitamento energético do lodo de ETEs em processos térmicos. **Revista Dae**, [s.l.], v. 63, n. 198, p. 55-62, 2015. Disponível em: <http://revistadae.com.br/artigos/artigo_edicao_198_n_1578.pdf>. Acesso em: 08 maio 2020.

SAMPAIO, A. O. Afinal, queremos ou não viabilizar o uso agrícola do lodo produzido em estações de esgoto sanitário? Uma avaliação crítica da Resolução CONAMA 375. **Revista Dae**, [s.l.], v. 61, n. 193, p.16-27, set. 2013. Disponível em: <http://revistadae.com.br/artigos/artigo_edicao_193_n_1503.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2020.

SILVA, A. L. et al. Análise de Alternativas de Processo e Disposição de Lodo de Esgoto na Agricultura: Quando a Atratividade Econômica e a Preservação Ambiental Caminham Juntas. In: Congresso ABES FENASAN 2017, 1., 2017, São Paulo. **Análise econômica para a Reciclagem Agrícola do lodo de esgoto da ETE-Belém**. São Paulo: ABES, 2017. p. 01-11. Disponível em: <<https://www.tratamentodeagua.com.br/artigo/alternativas-disposicao-lodo-esgoto/>>. Acesso em: 28 abr. 2020.

Capítulo 26

REATOR EM BATELADA SEQUENCIAL (RBS): MONITORAMENTO ANALÍTICO DA ETE DE SANTA HELENA-PR

Karoliny Pavei Prado

Rosani Becker Netto

Natália Silveira Siqueira

Introdução

O tratamento de efluentes domésticos é a principal estratégia de controle para reduzir a geração de impacto ao meio ambiente e sobretudo aos recursos hídricos. O tipo de tratamento de esgoto a ser empregado está relacionado ao grau de remoção de poluentes ao qual se deseja atingir, podendo ser submetido a tratamento preliminar, primário, secundário e terciário (VON SPERLING, 2005; JORDÃO e PESSÔA, 2011).

O sistema de esgotamento sanitário no município de Santa Helena-PR foi implantado pela Sanepar no início da década de 1980, sendo o tratamento secundário realizado em lagoas anaeróbias seguidas de lagoas facultativas e o efluente tratado lançado no reservatório da usina hidrelétrica de Itaipu (rio Paraná). Nos últimos anos, a eficiência ETE diminuiu significativamente e, mesmo com ações como ampliação da capacidade de tratamento, por meio do aumento do nível das lagoas, da transformação do sistema em

paralelo para sistema em série e retirada de lodo, não foi possível melhorar o processo.

Visando aprimorar o tratamento de esgoto em Santa Helena-PR e consequentemente elevar a qualidade do efluente final, a empresa optou por implantar o sistema de lodo ativado por Reator em Batelada Sequencial (RBS). Atualmente, a Sanepar conta com 15 estações de tratamento de esgoto pelo sistema de lodos ativados. Destas, duas utilizam o processo por RBS, sendo uma delas a nova ETE de Santa Helena.

Comparados a outros tipos de tratamento biológico, uma das vantagens dos sistemas por lodos ativados é a elevada eficiência de tratamento (JORDÃO e PESSÔA, 2011). Para comprovar tal eficácia, o monitoramento analítico torna-se fundamental. Por se tratar de um sistema que entrou em operação recentemente, o presente estudo visou, por meio do controle analítico, avaliar o desempenho e a eficiência do tratamento de esgoto da unidade instalada em Santa Helena-PR, que utiliza o sistema de lodos ativados por RBS.

Sistema de lodos ativados

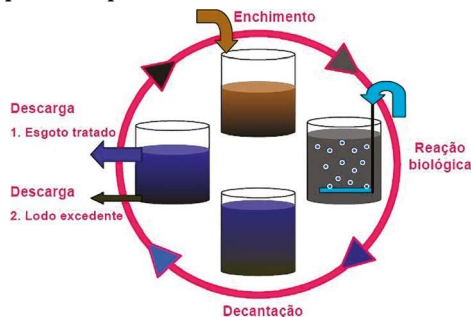
O tratamento biológico de esgoto, segundo Von Sperling (2005), é efetuado por meio de reações bioquímicas, realizadas por micro-organismos em condições aeróbias ou anaeróbias, visando à degradação de compostos carbonáceos e eventualmente nutrientes. Entre as várias opções, a mais empregada mundialmente é o sistema de lodos ativados (VON SPERLING, 2005), cujos trabalhos pioneiros foram desenvolvidos no início da década de 1880, na Inglaterra, por Angus Smith (METCALF e EDDY, 2016).

O lodo ativado consiste no flocos produzido no esgoto bruto ou decantado pelo crescimento de micro-organismos na presença de oxigênio (JORDÃO e PESSÔA, 2011). Atualmente, são conhecidos diferentes processos de lodos ativados, sendo os principais e mais utilizados, o sistema convencional (fluxo contínuo), o sistema de aeração prolongada (fluxo contínuo) e o sistema de fluxo intermitente, também denominado de RBS (VON SPERLING, 2016). Este último tornou-se amplamente difundido a partir do final

da década de 70, com o avanço tecnológico (METCALF e EDDY, 2016). O princípio do RBS consiste na junção de todas as unidades de processos e operações, como decantação primária, oxidação biológica e decantação secundária, em um único tanque. Assim, esses processos e operações passam a ser sequências no tempo (ciclos), e não unidades separadas (reator, decantador) como ocorre nos processos de fluxo contínuo (VON SPERLING, 2016). De acordo com Jordão e Pessoa (2011) e Von Sperling (2016), o processo de tratamento no RBS ocorre de acordo com as seguintes fases: 1) Enchimento – entrada de esgoto bruto. 2) Aeração/ Reação biológica – aeradores ligados mantendo o fornecimento de oxigênio necessário às reações biológicas. Se no tratamento há nitrificação seguida da desnitrificação, a aeração deve ser interrompida durante a reação, para que prevaleçam condições anóxicas durante um período de tempo. 3) Sedimentação – os aeradores são desligados e os sólidos em suspensão sedimentam-se no interior do próprio tanque. 4) Retirada do efluente – o efluente clarificado começa a ser retirado por meio de vertedor flutuante ou ajustável. 5) Repouso – usada para ajustar o ciclo e remover o lodo excedente.

A duração de cada ciclo pode ser alterada em função das variações da vazão de entrada, das necessidades do tratamento, das características do esgoto e da biomassa no sistema (VON SPERLING, 2016). A Figura 01 mostra a representação das fases de um ciclo do RBS.

Figura 01: Esquema representando as fases do sistema RBS.



Fonte: Costa (2005)

O elevado custo de implantação e operação do RBS é compensado pelo baixo requisito de área, pelo conceito mais simples, pela menor demanda de equipamentos, pela possibilidade de ajuste dos ciclos, de acordo com a necessidade e tipo de efluente a ser tratado, pela elevada eficiência na remoção de demanda bioquímica de oxigênio (DBO_5), satisfatória remoção de nitrogênio e possivelmente de fósforo (VON SPERLING, 2016).

A conversão aeróbia da matéria orgânica em compostos mais simples requer tempo de contato entre o esgoto e os micro-organismos, além de oxigênio e nutrientes (METCALF e EDDY, 2016). Quando se pretende redução de matéria carbonácea e nutrientes, a sequência e a duração das fases do RBS podem ser modificadas, a fim de se atingir tal objetivo (VON SPERLING, 2016).

O tratamento biológico de nitrogênio ocorre comumente por nitrificação (reação aeróbia), etapa na qual a amônia é oxidada a nitrito e este a nitrato, seguida pela desnitrificação (reação anóxica), quando o nitrato é reduzido a nitrogênio gasoso. Para a redução de fósforo, é necessária alternância entre zonas anaeróbias e aeróbias (JORDÃO e PESSÔA, 2011; METCALF e EDDY, 2016; VON SPERLING, 2016).

A satisfatória remoção da matéria orgânica e de nutrientes no sistema de lodo ativado pode ser influenciada por condições ambientais como a concentração de oxigênio dissolvido, pH e temperatura, assim como pela qualidade do substrato. Portanto, o monitoramento do tratamento de esgoto, além de considerar os padrões exigidos pelos órgãos ambientais, deve levar em conta um conjunto de ações que tenha por objetivo avaliar a eficiência do sistema de tratamento, possibilitando, a partir de dados, a real percepção do que está ocorrendo (SILVA et al., 2005).

Os padrões de lançamento de esgoto no corpo receptor podem ser definidos a nível nacional ou regional, sendo que os regionais podem ser iguais ou mais restritivos que os correspondentes padrões nacionais (VON SPERLING, 2005). A nível nacional, a Resolução Federal Conama nº 430/2011 dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes (BRASIL, 2011).

No estado do Paraná, as condicionantes estão estabelecidas na Resolução SEMA nº 21/2009 (PARANÁ, 2009). Além destas, os órgãos ambientais podem estabelecer padrões para lançamento em Resolução de Outorga de Direito e Licença de Operação específica para cada estação de tratamento de esgoto.

Materiais e métodos

A pesquisa foi desenvolvida em uma ETE com processo de lodos ativados pertencente a Sanepar. Localizada no município de Santa Helena-PR, a unidade foi projetada para tratar a vazão média de 30 L/s e máxima de 45 L/s de esgoto bruto. Todo o volume de esgoto chega à ETE por estações elevatórias, devido à cota topográfica elevada em que a mesma se situa. Segundo informações da Sanepar, a população urbana estimada de Santa Helena em 2019 foi de 14.600 habitantes e o Índice de Atendimento com Rede Coletora de Esgoto (IARCE) para março de 2020 encontra-se em 83,45%, o que representa aproximadamente 12.200 habitantes atendidos pela ETE.

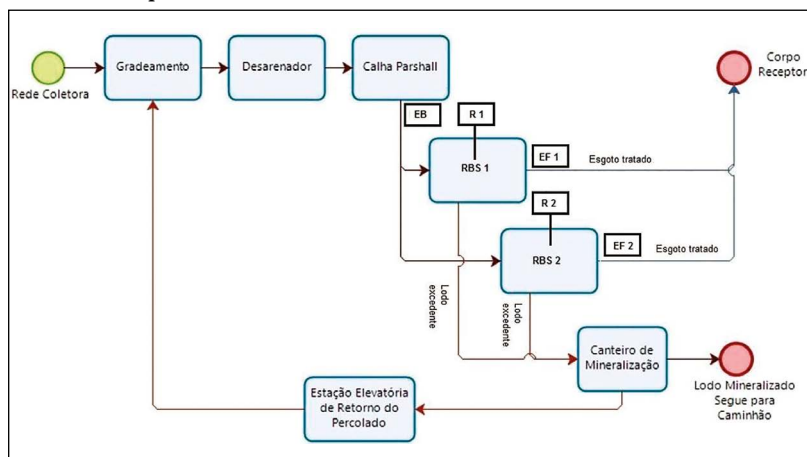
A ETE Santa Helena, que iniciou suas atividades em dezembro 2019, conta com gradeamento e desarenador, medidor de vazão (Calha Parshall e medidor ultrassônico) e tratamento biológico, que é realizado por processo de lodo ativado em batelada com aeração prolongada. O sistema de lodo ativado é constituído por dois RBS, com volumes de 2.281,24 m³ cada, totalizando 4.562,48 m³. Os reatores operam em paralelo, cada um em uma etapa diferente do ciclo operacional, sendo que ao longo de 24 horas cada reator realiza três ciclos com duração de 8 horas.

Cada ciclo é composto por entrada de esgoto bruto que, após passar pelo tratamento preliminar, carrega, de forma descontínua, cada um dos RBS. Com o enchimento do RBS, inicia-se a reação com duração de 360 minutos, que conta com etapas de nitrificação (aeradores ligados) e desnitrificação (pulsos de ar para promover a mistura). A aeração dentro do reator é realizada por ar difuso. Ao fim da etapa de reação, a aeração é cessada totalmente por 90 minutos para que ocorra a sedimentação do lodo.

O esgoto tratado é retirado por vertedores flutuantes por cerca de 30 minutos e um novo ciclo é iniciado.

O lodo do processo de tratamento é disposto em canteiros de mineralização com capacidade para 250 toneladas. A Figura 02 apresenta o fluxograma do tratamento por lodo ativado da ETE e na Figura 03 podem-se observar os reatores (Figura 03A), o vertedor flutuante (Figura 03B) e os canteiros de mineralização de lodo (Figura 03C).

Figura 02: Fluxograma do processo de lodos ativados por retor em batelada sequencial.



Fonte: Adaptado de Rotária (2018)

O acompanhamento da ETE ocorreu no período de dezembro de 2019 até abril de 2020. As amostragens foram do tipo amostra simples, coletadas semanalmente, com exceção dos parâmetros de fósforo e nitrogênio, cujas coletas foram quinzenais. Os pontos de coleta estão identificados na Figura 02, sendo que as amostras de esgoto bruto (EB) foram coletadas logo após a calha Parshall e as de esgoto tratado na saída de cada RBS (EF 1 e EF 2). Para o controle dos reatores (R 1 e R 2), as amostras foram coletadas de dentro dos tanques na última fase de nitrificação, durante aeração.

Figura 03: Reatores em Batelada (A) Vertedor Flutuante (B) e Can- teiros de mineralização de Lodo (C) da ETE de Santa Helena.



Fonte: As autoras (2020)

A vazão (L/s) de entrada do esgoto bruto foi medida no final do tratamento preliminar em uma estrutura conhecida como calha Parshall. Os parâmetros analisados para esgoto bruto e esgoto tratado foram: temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e potencial hidrogeniônico – pH, determinados em campo no momento da coleta; alcalinidade (mg/L), demanda química de oxigênio – DQO (mg/L), demanda bioquímica de oxigênio – DBO5 (mg/L), sólidos suspensos totais – SST (mg/L), sólidos sedimentáveis – Ssed (mL/L), que foram realizados no Laboratório Regional de Esgoto da Gerência Regional de Foz do Iguaçu-PR; nitrogênio amoniacal (mg/L) e fósforo total (mg/L), cujas amostras foram encaminhadas para análise no Laboratório da Gerência de Avaliação de Conformidades, em Cascavel-PR. Nas amostras dos reatores, realizou-se a medição temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e potencial hidrogeniônico – pH e oxigênio dissolvido – OD (mg/L) no momento da coleta; a análise de Sólidos Sedimentáveis em proveta 30 minutos – SD 30 (mL/L), foi realizada no laboratório da ETE, logo após a coleta e a de Sólidos Suspensos no Tanque de Aeração - SSTA (mg/L) foi feita no Laboratório Regional de Esgoto da Gerência Regional de Foz do Iguaçu-PR. Os laboratórios pertencem à Sanepar e os procedimentos analíticos seguiram os métodos descritos em documentos internos, com base no *Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater* 23rd Edition (2017).

As eficiências de remoção das variáveis DQO, DBO5, sólidos suspensos totais, nitrogênio amoniacal e fósforo foram calculadas seguindo a equação descrita por Lamego e Costa (2011). O

Índice Volumétrico de Lodo (IVL) foi calculado com a finalidade de avaliar o grau de sedimentabilidade do lodo nos tanques de aeração; para tal, utilizou-se a fórmula apresentada por Jordão e Pessoa (2011), sendo os resultados interpretados conforme Von Sperling (2016), como sedimentabilidade ótima (0-50 mL/g), boa (50-100 mL/g), média (100-200 mL/g), ruim (200-300 mL/g) e péssima (>300 mL/g).

Resultados e discussão

A vazão de entrada de esgoto bruto, lida pontualmente no momento da coleta, apresentou média de 13,4 L/s, mínima de 8,17 L/s e máxima de 27,02 L/s. Essa variação deve-se ao fato do esgoto bruto chegar à ETE por bombeamento a partir de estações elevatórias, que ligam e desligam ao longo do dia. Apesar desta oscilação de vazão, os valores lidos permaneceram dentro do valor de projeto. Como forma de amenizar tal problema, foi instalado inversor de frequência em uma das bombas da ETE 02 e o monitoramento da vazão foi intensificado.

A resolução Conama nº 430/2011, estabelece que para o lançamento em corpo receptor, o esgoto tratado apresente temperatura inferior a 40°C e pH entre 5 e 9. As temperaturas mínimas e máximas do efluente final foram de 27,5 e 31,5°C no RBS 1 e de 27 e 31,5°C no RBS 2. Quanto ao pH, os valores variaram entre 5,53 e 7,12 para o RBS 1 e entre 5,8 e 7,26 para o RBS 2. Constata-se, portanto, que as exigências legais foram cumpridas.

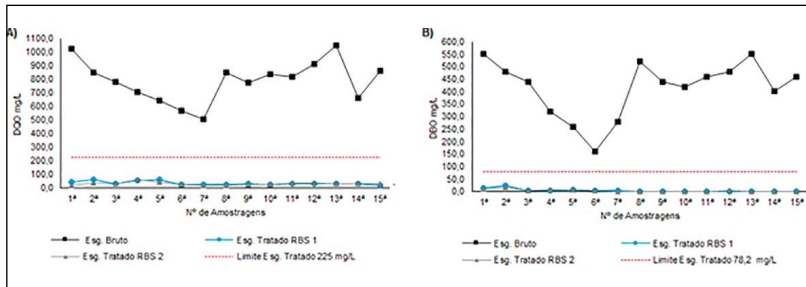
A análise de alcalinidade apresentou decréscimo, sendo observados valores que variaram de 231,4 a 565,0 mgCaCO₃/L no esgoto bruto e para o esgoto tratado a variação foi de 5,43 a 168,1 mgCaCO₃/L para o RBS 1 e de 7,71 a 141,7 mgCaCO₃/L no RBS 2. De acordo com Von Sperling (2016), o decréscimo da alcalinidade, indica diminuição da capacidade tampão do meio, reduzindo o pH, que pode trazer consequências no desempenho da nitrificação e desnitrificação.

A Figura 04 apresenta os dados referentes à matéria orgânica. No esgoto bruto, os valores de DQO apresentaram-se entre 508,0

e 1047,0 mg/L e de DBO_5 entre 160,0 e 550,0 mg/L. O processo de tratamento resultou em um efluente final com concentrações de DQO entre 21,0 e 63,0 mg/L no RBS 1 e de 18,0 a 64,0 mg/L no RBS 2. Para DBO_5 , os valores máximos encontrados foram de 24,0 mg/L para RBS 1 e 18,0 mg/L para RBS 2. Dessa forma, os resultados atendem à Resolução Estadual SEMA nº 21/2011, que estabelece padrão de lançamento de até 225,0 mg/L para DQO (PARANÁ, 2011) e a Resolução nº 555/2011, que estabelece para DBO_5 o valor de 78,2 mg/L (BRASIL, 2011).

A eficiência de remoção da matéria carbonácea foi superior a 95% de DQO em ambos RBS. Já para a DBO_5 a remoção foi de 98,9% e 99,1% para RBS 1 e 2, respectivamente. Esta eficiência de remoção de matéria orgânica, em ambos RBS, está em consonância com a literatura. Von Sperling (2016) afirma que um sistema de lodos ativados de modalidade aeração prolongada pode apresentar eficiência de remoção de DQO entre 90 a 95% e 93 a 98% para remoção de DBO_5 .

Figura 04: Demanda química de oxigênio (A). Demanda bioquímica de oxigênio (B) no esgoto bruto e efluente tratado RBS 1 e RBS 2.



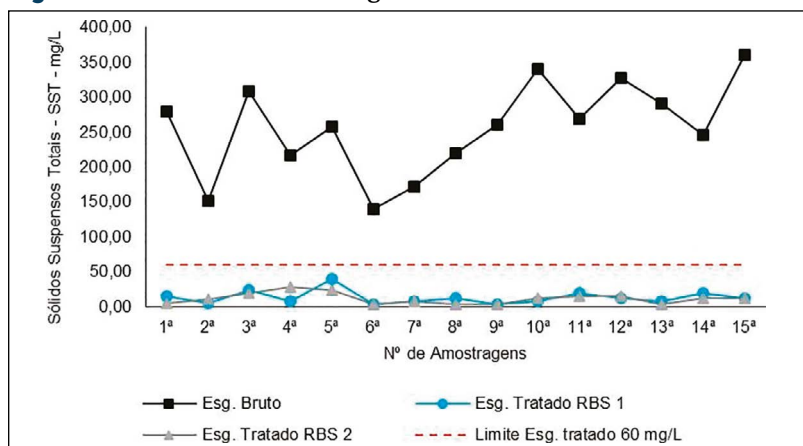
Fonte: As autoras (2020)

As concentrações de DQO e DBO_5 , mostradas na Figura 04, revelam que, apesar da grande variação desses parâmetros no esgoto bruto, para o esgoto tratado as concentrações mantiveram-se constantes. Estudos realizados por Hoffmann et al. (2005) e Cybis et al. (2004) indicam que as variações de DQO e DBO_5 de entrada não causaram oscilações significativas dessas variáveis

no efluente final, evidenciando que, mesmo com grande variação de carga orgânica, a eficiência foi mantida.

Os parâmetros sólidos suspensos totais (Figura 05) e nitrogênio amoniacal (Figura 06) não apresentam limites estabelecidos nas legislações aplicáveis a ETE Santa Helena. Por outro lado, o art. 24 da Resolução Conama nº 430/2011, estabelece que seja realizado automonitoramento para controle e acompanhamento periódico dos efluentes lançados nos corpos receptores. Logo, como controle interno do processo de tratamento de esgoto, a Sanepar adota os valores 60,0 mg/L para SST e de 20,0 mg/L para nitrogênio amoniacal.

Figura 05: Sólidos totais no esgoto bruto e efluente tratado.



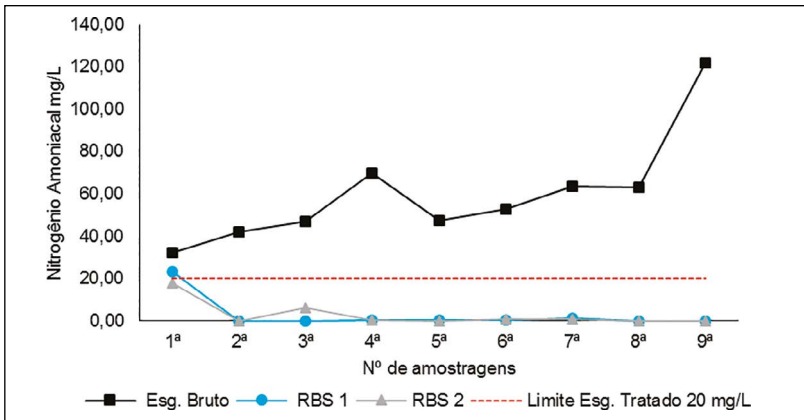
Fonte: As autoras (2020)

As variações dos resultados para SST no esgoto bruto apresentaram-se bastante acentuadas, como mostra a Figura 05. No esgoto tratado, os resultados mais expressivos foram de 40,0 mg/L para o RBS 1 e de 28,0 mg/L para o RBS 2, mantendo-se abaixo do limite interno da Sanepar de 60,0 mg/L. A eficiência média de remoção foi de 94,8% e de 95,3%, no RBS 1 e 2, respectivamente, situando-se dentro do valor reportado por Von Sperling (2016), que é de 85 a 95% de eficiência de remoção. Para sólidos

sedimentáveis os dois RBS apresentaram resultado inferior a 0,1 mL/L, atendendo ao estabelecido na Resolução Conama nº 430/2011 e na Licença de Operação da ETE nº 5987/2018, que é de até 1 mL/L.

A concentração de nitrogênio amoniacal no esgoto bruto esteve entre 32,26 e 122,02 mg/L. No efluente tratado, os valores mais elevados foram verificados na primeira amostragem, realizada com 10 dias do início da operação, sendo de 23,07 mg/L no RBS 1 e de 18,03 mg/L no RBS 2. Na referida coleta, possivelmente nos reatores, a biomassa apresentava-se em fase de adaptação. Posteriormente, como evidenciado na Figura 06, as concentrações no efluente final apresentaram significativo decaimento, sendo que alguns valores encontraram-se abaixo do limite de detecção (<0,4 mg/L). Apesar do resultado inicial elevado, verificou-se eficiência de remoção média de 93% nos dois RBS, compatível com a porcentagem de 90 a 95% indicada por Von Sperling (2016).

Figura 06: Nitrogênio Amoniacal no esgoto bruto e efluente tratado.

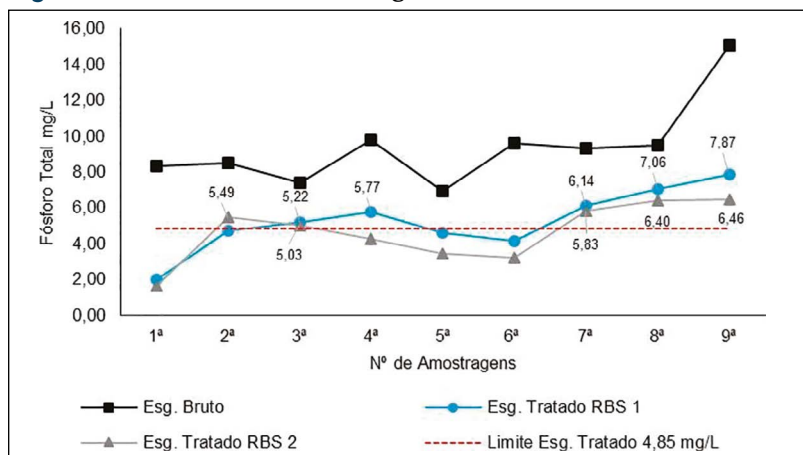


Fonte: As autoras (2020)

A Figura 07, apresenta que a remoção de fósforo diminuiu ao longo do período estudado. Para o esgoto bruto, observaram-se resultados compreendidos entre 6,95 e 15,06 mg/L, enquanto que no esgoto tratado os valores foram entre 1,99 e 7,87 mg/L

para RBS1 e entre 1,66 e 6,46 para o RBS 2. A eficiência de remoção média foi de 43,7% e 50% para RBS 1 e 2. A Resolução nº 555/2011 da Agência Nacional de Água, referente à outorga de direito de recurso hídrico para ETE Santa Helena, estabelece para o lançamento do efluente tratado o valor de 4,85 mg/L (ANA, 2011). Assim sendo, observa-se o não atendimento à legislação, conforme resultados evidenciados na Figura 07. Em vista disso, o sistema por RBS, não se mostrou eficaz para remoção biológica de fósforo.

Figura 07: Variável fósforo no esgoto bruto e efluente tratado.



Fonte: As autoras (2020)

Os dados referentes aos parâmetros analisados dentro dos reatores encontram-se descritos na Tabela 01. As temperaturas médias dentro dos reatores RBS, encontraram-se dentro da faixa de 25 a 35 °C, considerada adequada para o bom funcionamento do tratamento por lodos ativados, conforme Von Sperling (2016). Segundo o mesmo autor, em reatores biológicos, a temperatura adequada favorece a ocorrência de reações bioquímicas, podendo influenciar nas taxas de oxidação da matéria orgânica e de remoção de nutriente, necessitando, portanto, de monitoramento (VON SPERLING, 2016).

Tabela 01: Parâmetros analisados dentro dos reatores.

Parâmetros							
		Temperatura (°C)	pH	OD (mg/L)	SD 30 (mL/L)	SSTA (mg/L)	IVL (mL/g)
Reator RBS 1	Média	29,8	6,4	3,1	117,3	1700,4	69,4
	Máximo	31,5	7,3	5,7	190,0	3104,0	129,0
	Mínimo	27,0	5,3	2,1	25,0	466,0	39,6
Reator RBS 2	Média	29,1	6,6	3,7	124,5	1667,3	72,1
	Máximo	31,5	7,2	5,8	240,0	3168,0	94,8
	Mínimo	26,5	5,9	0,7	18,0	191,0	42,8

Fonte: As autoras (2020)

Para um desempenho adequado do sistema, é recomendado que, dentro do reator, o pH mantenha-se na faixa de 6,5 a 8,0 (VON SPERLING, 2016). Desta forma, as condições requisitadas para processos de nitrificação e desnitrificação são satisfatórias. No RBS 1, o resultado médio para pH foi de 6,4 e de 6,6 no RBS 2, em que ambos ficaram próximos do mínimo recomendado. Observou-se nos dois reatores decréscimo de pH, sendo essa queda mais significativa no RBS 1, com valor mínimo de 5,3. Para estabilizar o meio, foi adicionado alcalinizante hidróxido de cálcio que se apresentou eficiente. Segundo Aun (2007), a redução de pH do meio com consumo de alcalinidade, muitas vezes ocasionado no próprio processo de nitrificação, implica redução das taxas de nitrificação e desnitrificação, sendo necessária a aplicação de alcalinizantes para casos onde o pH decaia além da faixa ideal.

A literatura recomenda, para a etapa de nitrificação, a manutenção de pelo menos 2 mg/L de OD (VON SPERLING, 2016), sendo que abaixo de 0,5 mg/L é possível que a nitrificação deixe de ocorrer (JORDÃO e PESSÔA, 2011). Assim sendo, mesmo os valores mínimos de OD observados nos reatores RBS 1 (2,1

mg/L) e RBS 2 (0,7 mg/L), satisfazem as demandas exigidas pelos micro- organismos nitrificantes. Contudo, Metcalf e Eddy (2016) salientam que OD muito baixo dentro do reator pode favorecer o desenvolvimento de bactérias filamentosas que comprometem a sedimentabilidade do lodo, enquanto que OD acima de 4 mg/L não apresenta aumento na eficiência do sistema, mas, sim, elevação de custos. No período em que o reator se encontra no processo de desnitrificação, é imprescindível a ausência de OD (METCALF e EDDY, 2016).

Relativamente ao controle de processo de formação e de sedimentabilidade do lodo, o SD 30, além de compor o cálculo para o Índice Volumétrico do Lodo (IVL), permite ao operador verificar visualmente a quantidade de sólidos sedimentáveis presentes no reator. Quanto à concentração de SSTA, os valores médios foram de 1700,4 mg/L e 1667,3 mg/L no RBS 1 e 2. Segundo Jordão e Pessoa (2011), a concentração de SSTA típica do processo na fase de reação é entre 2000 a 4000 mg/L. O manual da ETE Santa Helena (ROTÁRIA, 2018) traz que valores de SSTA no tanque de aeração podem apresentar-se entre 3500 e 4500 mg/L. O controle de sólidos suspensos no tanque de aeração é importante, já que o mesmo afeta diretamente tanto a eficiência de remoção de matéria carbonácea, quanto a nitrificação e desnitrificação (VON SPERLING, 2016).

Os reatores RBS 1 e 2 apresentaram IVL médio de 69,4 mL/g e de 72,1 mL/g. Entre o primeiro dia de coleta, com 10 dias do início da operação e o último dia de coleta, com 120 dias de operação, observou-se um aumento do IVL nos dois reatores. O valor mais alto foi de 129,03 mL/g para o RBS 1 e 94,75 mL/g para o RBS 2, indicando uma sedimentabilidade média (100 a 200 mL/g) e boa (50 a 100 mL/g), segundo critérios propostos por Von Sperling (2016, p. 193). Quanto maior o valor de IVL, pior é a sedimentabilidade, o que pode ser indicativo de intumescimento do lodo (JORDÃO e PESSÔA, 2011).

Considerações finais

A vazão afluyente esteve em consonância com o valor de projeto. O sistema de lodo ativado RBS mostrou-se eficiente quanto à remoção de matéria orgânica, sendo capaz de manter concentrações de DQO e DBO_5 constantes no efluente final, mesmo com grande variação desses parâmetros no esgoto bruto. Eficiências de remoção satisfatória foram verificadas também para sólidos suspensos totais e nitrogênio amoniacal.

Nos tanques de aeração, o pH fora da faixa estabelecida e a concentração de OD próximas ao limite mínimo, podem interferir no metabolismo de micro-organismos, estimulando ou inibindo reações importantes no processo de lodos ativados, podendo levar a problemas operacionais significativos. Devido a isso, faz-se necessário o controle permanente no sistema de tratamento. Os sólidos suspensos totais dos tanques mostraram-se adequados e o IVL indicou uma sedimentabilidade do lodo nos dois RBS, variando entre boa e média.

Os parâmetros analisados no esgoto tratado dos dois RBS atenderam aos padrões exigidos, exceto fósforo total, que apresentou alguns resultados acima do limite estabelecido na legislação. Para remoção biológica de fósforo, sugere-se novo estudo para verificar se, com possíveis ajustes na sequência e na duração das fases, ou se uma alteração entre as zonas anaeróbias e aeróbias, podem ser eficientes para tal finalidade. Sugerem-se, também, estudos comparativos entre as duas localidades da Sanepar que operam o tratamento de esgoto com RBS.

Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUA. Resolução N° 555, de 15 de agosto de 2011. Outorga de direito de uso de recursos hídricos na diluição de efluente tratados no Reservatório da Usina Hidrelétrica de Itaipu, com a finalidade de esgotamento sanitário do Município de Santa Helena. **Diário Oficial da União**: Seção 1, Brasília, DF, ano 148, n. 160, p. 149, 19 ago. 2011. Disponível em: http://arquivos.ana.gov.br/_viewpdf/web/?file=/resolucoes/2011/555-2011.pdf. Acesso em: 19 abr. 2020.

AUN, M. V. **Estudo da remoção de nitrogênio via nitrito e via nitrato em sistemas de lodo ativado alimentados por despejo com elevada concentração de fenol.** 2007. 248 f. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA Nº 430, de 13 de maio de 2011, Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, Complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. **Diário Oficial da União:** Secão 1, Brasília, DF, ano 148, n. 92, p. 89, 16 mai. 2011. Disponível em: <http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=16/05/2011&jornal=1&pagina=89&totalArquivos=132>. Acesso em: 19 abr. 2020.

COSTA, T. B. **Desempenho de reator em batelada sequencial (RBS) com enchimento escalonado no tratamento de esgoto sanitário doméstico.** 2020. 105 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico., Florianópolis, 2005.

CYBIS, L. F. A.; SANTOS, A. V.; GEHLING, G. R. Eficiência do reator sequencial em batelada (RSB) na remoção de nitrogênio no tratamento de esgoto doméstico com DQO baixa. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro, v. 9, n. 3, p. 260-264, set. 2004. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522004000300012&lng=en&nrm=iso. Acessos em: 25 fev. 2020.

HOFFMANN, H. Et al. Remoção biológica de Nitrogênio e Fósforo utilizando Reator Sequencial em Batelada com enchimento escalonado. CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL (AIDIS), 2005, Asunción, Paraguai. **Anais [...]**. Disponível em: http://brasil.rotaria.net/wp-content/uploads/2017/08/1_2005-AIDIS-SBR-Rotaria-ench_escalonado.pdf. Acesso em: 09 abr. 2020.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de Esgoto Doméstico.** 6. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2011.

LAMEGO NETO, L. G.; COSTA, H.R. Tratamento de esgoto sanitário em reator híbrido em bateladas sequenciais: eficiência e estabilidade

na remoção de matéria orgânica e nutrientes (N, P). **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro, v. 16, n. 4, p. 411-420, Dez. 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522011000400013&lng=en&nrm=isso>. Acesso em: 10 abr. 2020.

METCALF, L.; EDDY, H. P. **Tratamento de Efluentes e Recuperação de Recursos**. Trad. de Ivanildo Hespanhol e José Carlos Mierzwa. 5. ed. Porto Alegre: AMGH, 2016.

PARANÁ. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Resolução SEMA Nº 21, de 22 de abril de 2009, Dispõe sobre licenciamento ambiental, estabelece condições e padrões ambientais e dá outras providências, para empreendimentos de saneamento. **Diário Oficial do Estado do Paraná**: Curitiba, PR, n. 7962, p. 13-16, 04 mai. 2009. Disponível em: http://www.iap.pr.gov.br/arquivos/File/Legislacao_ambiental/Legislacao_estadual/RESOLUCOES/RESOLUCAO_SEMA_21_2009_LICENCIAMENTO_PADROES_AMBIENTAIS_SANEAMENTO.pdf. Acesso em: 19 abr. 2020.

PARANÁ. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Licença ambiental simplificada nº 5987**, de 26 de outubro de 2018. Disponível em: <<http://www.sga.pr.gov.br/sga-iap/consultarProcessoLicenciamento.do?action=iniciar#>>. Acesso em: 19 abr. 2020.

ROTÁRIA. **Manual de Operação da Estação de Tratamento de Esgoto de Santa Helena**. MOPL-ETE-17131-0-Sanepar. Santa Helena: 2018.

SILVA, S. et al. Monitoramento das Características dos Esgotos como Instrumento de Otimização do Processo de Lodos Ativados e suas Implicações. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais (Online)**, n. 02, p. 46-59, 31 dez. 2005. Disponível em: <http://rbciamb.com.br/index.php/Publicacoes_RBCIAMB/article/view/490/417>. Acesso em: 09 abr. 2020.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgoto**. 3. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2005.

VON SPERLING, M. **Lodos Ativados**. 4. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2016.

Capítulo 27

SERVIÇOS SOCIOAMBIENTAIS: OBRAS DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO EM TERRA ROXA-PR

Roseli Fernandes

Reinaldo Benedito Nishikawa

Introdução

O crescimento populacional de forma desorganizada e intensa traz uma série de agravantes quando não é considerado o acesso ao saneamento básico. Os investimentos nessa área não acompanham o mesmo índice do crescimento populacional, mesmo frente a questões de salubridade ambiental, prevenção de doenças, melhoria na qualidade de vida da população e visão econômica e social (SOUZA; CECONELLO; CENTENO, 2018).

Há diversas referências de estudos que citam a relação importante entre saneamento-saúde-ambiente; entre elas, Souza (2007, p. 126) relata que existem dois grupos que descrevem essa relação:

um associado às ideias de prevenção de doenças, segundo o qual cabe ao saneamento higienizar o ambiente e com isso evitar as doenças; outro que se aproxima dos pressupostos da promoção da saúde, de acordo com os quais o saneamento assume ações para a melhoria da qualidade ambiental e para a erradicação das doenças.

Isso implica reconhecer que a ausência na coleta e tratamento do esgoto doméstico contribui para a contaminação do meio e para a proliferação de doenças que interferem na qualidade de vida das pessoas; por isso, a importância de investimentos no saneamento básico, buscando a universalização dos serviços e propiciando melhor qualidade de vida, direito garantido pela Lei nº 11.445/2007.

No município de Terra Roxa-PR, os serviços de abastecimento de água potável, coleta e tratamento de esgoto são de responsabilidade da Sanepar. No ano de 2019, essa Companhia realizou um trabalho de intervenção socioambiental no município de Terra Roxa-PR, com o objetivo de sensibilizar os usuários quanto à importância de realizar a correta interligação do imóvel à rede coletora de esgoto disponível, além de repassar informações sobre saneamento, saúde e meio ambiente. Por meio da intervenção e sensibilização dos usuários, buscava-se obter melhores resultados no uso da rede coletora de esgoto e, consequentemente, melhores resultados na operacionalização do sistema de esgotamento sanitário. Assim, este capítulo apresenta os resultados dos serviços de fiscalização que foram realizados no ano de 2019, durante a intervenção socioambiental no município de Terra Roxa-PR.

Esgotamento sanitário

Desde a década de 1950 até o final do século passado, o investimento em saneamento básico no Brasil ocorreu pontualmente em alguns períodos específicos, com um destaque para as décadas de 1970 e 1980. Em decorrência disso, como já visto em capítulos anteriores, o Brasil ainda está marcado por uma grande desigualdade e déficit ao acesso, principalmente em relação à coleta e ao tratamento de esgoto (LEONETTI; PRADO; OLIVEIRA, 2011).

A concentração de pessoas em áreas urbanas influencia a qualidade de vida, bem como a crescente deterioração ambiental, cabendo uma reflexão sobre os desafios a serem enfrentados na mudança de pensar e agir em torno das questões sociais e

ambientais (JACOBI, 2003). O saneamento básico, conforme a Lei nº 11.445/2007 (BRASIL, 2007), em seu Artigo 3º, baseia-se num conjunto de serviços de infraestrutura e instalações operacionais que são:

- a) abastecimento de água potável: constituído pelas atividades, infraestruturas e instalações necessárias ao abastecimento público de água potável, desde a captação até as ligações prediais e respectivos instrumentos de medição;
- b) esgotamento sanitário: constituído pelas atividades, infraestruturas e instalações operacionais de coleta, transporte, tratamento e disposição final adequados dos esgotos sanitários, desde as ligações prediais até o seu lançamento final no meio ambiente;
- c) limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos: conjunto de atividades, infraestruturas e instalações operacionais de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destino final do lixo doméstico e do lixo originário da varrição e limpeza de logradouros e vias públicas;
- d) drenagem e manejo das águas pluviais urbanas: conjunto de atividades, infraestruturas e instalações operacionais de drenagem urbana de águas pluviais, de transporte, detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias, tratamento e disposição final das águas pluviais drenadas nas áreas urbanas.

De acordo com Von Sperling (2010), no Brasil a situação de oferta do esgotamento sanitário é ainda mais precária que os demais serviços de saneamento (abastecimento de água potável, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, drenagem e manejo das águas pluviais urbanas). Desta forma, a poluição dos corpos hídricos e os danos à saúde da população afetam os municípios que não possuem o serviço, enquanto boa parte dos que possuem enfrentam problemas quanto à operação correta dos sistemas de esgoto.

A falta de sistemas de esgotamento sanitário adequados faz com que a população se utilize de outros meios, como a ligação

clandestina de galerias de águas pluviais e o lançamento *in natura* a céu aberto para lançar seu esgoto doméstico. Essas formas inadequadas de encaminhar os esgotos sanitários trazem sérias consequências para o meio ambiente e para a saúde pública, poluindo mananciais e contaminando águas naturais, que nem sempre passam por estações de tratamento eficientes antes do abastecimento público (BAY e SILVA, 2011).

Entretanto, quando os serviços de saneamento básico estão disponíveis, precisam ser geridos adequadamente e mesmo sendo os sistemas de saneamento de responsabilidade do estado, a solução ou minimização de certos problemas só é possível por meio da cooperação da população que precisa ser sensibilizada (PEAMSS, 2009).

O esclarecimento à população, a correta interligação e o uso devido da rede coletora de esgoto, podem trazer ótimos resultados para a operacionalização da rede e da estação de tratamento de esgoto, bem como benefícios a todos, relacionados à saúde e ao meio ambiente.

Materiais e métodos

O procedimento que se inicia na escolha de um determinado tema para pesquisar, que perpassa pela coleta de informações até a análise dos dados, é denominado metodologia, a qual é compreendida como “um processo que engloba um conjunto de métodos e técnicas para ensinar, analisar, conhecer a realidade e produzir novos conhecimentos”, sendo parte primordial na pesquisa científica (OLIVEIRA, 2007, p. 43).

Pode-se verificar que a metodologia inclui: “a teoria da abordagem (o método), os instrumentos de operacionalização do conhecimento (técnicas) e a criatividade do pesquisador (sua experiência, sua capacidade pessoal e sua sensibilidade)”, etapas necessárias para alcançar os objetivos propostos (MINAYO; DESLANDES; GOMES, 2010, p. 14).

Considerando que a pesquisa “é uma atividade de investigação capaz de oferecer um conhecimento novo a respeito de uma área ou de um fenômeno, sistematizando-o em relação ao que

já se sabe” (RAMPAZZO, 2005, p. 14), será descrito neste tópico todo o processo envolvendo o método e os instrumentos utilizados para a coleta e interpretação dos dados realizados durante a investigação, visando analisar os resultados de uma intervenção socioambiental em um sistema de esgotamento sanitário.

Por meio do retorno documental das Orientações Técnicas ao Cliente e das Vistorias Técnicas Ambientais (VTA), foi possível analisar os documentos, considerando cada situação relatada durante a visita, constantes na documentação. Utilizou-se de gráficos e valores percentuais para facilitar a compreensão dos leitores.

Visando alcançar resultados de modo a permitir um aprofundamento das análises aqui pretendidas, foram utilizados como instrumentos de coleta de dados, os seguintes documentos normatizados pela Sanepar: o questionário de Orientação Técnica ao Cliente, a Notificação de Irregularidade e o Certificado de Regularidade (CR), gerando, desta forma, anotações reflexivas que apoiaram as discussões e reprodução dos dados compilados.

Os questionários foram aplicados pelo método de contato direto, onde o próprio pesquisador, ou pessoas especialmente treinadas por ele, aplicam o questionário. Desta forma, o pesquisador pode explicar e discutir os objetivos da pesquisa e do questionário, responder dúvidas que os pesquisados possam ter (RICHARDSON, 2008).

A coleta de dados aconteceu durante o período de intervenção que iniciou em junho e terminou em dezembro de 2019. Os sujeitos da pesquisa inicialmente, foram 2.664 imóveis residenciais e comerciais geradores de esgoto doméstico, e que possuem disponibilidade de rede coletora de esgoto no município.

A abordagem qualitativa permitiu que as informações coletadas fossem submetidas à análise e compiladas por meio de planilhas e gráficos, possibilitando a compreensão, descrição e interpretação dos percentuais significativos relacionados aos objetivos da pesquisa.

Resultados e discussão

Este capítulo apresenta o resultado dos serviços socioambientais realizados no município de Terra Roxa-PR no ano de 2019, cuja contratação realizada pela Sanepar, objetivou visitar e fiscalizar 2664 imóveis que foram contemplados com rede coletora de esgoto no ano de 2016, período em que se iniciou a operacionalização do sistema e esgotamento sanitário.

A estação de tratamento de esgoto implantada no município, tem capacidade para tratar 20 litros de esgoto por segundo e é composta por reatores anaeróbicos e filtros biológicos (SANEPAR, 2016). A Figura 01 apresenta duas imagens referentes a Estação de Tratamento de Esgoto no município de Terra Roxa-PR.

Figura 01: Estação de Tratamento de Esgoto no município de Terra Roxa-PR.



Fonte: Os autores (2019)

O estudo apresentado neste capítulo, foi realizado com base em dados coletados em campo, referentes a sete meses de fiscalização das ligações prediais domiciliares de esgoto, no município de Terra Roxa-PR.

Quanto aos serviços socioambientais contratados, retornaram documentos de 2.760 visitas num primeiro momento para verificar as instalações intradomiciliares, a que será referida como primeira VTA, além de 1.111 visitas num segundo momento, denominada de segunda VTA. Após a orientação técnica ao cliente, dentro do prazo consistente no sistema normativo da Sanepar,

iniciou-se a primeira VTA, onde os moradores permitiam a entrada da equipe treinada e capacitada para fazer as verificações do ramal interno.

O procedimento da VTA leva em consideração verificar todos os pontos geradores de esgoto e o destino dos mesmos, que, de acordo com a legislação vigente, devem ser encaminhados para a rede coletora de esgoto, quando por ela forem servidos. A legislação a nível estadual se encontra no Código de Saúde do Paraná, regulamentado pela Lei nº 13.331, de 23 de novembro de 2001, que dispõe sobre a organização, regulamentação, fiscalização e controle de ações dos serviços de saúde do Estado do Paraná. Em seu Artigo nº 194, “todas as edificações de quaisquer espécies, ficam obrigadas a efetuar a ligação à rede coletora de esgotos, quando forem por ela servidos”. (PARANÁ, 2002)

Deste modo, todo o esgoto doméstico deve ser conduzido para a rede coletora de esgoto, por meio de tubulações que são interligadas ao dispositivo tubular de inspeção (DTI), que, no município citado, é de responsabilidade da Sanepar. Além disso, os técnicos contratados pela Sanepar, verificaram a destinação da água pluvial e se havia possibilidade de coleta de água de chuva em algum utensílio/dispositivo conectado à rede coletora de esgoto.

Durante a visita, era verificado se as fossas negras/sumidouros/fossa séptica estavam completamente aterradas, bem como se todos os pontos geradores de gordura, tais como máquina de lavar louça e pias de cozinha e churrasqueira, possuíam dispositivo adequado para retenção de gordura, conhecidas como caixa de gordura. A vistoria foi realizada com, no mínimo, dois indivíduos, onde um se posiciona no dispositivo tubular de inspeção, e em comunicação via rádio, aguarda o início da vistoria, confirmando ao colega, que adentra ao imóvel, sobre cada ponto gerador de esgoto que é percebido/visualizado por meio de diferentes cores, ligado ao ponto de inspeção já citado.

Após o término da vistoria, se o imóvel atendesse aos critérios da instalação domiciliar correta, era emitido pela equipe,

um CR das instalações domiciliares e caso houvesse alguma irregularidade no imóvel, era preenchida uma notificação, onde os códigos de irregularidades são descritos, bem como a orientação necessária para adequar a situação irregular. Tanto o CR quanto a notificação são preenchidos em papel carbonado, duas vias, sendo a primeira entregue ao proprietário do imóvel e a segunda via retorna para a Sanepar. Nos imóveis em que foi emitido CR, os técnicos não retornam na segunda vistoria, e, em 50% do que foi contratado, a equipe retorna para fazer a segunda VTA, realizando novamente, os mesmos procedimentos da primeira vistoria.

Com os documentos que retornaram de campo em mãos, foi realizada a compilação de dados e, visando melhor compreensão e facilidade na exposição dos resultados, utilizaram-se as categorias de códigos já normatizados pela Sanepar, conforme Tabela 01.

Tabela 01: Códigos da vistoria técnica ambiental.

Cód	Descrição do Serviço Socioambiental	Resumo
GRUPO A – VTA ESGOTO INTERLIGADO		
11	Vistoria Técnica Ambiental realizada. Esgoto interligado corretamente.	Interligação correta
13	Vistoria Técnica Ambiental realizada. Interligação Irregular. Água pluvial interligada na rede coletora de esgoto, por meio de tanque ou lavanderia descoberta, canil, calhas e outras situações assemelhadas.	Água pluvial na RCE
14	Vistoria Técnica Ambiental realizada. Interligação irregular. Fossa séptica interligada na rede coletora de esgoto.	Fossa séptica na RCE
15	Vistoria Técnica Ambiental realizada. Interligação irregular. Parte interna ligada a RCE e parte interna lançando na galeria pluvial ou na fossa, vala, córrego, rio ou outro corpo receptor. Imóvel com condição técnicas (cota) parcial para interligação a Rede Coletora de Esgoto.	Esgoto lançado parcialmente em outro corpo receptor

(Tabela 01 – cont.)

(Tabela 01 – cont.)

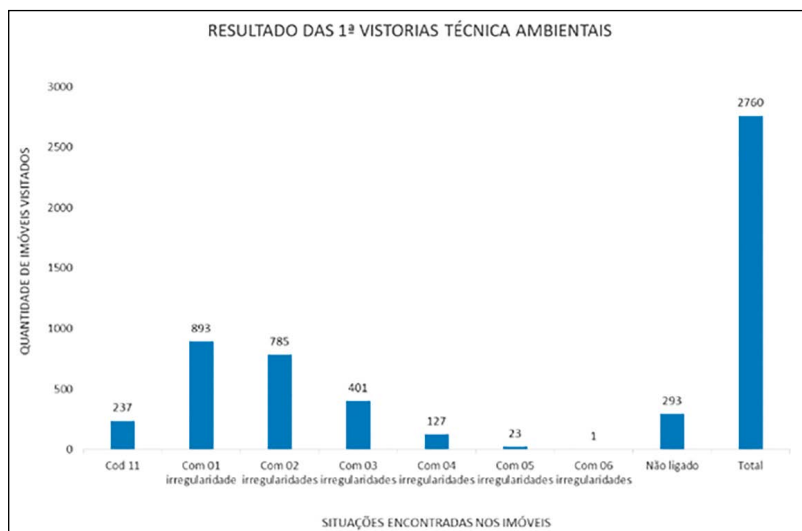
Cód	Descrição do Serviço Socioambiental	Resumo
17	Vistoria Técnica Ambiental realizada. Interligação incorreta. Ligação efetuada por cima ou no meio do Dispositivo Tubular de Inspeção – DTI, ou DTI não localizado ou enterrado ou com cap de concreto lacrado.	Ligação por cima do DTI
18	Vistoria Técnica Ambiental realizada. Interligação irregular. Não existe caixa de gordura ou sem retenção de lama graxa ou óleo.	Sem caixa de gordura
19	Vistoria Técnica Ambiental realizada. Interligação irregular. Rede ou ramal interno do imóvel está obstruído ou irregular tais como: tubulação quebrada.	Ramal interno obstruído e/ou irregular
20	Vistoria Técnica Ambiental realizada. Interligação irregular. Interligação correta, porém, situação irregular. Fossa não aterrada e aparente.	Fossa não aterrada
22	Vistoria Técnica Ambiental realizada. Interligação irregular. A caixa de gordura existente não possui funcionalidade, sem retenção de lama, graxa ou óleo, tanque e/ou lavanderia interligada à caixa de gordura e outros assemelhados	Caixa de gordura sem funcionalidade
GRUPO B – VTA ESGOTO NÃO INTERLIGADO		
31	Vistoria Técnica Ambiental realizada. Detectado esgoto não interligado.	Não ligado com DTI disponível
36	Vistoria Técnica Ambiental não realizada. Usuário informa que não interligou ou que não sabe.	Com DTI orientação/sensibilização

Fonte: Sistema Normativo da Sanepar (2019)

A Figura 02 apresenta os resultados coletados e quantificados quanto a situação dos imóveis visitados após o término da primeira VTA.

Considerando o total de 2.760 imóveis visitados apenas 237 deles estavam ligados corretamente na rede coletora de esgoto (Cód. 11), representando em percentual 8,58% dos imóveis. Dos demais 2.523 imóveis, 293 não estão ligados na rede coletora de esgoto da Sanepar e 2.230 se encontravam em situações irregulares. Dos 2.230 imóveis que apresentaram irregularidades, 893 deles foram encontradas apenas uma irregularidade, mas há inúmeros casos em que foi possível encontrar de duas até seis irregularidades, conforme Figura 02.

Figura 02: Resultado da situação dos imóveis após o término da 1ª VTA.



Fonte: Os autores (2019)

Os imóveis ainda não ligados à rede coletora de esgoto representam 10,62%, e quando se fala de rede disponível e não utilizada, está-se referindo a um termo muito utilizado pelo Instituto Trata Brasil (2015), que é a ociosidade das redes de esgotamento sanitário, pois neste caso, as moradias/imóveis têm disponibilidade da estrutura, mas por diversas razões não estão conectadas a ela.

De acordo com o Instituto Trata Brasil (2015), entre os diversos fatores da resistência dos usuários em se interligar a rede coletora de esgoto, estão: a falta de capacidade de pagamento; cultura de não pagar o esgoto; a interligação à rede praticamente duplica o valor da fatura do usuário; os prestadores de serviços não possuem práticas efetivas para valoração dos serviços de esgotamento sanitário, principalmente o tratamento; a população não valoriza o tratamento de esgoto; o Poder Público municipal não compreende totalmente suas responsabilidades nas áreas de saneamento e meio ambiente e pouco utiliza o Poder de Polícia para obrigar os munícipes a se interligarem ao sistema; o morador não quer danificar piso da residência para passar a rede interna; a ausência de programas de estímulo à interligação à rede de esgoto; a inexistência de sanções e penalidades; entre outros.

Há, portanto, muito ainda por realizar, especialmente no que tange à coleta e a ligação de esgoto, pois, apesar do empenho do Sanepar na implantação de redes coletoras, incluindo as esperas para a conexão, a maioria dos usuários se nega a conectar, permanecendo com o sistema antigo, lançando o esgoto em fossas, sumidouros e/ou rede pluvial e córregos, contrariando a legislação, prejudicando a saúde pública e o meio ambiente (SUITA, 2018).

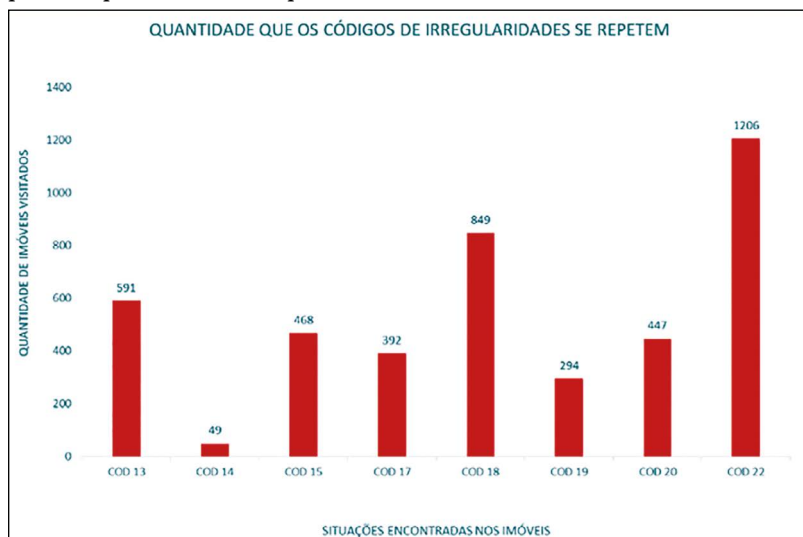
Com vistas a reduzir a ociosidade das redes coletoras de esgoto, o instituto Trata Brasil, cita como proposta, estabelecer nos contratos a obrigatoriedade do município em exigir aos usuários a interligação às redes coletoras de esgoto existentes, utilizando-se para isso dos órgãos municipais fiscalizadores, que podem ser tornar parceiros junto à empresa prestadora de serviço.

Visando saber quais são os principais problemas/irregularidades encontradas nos imóveis durante a primeira VTA, foram somadas todas as vezes que cada irregularidade foi citada na notificação de irregularidade e o resultado encontra -se na Figura 03.

Analisando a Figura 03, é possível visualizar que o principal problema/irregularidade encontrado nos imóveis que se encontram em desconformidade com a ligação correta de esgoto, é o

código 22, referente à caixa de gordura sem funcionalidade/fora dos padrões ou problemas associados, seguido pelo código 18, que identifica a ausência de caixa de gordura, posteriormente à irregularidade de água de chuva na rede, o código 13 e parcialmente ligado, representado pelo código 15.

Figura 03: Número de vezes que os códigos de irregularidade se repetem após término da primeira VTA.



Fonte: Os autores (2019)

A falta/ausência de caixa de gorduras em residências, bem como o mau dimensionamento da mesma, gera um grande problema no funcionamento dos sistemas de esgoto. Sem esse equipamento, a gordura vai direto para as tubulações de esgoto, provocando obstruções no ramal interno (parte de responsabilidade do cliente), no ramal externo (de competência da concessionária), causando obstruções/entupimentos, podendo levar a refluxos, bem como pode chegar até as estações de tratamento de esgoto, trazendo transtornos no tratamento, diminuindo a eficiência do processo.

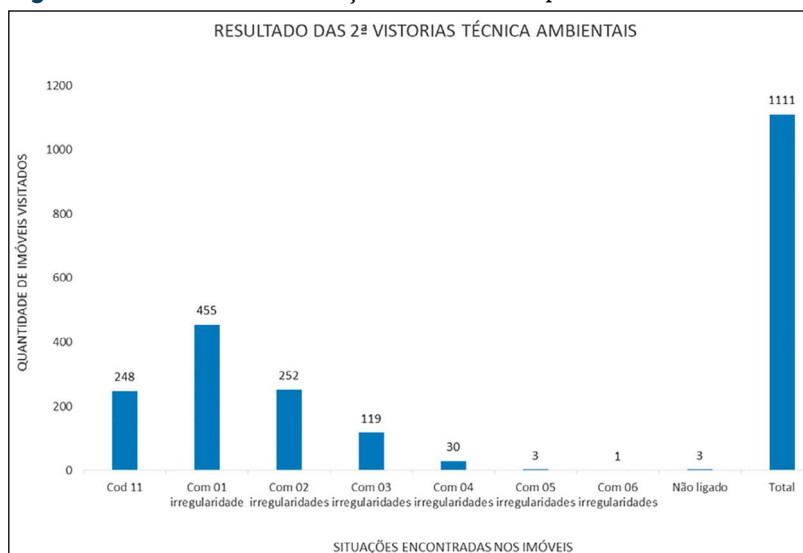
O entupimento nas tubulações de esgoto, também podem ser ocasionadas, devido ao mau uso da rede coletora de esgoto, pelos

usuários, que, por desconhecimento ou má intenção, destinam objetos estranhos, resíduos sólidos nos vasos sanitários e, em alguns casos, diretamente nos poços de visita.

Além disso, de acordo com os gráficos, nota-se a inexistência de caixa de gordura em parte das residências visitadas. Segundo a Norma Brasileira (NBR) nº 8160 (ABNT, 1999), é recomendado o uso de caixas de gordura quando houver geração de resíduos gordurosos, sendo que isto ocorre nas residências, após canalizações de pias de cozinha ou máquinas de lavar louças.

Quanto ao domicílio que está parcialmente ligado, entende-se que parte do esgoto gerado é encaminhado para a rede coletora de esgoto, e parte pode estar sendo destinada para outros locais, podendo ser fossa, a céu aberto, ou galerias pluviais. No caso de haver fossa, o código 15 pode estar atrelado a outro código que é o 20, pois este imóvel está destinando parte do esgoto para outro local que não é a rede coletora de esgoto, contribuindo com a contaminação do meio ambiente.

Figura 04: Resultado da situação dos imóveis após término da 2ª VTA.



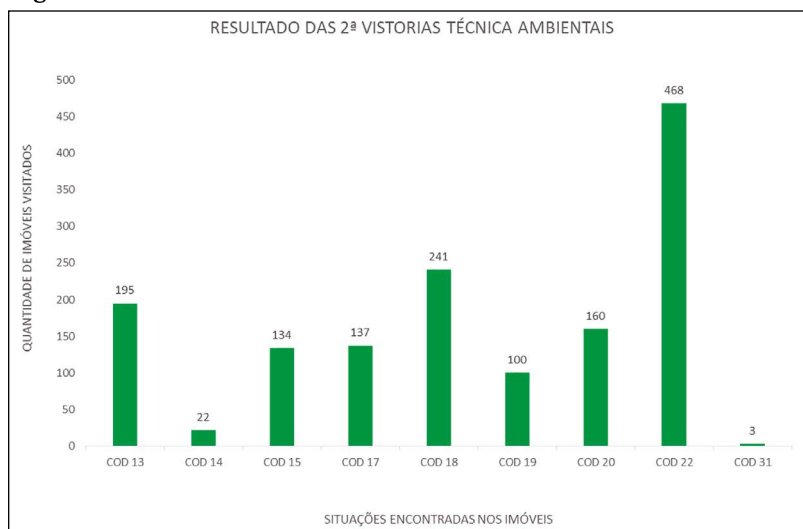
Fonte: Os autores (2019)

Avaliando que durante os trabalhos de fiscalização, foram realizadas 2.760 primeiras VTA e destas, 237 imóveis receberam certificados, restaram 2.523 imóveis a serem vistoriados num segundo momento. Este número corresponde aos imóveis que receberam notificações de irregularidades, seja por não estarem ligados, ou por conterem uma ou mais irregularidades.

Conforme resultado das primeiras VTA, 2.523 imóveis se encontravam irregulares, mas foram realizadas apenas 1.111 segundas VTA, e o resultado da situação dos imóveis é apresentado na Figura 04.

Visualizando a Figura 04, do total de 1.111 imóveis visitados, 248 receberam CR, representando 22,32% da amostra de segunda VTA; de outra forma, pode-se confirmar que, após a primeira fiscalização, dentre os imóveis que ainda se encontravam irregulares (2.230 imóveis), 11,12% dos imóveis regularizaram a situação que estava em desconformidade.

Figura 05: Repetição dos códigos de irregularidade após término da segunda VTA.



Fonte: Os autores (2019)

Do total de imóveis visitados em segunda VTA, 77,68% deles continuam irregulares quanto a ligação predial de esgoto. A Figura 05, traz a quantidade de vezes que as irregularidades se repetiram, durante a segunda VTA; desta forma, é mais visível de se detectarem os principais problemas encontrados.

Analisando a Figura 05, observa-se que as classificações dos códigos na segunda VTA continuam no mesmo patamar da primeira VTA. Em primeiro lugar, encontra-se a irregularidade referente a problemas na caixa de gordura (código 22), seguido pela ausência da caixa de gordura (código 18) e água de chuva na rede coletora de esgoto (código 13).

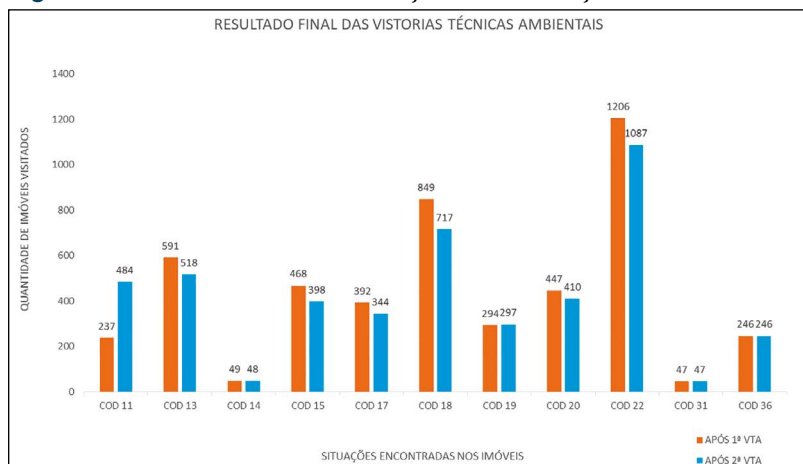
As irregularidades de água de chuva na rede e problemas de má funcionalidade das caixas de gordura são situações comuns nos sistemas de esgotamento sanitário. Isso não é um fato novo, visto que há muitos relatos de problemas operacionais de grande vazão nas estações de tratamento de esgoto e grandes aglomerações de gordura nos reatores anaeróbicos, devido a problemas de instalações intradomiciliares.

Isso também é relatado por Marin et al. (2016), onde as irregularidades encontradas nas ligações prediais das edificações ligadas à rede coletora, geralmente estão relacionadas com erros no dimensionamento, padronização e instalação da caixa de gordura, que apresenta lançamentos de tanques, máquinas de lavar roupas, banheiros etc. Outros erros comumente observados são a falta de limpeza periódica e o difícil acesso à caixa de gordura, além de ligações de águas pluviais na rede coletora de esgoto, fossas e sumidouros antigos sem desativação.

Com o objetivo de apresentar a real situação encontrada após o término dos serviços de intervenção socioambiental, ou seja, após o concluir as vistorias em primeira e segunda instâncias, substituíram-se os resultados de códigos das primeiras vistorias pelos códigos obtidos em segunda instância, para todos os imóveis que foram visitados. Desta forma, apresenta-se na Figura 06, a comparação dos resultados obtidos após a primeira VTA, com a substituição dos resultados obtidos após a segunda VTA.

Efetuada a soma do número de imóveis ligados corretamente na primeira VTA ao número de imóveis ligados corretamente durante a segunda VTA, obteve-se um total de 484 imóveis ligados corretamente na rede coletora de esgoto, equivalentes a 17,54% de imóveis regularizados ao finalizar a fiscalização. Ainda há 293 imóveis (10,62%) não ligados na rede coletora de esgoto e 71,84% de imóveis que se encontram em situação irregular, conforme apresentado na Figura 06.

Figura 06: Resultado final dos serviços de intervenção socioambiental.



Fonte: Os autores (2019)

Analisando a Figura 06, é possível avaliar que, após a segunda VTA, houve uma redução de irregularidades na maioria das categorias de códigos, e que parte da população se mobilizou para regularizar a situação do seu imóvel, o que resultou num maior número de imóveis com CR. Isso demonstra que a intervenção socioambiental foi importante na conscientização, e consequente correção de irregularidade na ligação intradomiciliar de esgoto. Desta forma, é evidente a necessidade de que o serviço de conscientização, orientação e visitas para verificação das ligações intradomiciliares de esgoto, tenha continuidade em etapas subsequentes.

Com as informações coletadas, é possível compreender que a educação sanitária é um direito destinado a toda população, e que a conscientização ambiental sobre o assunto oferece inúmeros benefícios, pois, além de facilitar a operação da rede coletora, traz também melhorias para a saúde física e intelectual dos habitantes. Entretanto, é preciso fazer mais, buscando parcerias com órgãos municipais, atuantes na fiscalização, bem como na assistência social, com objetivo de diminuir as irregularidades nos imóveis, conscientizando e mobilizando os usuários a assumirem sua responsabilidade na correta interligação, fornecendo apoio na interligação de imóveis com famílias vulneráveis e, juntos, nesta parceria, obter melhores resultados quanto à interligação correta dos imóveis.

Considerações finais

A disposição adequada dos esgotos é essencial à proteção da saúde pública e do meio ambiente. Sabe-se que um número extremamente grande de infecções pode ser transmitido por diferentes vias e materiais, inclusive pelas excretas humanas. Manter e melhorar a qualidade ambiental e sanitária, bem como o funcionamento das demais unidades que compõem o sistema de esgoto sanitário, não são apenas atribuições dos órgãos ambientais e sanitários, por meio da elaboração de normas e pelo cumprimento das leis, mas também, e principalmente, por ações da comunidade.

O saneamento, como promoção de saúde, abrange a implantação de uma estrutura física composta de sistemas de água, esgoto, resíduos sólidos e drenagem pluvial, o que o caracteriza uma intervenção no meio físico. Mas, também inclui um conjunto de ações de educação para os usuários desses sistemas; um conjunto de políticas que estabeleçam direitos e deveres dos usuários e dos prestadores, assim como articulações setoriais; uma estrutura institucional capaz de gerenciar o setor de forma integrada aos outros setores ligados à saúde e ao ambiente (SOUZA, 2007).

Conclui-se que, ao finalizar esta etapa de intervenção socioambiental no município de Terra Roxa-PR, 17,54% dos imóveis

visitados estão ligados corretamente na rede coletora de esgoto da Sanepar, e por isso receberam o CR.

Além do baixo percentual de ligações corretamente realizadas, há 10,62% dos imóveis que, mesmo tendo todo um sistema de esgotamento sanitário disponível, continuam utilizando outros meios de disposição do esgoto gerado, que não a rede coletora de esgoto da Sanepar, ou seja, não estão ligados.

Convém enfatizar que a Lei Nacional do Saneamento Básico nº 11.455/2007, em seu Art. 45, ampara legalmente a obrigatoriedade da interligação com a rede. Sendo assim, havendo rede de esgoto sanitário, a interligação é obrigatória e sujeita à cobrança tarifária. Isso significa que, mesmo que não exista uma legislação municipal, a legislação nacional prevalece (SOUZA et al., 2018)

Mas o maior agravante é em relação ao grande percentual de imóveis irregulares, uma vez que 71,84% dos imóveis com rede coletora de esgoto disponível, mesmo após as orientações, continuam em situação irregular.

Ressalta-se aqui a importância da instalação correta do ramal predial interno, pois tais detalhes interferem na coleta e tratamento do esgoto sanitário, podendo provocar entupimento nas tubulações e paralização do serviço, o que prejudica toda a população atendida. Tais instalações hidráulicas prediais são previstas em normas da ABNT.

Concluiu-se que a fiscalização obteve resultados já esperados, visto que, na operacionalização do sistema de esgotamento sanitário, têm-se enfrentado situações de extravasamento de esgoto, por rede coletora obstruída por gordura ou objetos sólidos, bem como, constatou-se na Estação de Tratamento de Esgoto, uma grande vazão em dias de chuva na região.

Sugere-se que o serviço de conscientização e fiscalização tenha continuidade, seja por novas contratações da Sanepar, ou por meio de parcerias com o município, visando identificar e orientar a população sobre a correta ligação intradomiciliar de esgoto, bem como a municipalidade incorporar o serviço de vistoria

de “habite-se sanitário”, com o intuito de aumentar o número de imóveis ligados corretamente à rede coletora de esgoto existente.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ANT. **NBR 8160**: Sistemas prediais de esgoto sanitário - Projeto e execução. Rio de Janeiro, 1999.

BAY, A. C.; SILVA, V. P. Percepção ambiental de moradores do bairro de liberdade de Parnamirim/RN sobre Esgotamento Sanitário. **Revista HOLOS**, Ano 27, v. 3. 2011. Disponível em: <<http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/381/454>>. Acesso em 18 de nov. 2019.

BRASIL, **Lei 11.445**, de 5 de Janeiro de 2007 – Lei Federal de Saneamento Básico, Brasil, DF, 2007. Disponível em: <<https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2007/lei-11445-5-janeiro-2007-549031-normaatualizada-pl.html>>. Acesso em 02 de abril de 2020.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Ociosidade das Redes de Esgotamento Sanitário no Brasil**. 2015. Disponível em: <<http://www.tratabrasil.org.br/datafiles/estudos/ociosidade/relatorio-completo.pdf>>. Acesso em 22 de nov. 2020.

JACOBI, P. R. Educação Ambiental, cidadania e sustentabilidade. **Cadernos de Pesquisa**, n. 118, mar. 2003, p. 189-205.

LEONETI, A. B.; PRADO, E. L. do; OLIVEIRA, S. V. W. B. de. Saneamento básico no Brasil: considerações sobre investimentos e sustentabilidade para o século XXI. **Revista de Administração**, Rio de Janeiro: mar./abr., p. 331-348, 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0034-76122011000200003&script=sci_abstract&tlng=pt>. Acesso em 11 de fev. 2020.

MARIN, C.B. et al. Identificação das ligações prediais de esgoto irregulares ou clandestinas no município de Itapema (SC). **Revista DAE**, maio/agosto 2016. Disponível em: <http://revistadae.com.br/artigos/artigo_edicao_202_n_1635.pdf>. Acesso em 16 de mar.2020.

MINAYO, M. C. de S.; DESLANDES, S. F.; GOMES, R. **Pesquisa social: teoria, método e criatividade**, 29 ed, Petrópolis, RJ: Vozes, 2010.

OLIVEIRA, M. M. de. **Como fazer pesquisa Qualitativa**, Petrópolis, RJ: vozes, 2007, p. 182.

PARANÁ, **Código de Saúde do Paraná. Secretaria do Estado de Saude** – Curitiba, SESA, 2002, p.245. Disponível em: <http://www.saude.pr.gov.br/arquivos/File/Codigo_Saude.pdf>. Acesso em 11 de nov. de 2019.

PROGRAMA DE EDUCAÇÃO AMBIENTAL E MOBILIZAÇÃO SOCIAL EM SANEAMENTO - PEAMSS. **Caderno metodológico para ações de Educação Ambiental e mobilização social em saneamento**. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, Ministério das Cidades. Brasília, mai. 2009.

SANEPAR. Companhia de Saneamento do Paraná. **Implantação do sistema de esgoto em Terra Roxa entra em fase final**. 2016. Disponível em: <<http://site.sanepar.com.br/noticias/implantacao-do-sistema-de-esgoto-em-terra-roxa-entra-em-fase-final>>. Acesso em 11 de fev. 2020.

SOUZA de, G S.; CECONELLO, S, T.; CENTENO, L, N. Redes ociosas: um estudo de caso sobre a percepção da população do bairro Laranjal quanto à obrigatoriedade da ligação dos ramais prediais à rede pública coletora de esgotos. **Revista Thema**. v. 15, n. 4, 2018, p.1499-1510. Disponível em: <<http://periodicos.ifsul.edu.br/index.php/thema/article/view/888>>. Acesso em 17 de mar. 2020.

SOUZA, C. M. N. Relação Saneamento-Saúde-Ambiente: os discursos preventivista e da promoção da saúde. **Saúde Soc**. São Paulo, v. 16, n.3, p.125-137, 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0104-12902007000300012&script=sci_abstract&tlng=pt>. Acesso em 17 de jan. 2020.

SUITA, M. do C. **Análise dos fatores determinantes para ocorrência de ociosidades das redes de esgoto sanitário no município de Caxias do Sul – RS**. 2018. 123 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciências) – Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2018.

SISTEMA NORMATIVO DA SANEPAR, 2019, MN/AMB/0006.

RAMPAZZO, L. **Metodologia Científica: para alunos dos cursos de graduação e pós-graduação**, 3 ed. São Paulo: Loyola, 2005, p.145.

RICHARDSON, R. J **Pesquisa social: métodos e Técnicas**. 3 ed, São Paulo: Atlas, 2008, p.334.

VON SPERLING, T. L. **Estudo da utilização de indicadores de desempenho para avaliação da qualidade dos serviços de esgotamento sanitário**. 2010. 140 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos), Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

Capítulo 28

LIGAÇÕES IRREGULARES DE ESGOTO EM CASCAVEL-PR

Juciane da Silva Assis Hamerski
Mateus Luiz Biancon

Introdução

A preocupação com o meio ambiente é antiga. No Brasil, surgiram ações mais concretas a partir da Lei nº 11.445/2007 e o Decreto nº 7.217/2010, que norteiam os investimentos com recursos providos da União, e para tal, todo município deve elaborar um Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB), proporcionando melhor planejamento dos serviços básicos à população, aliados à melhor condição de saneamento ambiental e propostas de EA, que cominem numa mudança cultural de responsabilidade proativa ambiental.

A Sanepar exerce suas atividades econômicas por meio de concessões públicas de serviços de saneamento básico, exclusivamente voltados para a qualidade de vida da população, realizando intervenções de forma a preservar e modificar favoravelmente as condições do meio ambiente, reduzindo e prevenindo doenças endêmicas e epidemiológicas de transmissão hídrica ou por ausência de coleta e tratamento de esgoto.

De acordo com Schuster (1994), é universal o entendimento de que os fatores determinantes para o nível de saúde da população são, pela ordem: a qualidade de vida;

o saneamento; e os atos médicos. O abastecimento de água, simultaneamente à destinação adequada de dejetos, é capaz de influir poderosamente contra as mais frequentes endemias como verminose, amebíase, febre e outras, muitas delas responsáveis pelo maior percentual de mortalidade infantil.

Devido à importância da coleta e tratamento de esgoto para a população e para o meio ambiente, e a fim de identificar as falhas no processo de implantação do sistema de esgotamento sanitário, muitas vezes com êxito, faz-se de grande valia o presente estudo referente à obra de ampliação de rede coletora de esgoto dos bairros Cascavel Velho e Morumbi, na cidade de Cascavel-PR. Para isso, foram analisados os dados de campo levantados nas vistorias técnicas ambientais, realizadas em conjunto com a GESA e, assim, levantaram-se quais ações podem ser incorporadas ao processo, quanto às irregularidades nas ligações de rede de esgoto. Visa-se à melhoria da efetividade do sistema de esgotamento sanitário, de modo a precaver danos à população, ao meio ambiente e ao resultado do tratamento final do esgoto residencial.

Saneamento e vida

A palavra “sanear” é oriunda do latim *sanu* que significa “são”; segundo o dicionário Aurélio (2011, p. 793) significa tornar são, habitável ou respirável. Já, sobre a função do saneamento, Cavinatto (1992, p. 14) escreve “prevenir a poluição dos rios e das praias, e também garantir o fornecimento e a qualidade da água que chega às nossas casas”.

Dias (1992) enfatiza que a água é o componente indispensável para a vida, por isso, a água dos mananciais, ou de subsolo que alimenta as comunidades, precisa ser devolvida à natureza em situação que se assemelhe ao seu estado original. A ocupação humana e o adensamento desordenado em locais próximos aos centros urbanos dificultam a manutenção dessa qualidade ambiental. O Conama (2002, p. 2) define critérios a serem estabelecidos para que uma área seja considerada urbana consolidada:

a) definição legal pelo poder público; b) existência de, no mínimo, quatro dos seguintes equipamentos de infra-estrutura urbana: malha viária com canalização de águas pluviais; rede de abastecimento de água; rede de esgoto; distribuição de energia elétrica e iluminação pública; recolhimento de resíduos sólidos urbanos; tratamento de resíduos sólidos urbanos e densidade demográfica superior a cinco mil habitantes por km².

O Conama estabelece as responsabilidades e diretrizes aos entes federativos quanto a todas as atividades que podem causar impactos no meio ambiente, as quais são avaliadas por uma equipe multidisciplinar e, em todos os casos, é necessário que sejam asseguradas medidas mitigadoras previstas em relação aos impactos negativos, mencionando aqueles que não puderam ser evitados e o grau de alteração esperado (CONAMA, 1986).

O saneamento básico é imprescindível para tornar viável essa constante interação entre homem e meio ambiente de forma equilibrada. Para isso, são necessários altos investimentos em todas as áreas que compõem o saneamento. Ribeiro (1998, p. 72) afirma que “o saneamento contempla cinco grandes aspectos: abastecimento de água; coleta e tratamento de esgotos; controle de vetores de doenças; disposição final de resíduos sólidos urbanos; e drenagem”.

Para Mutti (2015), em tese, o sistema de esgotamento adotado no Brasil é o separador absoluto, onde as águas residuárias (esgoto) e pluviais (chuvas) deveriam ser independentes, o que nem sempre ocorre. Este fator implica fortemente na qualidade ambiental, uma vez que muitos agentes estranhos ao tratamento e à destinação final do esgoto acabam sendo incorporados aos efluentes.

Festi (2020) afirma que, ao dimensionar um empreendimento de sistema de esgoto sanitário, é necessário considerar, para a definição da carga de contribuição dos efluentes, a população da bacia de contribuição, a vazão de infiltração no percurso das redes coletoras até as estações de tratamento, e que o “dimensionamento dos coletores tronco, dos emissários, das estações

elevatórias de esgoto e das estações de tratamento de esgoto, a contribuição das águas pluviais deve também ser considerada” (FESTI, 2020, p. 2).

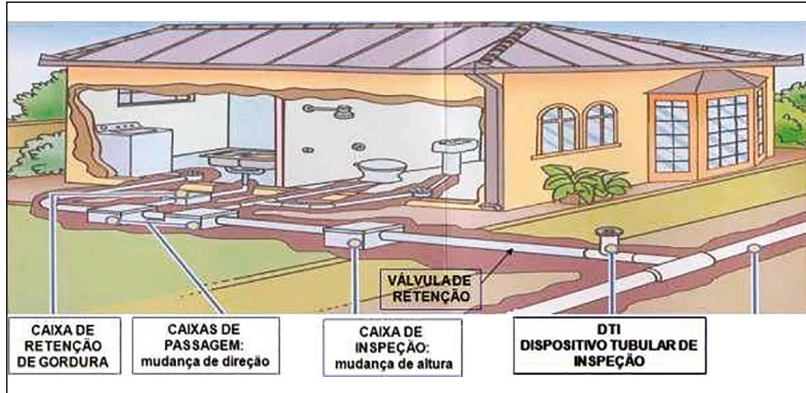
Como já abordado em capítulos anteriores, o sistema de esgotamento sanitário se divide em sistema individual e coletivo, sendo que o individual é utilizado em áreas sem coleta pública, e se refere em sua maioria a instalações de fossas sépticas, sumidouros e fossas negras. O sistema coletivo se refere à implantação de um sistema de esgotamento sanitário que se utiliza de redes públicas dispostas em vias públicas que, de acordo com Pereira e Soares (2006), abrangem: a instalação hidrossanitária domiciliar, que é composta da tubulação interna da casa e suas peças sanitárias; a ligação intradomiciliar, que se refere ao trecho de tubulação que interliga as peças sanitárias ao ramal predial; o ramal predial, que as interliga ao ramal coletor; o ramal coletor, que o conecta à rede coletora pública; a rede coletora pública, que é o conjunto de canalizações e poços de visita, que captam os efluentes dos ramais coletores e os direcionam para um ponto específico; a Estação Elevatória de Esgoto (EEE), que é a unidade do sistema que realiza a elevação dos efluentes ao nível do poço de sucção, quando estes não possuem as cotas adequadas ao funcionamento do sistema; a estação de tratamento de esgoto (ETE), unidade de tratamento, responsável por devolver ao efluente coletado características compatíveis com a capacidade do corpo d’água receptor.

Quanto à legislação, também já comentada em outros momentos neste livro, referente à obrigatoriedade da interligação de esgoto por parte dos proprietários de imóveis, a mesma é citada no Decreto Federal nº 49.974 em seu artigo 36; na Lei Estadual nº 4/75; na Lei Estadual nº 13.331/01; no Decreto nº 3641/77, Código Nacional de Saúde; na Lei nº 2312 e no Código Civil Brasileiro, seja para uso residencial, seja comercial.

Para facilitar o entendimento quanto à forma correta de realizá-la, a Sanepar oferece, além do treinamento aos encanadores, agentes de saúde e às empresas terceirizadas, responsáveis pelas

vistorias e orientações técnicas monitoradas por engenheiros e técnicos da área, a disponibilização de modelo que segue na Figura 01.

Figura 01: Modelo de instalação intradomiciliar correta.



Fonte: Dados da GESA (2019)

Mesmo considerando que o Brasil tenha apresentado pequena melhora no cenário mundial, Oliveira (2020) relata que, apesar da evolução de atendimento dos municípios brasileiros com o serviço de coleta de esgoto, o índice é considerado muito aquém do projetado no Plano Nacional de Saneamento Básico (Plansab), indicando que a universalização que deveria ocorrer em 2033, só deverá ser atingida após 2050.

Além desse déficit em investimentos públicos, Marin et al. (2016) relatam que as principais irregularidades encontradas nas ligações prediais dos imóveis estão relacionadas a erros no dimensionamento, padronização e instalação da caixa de gordura, que apresenta lançamentos de tanques, máquinas de lavar roupas, banheiros, além de falta de limpeza periódica e o difícil acesso à caixa de gordura, ligações de águas pluviais na rede coletora de esgoto e fossas e sumidouros antigos sem desativação.

Conforme afirma Philippi Junior (2005) no *Relatório de Gestão dos Problemas da Poluição no Brasil do Banco Mundial*, de 1998, os principais problemas de poluição são originados pela

falta de abastecimento de água potável e falta de coleta segura de esgoto. O autor assegura que, para sanar os problemas estudados pela saúde pública, é necessário estabelecer políticas integradas sociais, econômicas, institucionais e ambientais que unam autoridade nacional, regional e local, no intuito de tornar o sistema de gestão eficiente. Por sua vez, Ribeiro (1998, p. 73) elenca que a falta de saneamento ambiental acarreta problemas como:

- a contaminação de corpos d'água pelo lançamento de efluentes líquidos e resíduos sólidos domésticos e industriais sem tratamento;
- a contaminação do lençol freático, quando é inadequada a localização dos aterros sanitários e há falta de tratamento de esgotos;
- o assoreamento e a redução do fluxo de escoamento nos canais de drenagem, resultantes da disposição inadequada de resíduos em terrenos baldios e nas margens dos curso d'água.

A poluição ambiental causada pelo despejo de efluentes nos cursos de água causa um desequilíbrio no ecossistema aquático, já que tem sua composição química alterada, o que reduz sua capacidade de autodepuração e leva à mortalidade de peixes, proliferação de algas e outros organismos que não permitem a oxigenação da água. Contudo, os aspectos que permitem um maior impacto pela sua fácil observância são os alagamentos, desmoronamentos, enchentes que levam à constante necessidade de ações de limpeza e remoção de poluentes dos rios, córregos e fundos de vale, fatores constantes nos locais em que a conscientização da população ainda não foi alcançada (WATANABE e SILVA, 2010).

De acordo com o Instituto Trata Brasil (2012), também é possível elencar danos sociais e econômicos pela ausência de saneamento básico, posto que influencia na educação e na renda da população, já que as doenças relacionadas estão entre os principais causadores de ausência escolar e déficit no aprendizado, assim como no trabalho, por reduzir a produtividade, ou mesmo

gerar absenteísmo. A poluição e ausência de coleta e tratamento de esgoto sanitário também tornam os destinos turísticos brasileiros menos procurados, já que tem sido comum encontrar locais impróprios para uso e banho, reduzindo assim, a renda da população e dos municípios, além de reduzir os postos de trabalho derivados dessa atividade.

O aporte de água de chuva nos ramais intradomiciliares e nas redes coletoras de esgoto acaba tornando-o um sistema separador parcial, gerando sobrecarga dos efluentes de esgoto. As consequências principais desta prática, além do aspecto visual e de emissão de mau cheiro constatados, são os refluxos nos imóveis e na rede de esgoto, sobrecarga das instalações elevatórias, que prejudicam o funcionamento da estação de tratamento de esgotos, entre outros inconvenientes. Consequentemente, acarretam, ao final do processo, a baixa eficiência no tratamento do esgoto sanitário, em altos custos na operação e manutenção das unidades operacionais de esgoto, além dos problemas ambientais e de saúde pública (MUTTI, 2015).

Desta forma, a realidade do saneamento básico ainda é bastante frágil e deficitária, porém, um grande avanço vem sendo observado a partir da implantação da Licença Ambiental, constante no inciso II da Resolução Conama nº 237/97. Muitos problemas verificados atualmente na implantação de um sistema de coleta e tratamento de esgoto devem-se à prévia ocupação e construção, fato que, em tese, não ocorre mais em novos empreendimentos, posto que a regulamentação impõe condições para que a implantação desses empreendimentos atestem a viabilidade e magnitude do projeto, abrangência e impacto ao meio ambiente.

Materiais e métodos

O levantamento de dados permitiu a análise documental dos dados primários obtidos junto à GESA quanto à extensão do empreendimento e às visitas técnicas, primeiramente, de sensibilização ambiental e orientação técnica quanto ao modo correto da interligação e seus benefícios. Deste modo, foi possível, em conjunto com a GESA, coletar informações essenciais

para a identificação de diversos fatores que influenciam em um determinado objeto pesquisado, permitindo ao pesquisador compreender melhor as causas e efeitos dos fatos.

Uma abordagem qualitativa norteou esta pesquisa, posto que a intenção não era quantificar números de dados coletados, mas sim, perceber como os fatos interferem no meio ambiente, na saúde populacional e no resultado do tratamento final do esgoto residencial. De acordo com Triviños (1987 apud OLIVEIRA, 2011), o uso da descrição qualitativa procura captar não só a aparência do fenômeno, como também suas essências, para explicar sua origem, relações e mudanças, na tentativa de intuir as consequências.

O empreendimento foi realizado no período de 2013 a 2019, no qual foram realizadas reuniões comunitárias com a população que recebeu a obra com o intuito de sensibilização e acolhimento dos agentes que realizaram as visitas técnicas posteriormente, quando também, receberam orientações prévias do cronograma das obras e prazos para realizarem as interligações corretamente. Os agentes de saúde e de endemias que atendem à população, também acompanharam e receberam um curso preparatório para auxiliar neste trabalho, profissionais encanadores e pedreiros receberam treinamento para prestarem o serviço aos usuários quanto à forma correta de interligação à rede coletora de esgoto.

As vistorias realizadas pela equipe da GESA, e acompanhadas pela pesquisadora nos domicílios, tiveram como procedimento a aplicação de corantes em todos os pontos geradores de esgoto, como as caixas de passagem, inspeção e gordura da edificação. Foram também observados os locais de despejos das águas pluviais, de modo que não fossem interligadas à rede coletora de esgoto, assim como, fizeram ainda a confirmação da limpeza da fossa negra, antes utilizada, bem como seu aterramento.

Também contribuiu para a realização do estudo, o aprofundamento do tema junto aos documentos e relatórios fornecidos pela GESA, além da pesquisa em relação ao tema do estudo já publicado. Quanto à tipologia de pesquisa definida, optou-se pelo estudo de

caso, já que se concentrou na avaliação apenas parte do empreendimento, que atendeu aos bairros Cascavel Velho e Morumbi, pois, o empreendimento total contemplou 162.612 metros de rede e 9.704 ligações de esgoto intradomiciliares instaladas. O estudo foi limitado a 59.822 metros de rede e 5.050 ligações dos bairros citados, ambos na cidade de Cascavel-PR. Esse conjunto metodológico aplicado, permitiu construir com fidedignidade a natureza dos fatores que, mesmo com toda a orientação técnica dos empreendedores, levam os usuários a realizarem a interligação total ou parcialmente, em desacordo com o que preconiza a legislação.

Resultados e discussão

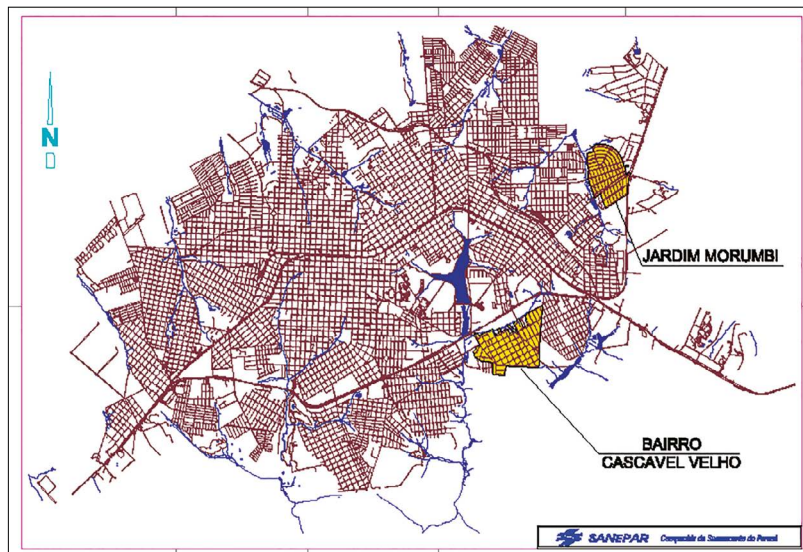
No Paraná, a Sanepar é a detentora da concessão responsável pelo saneamento básico, atendendo, conforme já mencionado em capítulo anterior, 345 cidades paranaenses, num total de 3.923.428 economias ativas com tratamento e distribuição de água. A coleta e tratamento de esgoto possui um índice de cobertura com rede de esgoto de 72,5%, totalizando 2.141.050 ligações e 2.896.583 economias ativas, sendo tratados 100% do esgoto coletado (SANEPAR, 2019).

Cascavel-PR está entre as cidades atendidas pela Sanepar e os bairros Cascavel Velho e Morumbi, representados em amarelo na Figura 02, são considerados, de acordo com Cascavel (2020) em seu Plano Diretor de Cascavel-2016, bairros com alta vulnerabilidade à contaminação do lençol freático, possuindo inúmeras nascentes de água que compõem a bacia do rio Cascavel. Pelo motivo de possuírem inúmeras edificações em áreas de risco, causando fragilidade ambiental, o local foi priorizado na execução da expansão da rede coletora de esgoto:

Por meio do programa de Educação e Intervenção Socioambiental “Se ligue na rede”, a GESA realizou para esse empreendimento 15 reuniões comunitárias, 9 palestras e atendimentos com o ônibus Ecoexpresso nas escolas do bairro, 3 cursos para encanadores e agentes de saúde e de endemias, além das vistorias nos 5.050 imóveis. Todas estas ações visaram orientar cada família da área que recebeu o empreendimento, para que realizasse

a interligação correta dos imóveis à rede coletora de esgoto, de forma consciente e corresponsável pelo meio ambiente, tornando-os gestores da própria melhora da qualidade de vida e da comunidade onde estão inseridos.

Figura 02: Mapa da planta geral cidade de Cascavel – PR.

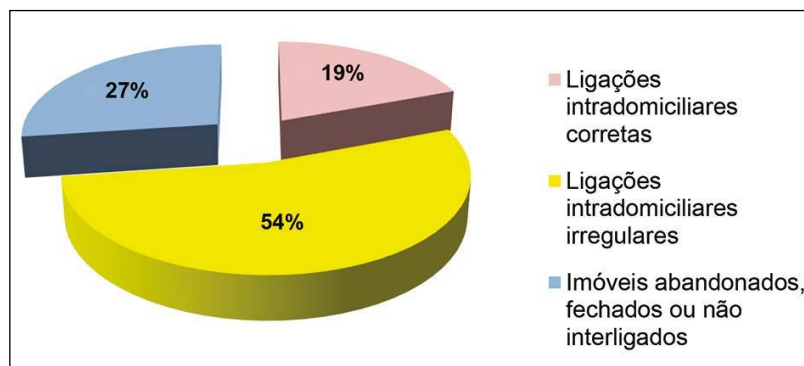


Fonte: Os autores (2019)

Nesta primeira fase do empreendimento, os usuários tomaram conhecimento da legislação ambiental vigente, em especial a Lei Estadual nº 13.331/01, que dispõe sobre a promoção, proteção e recuperação da saúde; e sobre a organização, regulamentação, fiscalização e controle das ações e dos serviços de saúde nas esferas estadual e municipal, dentro da qual também estão descritas as responsabilidades e sanções pela não adesão correta ao sistema de coleta e tratamento de esgoto. Igualmente importantes são as orientações técnicas quanto à declividade topográfica, necessária para o escoamento adequado dos efluentes, assim como a descrição de quais são aos efluentes permitidos e não permitidos a serem lançados na rede coletora de esgoto.

Concomitante à execução das obras entregues ao bairro Morumbi em 2015, e bairro Cascavel Velho em 2016, foram realizadas as palestras de conscientização e orientação quando das vistorias nos imóveis pela equipe contratada pela GESA, trabalho realizado em conjunto com engenheiros, técnicos e assistente social da Sanepar, com a participação da pesquisadora. Os resultados das vistorias configuram-se conforme o Gráfico 01, apontando 977 imóveis com ligações intradomiciliares de esgoto interligados corretamente, equivalente apenas a 19,34% do total de 5.050 dos imóveis vistoriados.

Gráfico 01: Resultado das vistorias.



Fonte: Os autores (2019)

Já, 2.702 imóveis apresentavam erros na interligação, como água de chuva na rede coletora de esgoto, ligações irregulares no imóvel ou lançados em rios, valas, problemas na caixa de gordura, fossa não aterrada, tanques ou canis descobertos ou ligados à caixa de gordura, totalizando o expressivo resultado de 53,50% do total de imóveis vistoriados. Em sua grande maioria, trata-se da não adoção ou instalação de despejo de efluentes indevidos na caixa de gordura.

Outros 1.371 imóveis encontravam-se abandonados, fechados ou não interligados, totalizando 27,16%. Os casos com irregularidade e os de imóveis vazios ou fechados seguem

acompanhados pela Sanepar, no intuito de realizar as correções necessárias.

Devido a problemas administrativos na contratação, as vistorias realizadas pela equipe técnica da GESA e da empresa terceirizada contratada, acompanhadas pela pesquisadora, só foram finalizadas em novembro de 2019. Isso impossibilitou a perícia em vários imóveis, onde as ligações não ocorreram ou ocorreram de forma parcial, resultando que a somatória dos imóveis interligados e os imóveis com situação irregular não resolvidos, ou não interligados, foi bastante elevado, correspondendo a 72,85%. Após o período concedido aos usuários para a adequação, os casos que permaneceram com irregularidades foram repassados para o órgão fiscalizador responsável do município, a Secretaria de Vigilância Sanitária ou Ministério Público, dependendo da gravidade do dano ambiental causado pela não interligação correta.

Durante o trabalho das vistorias, foi possível identificar os tipos de irregularidades mais comuns encontrados nos imóveis, sendo: o lançamento de esgoto na rede de água pluvial; água pluvial (chuva) lançada na rede de esgoto; esgoto lançado em local indevido (fossas, poço-morto, rios, valas, etc); falta de caixa de gordura ou caixa sem a devida funcionalidade; fossa não aterrada e tanque/canil descoberto ou ligados à caixa de gordura.

Também, foi possível identificar que, da forma como o processo foi operacionalizado, tornou-se moroso e com baixa eficiência, gerando diversos agravos que confirmam os problemas citados pelos autores pesquisados, como por exemplo, problemas operacionais que remetem a vários serviços em campo, devido a não interligação correta dos domicílios como os exemplificados na Tabela 01.

Pelo observado nas vistorias intradomiciliares e acompanhamento dos resultados dos serviços apresentados na Tabela 01, as obstruções e refluxos são resultado da não observância das técnicas de instalação da tubulação interna, mas, também pelos tipos de materiais lançados pelos usuários, que deveriam observar seus locais próprios de destinação. Dentre eles estão:

água de chuva, buchas de banho, cabelo, gordura, e até mesmo pedras, madeira e ferro, materiais não comportados pela rede coletora, ocasionando obstruções no ramal ou rede coletora e, conseqüentemente, o refluxo (retorno do esgoto para dentro dos imóveis por meio do dispositivo de interligação interna). Faz-se necessária então, a desobstrução da rede realizada com uso de vareta manual ou com a máquina de hidrojato, irregularidades que geram incômodo para os clientes, custos adicionais para a empresa, devido aos danos causados pela rede e ao tratamento final do esgoto residencial, além dos danos ambientais.

Tabela 01: Serviços realizados no período de junho a dezembro de 2019.

Bairro	Tipo	Quantidade
Morumbi	Desobstrução com vareta (manual)	18
	Desobstrução hidrojato (máquina)	38
	Refluxo na edificação	3
Cascavel Velho	Desobstrução com vareta (manual)	23
	Desobstrução hidrojato (máquina)	37
	Refluxo na edificação	1

Fonte: Os autores (2019)

Convém ressaltar que, parte do dano ambiental, social e econômico, gerado pelas ligações irregulares tem também uma contribuição negativa causada pelos problemas de infiltrações na rede, que ocorrem no percurso entre a ligação intradomiciliar e a estação de tratamento, seja propositadamente para canalizar águas pluviais ou despejos irregulares de esgoto, seja devido a quebras derivadas de obras e rebaixamentos de relevo ocorridos com o tempo.

De acordo com dados da Sanepar, o tratamento de esgoto nas Estações de Tratamento de Esgoto (ETE), segue um rigoroso

procedimento de limpeza e análises diárias, de modo a lançar de volta ao rio receptor uma qualidade de água requerida legalmente, de acordo com os parâmetros exigidos para a preservação ambiental. O lançamento de águas pluviais na rede coletora de esgoto por meio das ligações intradomiciliares é um dos principais causadores de redução na eficiência deste tratamento. O esgoto coletado no bairro Morumbi é direcionado para a estação de tratamento do rio Melissa, que recebe os efluentes deste e de outros bairros da região, projetado para suportar uma vazão máxima de 300 l/s (litros por segundo); em dias secos, opera com a média de 80 l/s, e mesmo assim, em dias de chuvas torrenciais, a vazão máxima pode até ser duplicada.

Já a estação de tratamento de esgoto do rio Quati, que recebe o esgoto do bairro Cascavel Velho, entre outros, é projetada com uma vazão máxima de 300 l/s; em dias secos opera com a média de 180 l/s e os problemas que ocorrem são similares, levando os operadores a realizarem limpeza mais vezes, o que implica o arraste das bactérias que digerem a matéria orgânica, elevando os custos operacionais com manutenções e pela adição de maiores quantidades de produtos químicos para alcançar os parâmetros corretos.

Diante dos resultados observados, nota-se que, apesar do trabalho de EA, das ações de política de EA e orientações técnicas em ações, como a desenvolvida pela GESA e demais órgãos de fiscalização ambiental, com os treinamentos repassados a encanadores, agentes de saúde e para a população atendida, ainda ocorrem prejuízos significativos nos âmbitos mencionados. Esse panorama requer uma reavaliação do processo para alcançar melhores índices de eficiência e menores danos.

Considerações finais

Os resultados indicam a importância da gerência regional manter uma equipe permanente para instrução e acompanhamento, enquanto a obra da rede coletora de esgoto é realizada. Isso porque, podem ocorrer percalços derivados do trâmite legal necessário para liberação das verbas e contratação de empresas

terceirizadas para essa orientação, trâmites nem sempre compreendidos e aguardados pelos usuários.

Esses entraves administrativos acabam induzindo grande parte dos usuários a realizar a interligação, concomitante à obra e sem orientação técnica, o que, por sua condição econômica deficitária, não permite realizar as correções necessárias posteriormente.

Nesse mesmo sentido, para maior êxito nos futuros empreendimentos de sistema de esgotamento sanitário, haveria possibilidade de aplicar sanções pecuniárias quando, apesar de toda orientação técnica oferecida, fossem identificadas irregularidades. Compreende-se que tais alterações legais serviriam como forma de responsabilizar os usuários que causassem os danos que, na verdade, não afetam apenas o sistema de esgotamento sanitário, mas também seu próprio abastecimento de água e o do restante da população. Do mesmo modo, também poderia servir como subsídio para realização do trabalho de orientação técnica permanentemente.

Verificar, no processo de emissão de “Habite-se” pelas prefeituras, quando do término das obras dos imóveis, que a legislação tenha sido cumprida quanto à ocupação e construção do terreno. Entre outros parâmetros exigidos, poderia também sofrer modificações que conferissem mais efetividade à correta ligação intradomiciliar, pois em alguns casos, ainda geram transtornos e insegurança aos moradores.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 10520: 2002**: Informação e documentação: citações em documentos e apresentação. Rio de Janeiro, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 6023:2018**: Informação e documentação: referências elaboração. 2 ed. Rio de Janeiro, 2018.

BRASIL. **Resolução nº 237**, de 19 de dezembro de 1997. Dispõe sobre revisão dos procedimentos e critérios utilizados no licenciamento ambiental, de forma a efetivar a utilização do sistema de licenciamento como instrumento de gestão ambiental, instituído pela Política Nacional do Meio Ambiente. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/res/res97/res23797.html>. Acesso em: 19 dez. 2019.

BRASIL. **Lei nº 11.445** de 05 de janeiro de 2007. Estabelece Diretrizes Nacionais para o Saneamento Básico. Brasília, 2007. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/111445.htm. Acesso em: 19 dez. 2019.

BRASIL. **Decreto nº 7.217**, de 21 de junho de 2010. Regulamenta a Lei no 11.445, de 5 de janeiro de 2007, que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/decreto/d7217.htm. Acesso em: 19 dez. 2019.

CASCADEL. **Diagnóstico do Plano Diretor**. Prefeitura Municipal de Cascavel: Secretaria de Planejamento e Urbanismo de Cascavel. (2016). Disponível em: <https://portal dosmunicipios.pr.gov.br/download/public/arquivos/documentos/58/2019/02/28/X73ID6W4UkajKLhXZFZoOMuf2UcX17eQksXaDnRt.pdf>. Acesso em: 27 mar. 2020.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. CONAMA. **Resolução nº 001** de 23 de janeiro de 1986. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental. Disponível em: http://www2.mma.gov.br/port/conama/legislacao/CONAMA_RES_CONS_1986_001.pdf. Acesso em: 19 dez. 2019.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. CONAMA. **Resolução nº 302** de 20 de março de 2002. Dispõe sobre os parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente de reservatórios artificiais e o regime de uso do entorno. Disponível em: <http://www.mpf.mp.br/atuacao-temati;ca/ccr4/dados-da-atuacao/projetos/qualidade-da-agua/legislacao/resolucoes/resolucao-conama-no-302-de-13-de-maio-de-2002/view>. Acesso em: 19 dez. 2019.

DIAS, G. F. **Educação ambiental**: princípios e práticas. São Paulo: Gaia, 1992.

FESTI, A. V. Águas de chuva na rede de esgoto sanitário – suas origens, interferências e consequências. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23., 2005, Campo Grande. **Resumos**. Campo Grande, ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005, p. 16

MARIN, C.B. et al. Identificação das ligações prediais de esgoto irregulares ou clandestinas no município de Itapema (SC). **Revista DAE**. núm. 202. maio a agosto de 2016. Disponível em: <http://revistadae.com.br/artigos/artigo_edicao_202_n_1635.pdf>. Acesso em: 10 dez 2019.

MUTTI, P. R. **Avaliação dos princípios da adoção de sistemas de esgotamento sanitário do tipo separador absoluto ou unitário em áreas urbanas de clima tropical**. Rio de Janeiro: UFRJ - Escola Politécnica, 2015.

PARANÁ. **Lei Nº 13.331**, de 23 de novembro de 2001. Dispõe sobre a organização, regulamentação, fiscalização e controle das ações dos serviços de saúde no Estado do Paraná. Disponível em: http://www.saude.pr.gov.br/arquivos/File/Legislacao/Estadual_Leis/Lei_Estadual_n_13_331_de_23_de_novembro_de_2001.pdf. Acesso em: 10 dez. 2019.

PEREIRA, J. A. R.; SOARES, J.M.S. **Rede Coletora de esgoto sanitário: projeto, construção e operação**. 1. Ed. Belém: UFPA, 2006.

PHILIPPI JUNIOR, A. (Ed.). **Saneamento, saúde e ambiente: fundamentos para um desenvolvimento sustentável**. Barueri, SP: Manole, 2005.

RIBEIRO, M. A., et. al. **Município e meio ambiente**. 2. ed. rev. e atual. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente, 1998.

SANEPAR. **Dicionário escolar de língua portuguesa**. 2 ed. Curitiba: Positivo, 2011.

SANEPAR. Companhia de Saneamento do Paraná. Concessionária dos Serviços de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário do Paraná. Disponível em: <http://site.sanepar.com.br/a-sanepar>. Acesso em: 20 dez. 2019.

SCHUSTER, Z. L. **Sanepar ano 30: resgate da memória do saneamento básico do Paraná**. 1 ed.. Curitiba: Editora Arché, 1994.

THEOBALD, ML. C.. **Os benefícios sócio-ambientais e institucionais alcançados com a adoção do programa de saneamento integrado**. 2003. 57 f. Monografia (Especialização em Gestão pela Qualidade) Programa de Especialização em Gestão pela Qualidade. PUC, Curitiba, 2003.

TRATA BRASIL. **O Manual do Saneamento Básico**. 2012. Disponível em: <http://www.tratabrasil.org.br/datafiles/uploads/estudos/pesquisa16/manual- imprensa.pdf>. Acesso em: 19 dez. 2019.

WATANABE, C. B.; CESAR A. S. **Gestão ambiental**. Curitiba: IFPR, 2010.

Capítulo 29

CENÁRIO DO SANEAMENTO RURAL EM IRATI-PR

Simone Cararo Kozlinski
Jorge Sobral da Silva Maia

Introdução

Nos últimos anos, muito se tem discutido sobre buscar alternativas para a preservação da natureza. A Lei nº 11.445, de 05 de janeiro de 2007, dispõe sobre a universalização dos serviços de abastecimento de água potável, coleta e tratamento de esgoto sanitário, manejo de águas pluviais e destinação adequada dos resíduos sólidos (RS), questões fundamentais para a obtenção de um meio ambiente sadio e equilibrado (LEI nº 11.445, 2007). Conforme já comentado no capítulo 3, no Brasil, a falta de saneamento gera muitos problemas e deficiências, o que se torna um descaso ainda maior nas áreas rurais onde há poucos indicadores de água, esgoto e destinação dos RS (INSTITUTO TRATA BRASIL, 2012).

As ações de saneamento nas áreas urbanas sempre foram mais bem assistidas e receberam mais investimentos, pois são consideradas economicamente mais viáveis. Mesmo assim, a população das zonas rurais também almeja o comprometimento do poder público para soluções referentes aos serviços de saneamento básico, para melhoria de saúde e bem-estar e melhora das condições do meio ambiente (RESENDE; FERREIRA; FERNANDES, 2018). Cada

município tem o dever de estender os serviços de abastecimento de água e coleta de lixo para as áreas rurais, pois as pessoas residentes nessas áreas também necessitam ter acesso à infraestrutura de saneamento básico (INSTITUTO TRATA BRASIL, 2012).

Sabendo que saneamento básico influencia diretamente na saúde e que a precariedade das condições do saneamento contribuem, diretamente e indiretamente, para o surgimento de doenças de transmissão hídrica, na qualidade de vida e do meio ambiente, este estudo buscou conhecer quais são e como estão disseminados os serviços de saneamento (água, esgoto e RS) nas comunidades rurais do município de Irati-PR. Ainda, buscou-se analisar o cenário de saneamento rural com vistas a identificar quais são e como estão disseminados os serviços de saneamento, água, esgoto, RS nesse município.

Para isso, foram levantados dados do saneamento na área rural no município de Irati-PR, com vistas a compreender e ressaltar os benefícios do saneamento rural na proteção ambiental, na qualidade de vida, a necessidade de implantação de saneamento no ambiente rural, com vistas a identificar a importância da EA no cotidiano das pessoas à contribuição e à preservação ambiental.

Saneamento básico

Ter acesso a saneamento básico é direito de todos e essencial para a saúde e bem-estar da população. A Lei Nacional de Saneamento Básico (Lei nº 11.445, de 2007) tem como principal objetivo a universalização dos serviços de saneamento básico e estabelecimento das diretrizes nacionais para o saneamento básico no país; este direito fica explícito e conceitua saneamento como “o conjunto de serviços, infraestruturas e instalações de abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de RS e drenagem de águas pluviais” (INSTITUTO TRATA BRASIL, 2012, p. 9).

O Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB), lançado em 2013 (BRASIL, 2014), estipulou um conjunto de metas, diretrizes e ações para os 20 anos seguintes, visando à melhoria

dos serviços de saneamento em todo o território nacional. Uma das estratégias delineadas no PLANSAB diz a respeito da criação de uma política específica para as áreas rurais prevendo, dessa forma, a criação de um Programa Nacional de Saneamento Rural (PNSR), que tem como finalidade desenvolver ações de saneamento básico em áreas rurais, objetivando a universalização do acesso com equidade, integralidade, sustentabilidade dos serviços e a participação e o controle social (BRASIL, 2015).

Guimarães, Carvalho e Silva (2007), relatam que o saneamento contribui com a saúde pública preventiva, diminuindo a necessidade de procura por hospitais e postos de saúde, e que locais que possuem saneamento adequado tendem a ter melhor qualidade de vida e menores índices de mortalidade.

Apesar da importância do saneamento básico como parte da infraestrutura pública e condição fundamental sobre vários aspectos, tais como saúde pública, qualidade de vida e preservação ambiental, no Brasil existem situações precárias em termos de saneamento básico. Segundo o Instituto Trata Brasil (2019), pelo menos 17% do total da população, ou seja, 35 milhões de brasileiros, vivem sem acesso à rede de abastecimento de água e quase 50%, cerca de 100 milhões de brasileiros, não têm acesso a rede de esgoto. Nesse sentido, vem-se discutindo amplamente nos últimos anos, tanto pela sociedade, quanto pela mídia e órgãos públicos, as questões de saneamento e questões ambientais, em busca de soluções. As questões de preservação ambiental não serão resolvidas enquanto o saneamento básico não for uma realidade para todos.

Os serviços de saneamento prestados à população das áreas rurais apresentam elevado déficit de cobertura, principalmente quanto ao esgotamento sanitário e RS. Conforme dados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios - PNAD/2015 (IBGE, 2015), apenas 34,5% dos domicílios nas áreas rurais estão ligados a redes de abastecimento de água com ou sem canalização interna; apenas 5,45% dos domicílios estão ligados à rede de coleta de esgotos, 4,47% utilizam a fossa séptica ligada à rede coletora

e 28,78% possuem fossa séptica não ligada à rede coletora, e os demais domicílios (61,27%) depositam os dejetos em fossas rudimentares, lançam em cursos d'água ou diretamente no solo a céu aberto.

Em relação aos RS, 92,8% dos domicílios urbanos têm acesso à coleta direta, enquanto somente 27,2% dos domicílios rurais recebem este tipo de serviço Segundo o Censo Demográfico de 2010 (IBGE, 2010), no Brasil cerca de 29,9 milhões de pessoas residem em localidades rurais, totalizando, aproximadamente, 8,1 milhões de domicílios. Já, a pesquisa do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) realizada em 2016, estimou que, aproximadamente, 32,9 milhões de pessoas residiam em localidades rurais (IBGE, 2016).

Para atingir a universalização do saneamento básico, vislumbra-se como necessária a implantação de programas que atendam às necessidades de toda a população. Nesse sentido, é mais coerente que estudos e programas nessa área sejam realizados em cada município, tendo em vista as divergências existentes entre as estruturas e as realidades locais e regionais. Segundo Barros et al. (1995, p. 9),

O município é local privilegiado para o tratamento dos problemas ambientais que afetam diretamente a qualidade de vida e que se manifestam no território municipal, tornando efetivamente possíveis a participação popular e a democratização da questão ambiental.

A Fundação Nacional de Saúde (Funasa) é órgão do governo federal responsável pelas ações de saneamento direcionadas às áreas rurais de todo o Brasil, mas a titularidade dos serviços de saneamento básico, diante da previsão do art. 30, inciso I e V da Constituição Federal Brasileira, é atribuída aos municípios (BRASIL, 2015).

Na atualidade, é possível observar que, se na zona urbana, muitas vezes os serviços de saneamento estão aquém do ideal, nas áreas rurais a situação é ainda mais precária. Sabe-se que o investimento é grande e o retorno financeiro é muito baixo. Para

Saunders (1983), há uma grande quantidade de benefícios que podem derivar de um programa rural de abastecimento de água e disposição de dejetos, mas não se pode contar com a disposição dos consumidores para pagar, como ocorre na maior parte dos sistemas urbanos. Oferecer serviços de saneamento é a forma mais acertada de prezar a qualidade de vida das pessoas e da preservação do meio ambiente.

Hoje, a maioria dos imóveis rurais tem baixo ou nenhum acesso de saneamento; a água geralmente é de poços freáticos ou nascentes, muitas vezes sem o cuidado com a localização e proteção das áreas próximas. Quando um poço é construído sem atender às características técnicas mínimas necessárias de uso e proteção do solo, poderá transformar-se num foco de contaminação do solo, subsolo e águas subterrâneas (REBOUÇAS, 2006), além de possibilitar a disseminação de doenças de veiculação hídrica. O esgoto é lançado em fossas até mesmo em céu aberto e este lançamento inapropriado compromete a qualidade da água, podendo causar danos à saúde humana e ao meio ambiente. É comum, nas comunidades rurais, a utilização de fossas rudimentares, as quais, além de contaminar o solo, contaminam açudes. Por meio do escoamento superficial, os poluentes são carregados e trazem riscos à saúde coletiva, seja por contato direto pelo esgoto, seja pelo consumo de água contaminada (BRASIL, 2015).

Estes aspectos ressaltam a importância de investimento em políticas públicas e desenvolvimento de tecnologias, para tratamento de esgoto doméstico nas comunidades rurais. Mesmo onde a rede de coleta e tratamento de esgoto torna-se inviável, do ponto de vista técnico e econômico, devido a longa distância das residências, devem-se estudar tecnologias alternativas, e de baixo custo, para o tratamento de esgotamento sanitário (RESENDE; FERREIRA; FERNANDES, 2018).

Uma das formas de tratamento de esgoto alternativo que tem demonstrado bons resultados e custo relativamente baixo, é o tratamento de esgoto por zona de raízes. Kaick (2002) explica que o tratamento de esgoto por zona de raízes é um sistema

físico-biológico, com parte do filtro preenchido com areia e pedra brita e uma parte constituído de plantas macrófitas. Quando o esgoto entra em contato com as raízes das plantas, elas são capazes de modificar e absorver nutrientes e assim, são filtrados os contaminantes e o efluente pode ser devolvido à natureza sem causar poluição.

A coleta de RS é mais um dos grandes desafios nas áreas rurais. A maioria das localidades não possui esse serviço e todo o lixo não coletado pode contribuir para o desequilíbrio ecológico. O PNRS, como já visto em capítulo anterior, estabelece que os governos devem elaborar diagnósticos, metas, programas, projetos, ações, normas, medidas, diretrizes e meios para gerenciar adequadamente os RS, através de planos nacionais, estaduais e municipais (BRASIL, 2015).

Para Deboni e Pinheiro (2010), o lixo lançado inadequadamente pode causar inúmeros malefícios ao meio ambiente, como a poluição do solo e das águas. E ainda complementam que a queima não controlada pode causar poluição do ar e, quando esse lixo é disposto inadequadamente, também causa a poluição visual. Os problemas advindos pelo descarte indevido do lixo no meio ambiente é uma questão problemática, ocasionando a poluição do meio ambiente, ameaçando a saúde pública e prejudicando a qualidade de vida de toda a população. Os resíduos que não recebem tratamento contaminam o solo e os lençóis freáticos com o chorume, caracterizado por um líquido formado pela decomposição dos resíduos, em conjunto com as águas das chuvas, e o lixo exposto a céu aberto emite gás metano, grande poluente atmosférico (SOUZA e ANTONELI, 2010).

As práticas de saneamento rural são uma forma de minimizar os agentes poluidores, garantindo a qualidade dos recursos hídricos e, conseqüentemente, a saúde e qualidade de vida das pessoas (INSTITUTO TRATA BRASIL, 2012).

O último programa lançado pelo governo federal foi o programa de saneamento Brasil Rural, em 2019, que foi elaborado em parceria com várias instituições e entidades do setor de

saneamento e será gerenciado pela Funasa. Ele terá, como objetivo, atender às demandas das áreas rurais do país e executar o plano de metas que universaliza o saneamento nas comunidades envolvidas até 2038. As estratégias do programa Brasil Rural está apoiado em elementos de integração de três eixos entendidos como indissociáveis: Gestão dos Serviços, Educação e Participação Social e Tecnologia (FUNASA, 2019).

Para alcançar êxito no programa, é imprescindível que o município conheça as necessidades de cada comunidade e tenha uma equipe técnica capacitada para levantar informações e estabelecer planos e ações concretas para oferecer os serviços desejados. Estudo da Funasa afirma que conhecer a forma como os governos planejam e atuam, é essencial para superar os desafios de implantação de sistemas de saneamento adequados para cada realidade rural (FUNASA, 2019).

Materiais e métodos

A realização deste estudo, em primeiro momento, teve enfoque teórico de fontes secundárias por meio de revisão bibliográfica, que oportunizou o acesso a informações literárias disponíveis em livros, revistas, artigos e também endereços eletrônicos, sites de órgãos públicos, leis e políticas públicas relacionadas a saneamento. Para atender aos objetivos propostos, realizou-se uma pesquisa exploratória, a fim de se obterem mais informações sobre a situação geral do saneamento no município, contribuindo para a elaboração de projetos e ações.

Gil (1989) considera que a pesquisa exploratória tem como objetivo principal desenvolver, esclarecer e modificar conceitos e ideias, tendo em vista a formulação de problemas mais precisos ou hipóteses pesquisáveis para estudos posteriores.

Para o estudo de caso, foram coletados dados a partir de fontes primárias, com entrevistas semiestruturadas e observação dos locais em visitas de campo. Também, foram coletados dados junto a secretaria de agricultura e meio ambiente do município de Irati-PR. Esse município, está localizado na região centro-sul do Estado do Paraná, a cerca de 150 km de Curitiba-PR , cuja

população foi estimada em 2019 em 60.727 habitantes (IPARDES, 2019). Segundo dados do IBGE, 20% da população residem na área rural do município, e sua área territorial é de 1.000 km², cuja densidade demográfica corresponde a 60,8 hab/km². Segundo o Censo 2010, o município possuía 3.920 domicílios na área rural (IPARDES, 2019) dispersos por 72 localidades rurais; tais localidades são apresentadas em legislação específica.

A coleta de dados foi realizada entre os meses de janeiro a março de 2020, por meio de entrevistas semiestruturadas, com moradores das localidades rurais do município. Neste tipo de entrevista, Pádua (2004, p. 70) escreve que,

o pesquisador organiza um conjunto de questões sobre o tema que está sendo estudado, mas permite, e às vezes até incentiva, que o entrevistado fale livremente sobre assuntos que vão surgindo como desdobramentos do tema principal.

Devido à grande dimensão da área rural de Irati-PR, não foi possível realizar o estudo em todas as localidades. Foram submetidos à entrevista 60 moradores de 17 localidades aleatórias. A coleta de dados, junto às secretarias do meio ambiente e à secretaria da agricultura, ocorreu por meio de entrevista e análise de documentos sobre os programas e ações desenvolvidas pela prefeitura municipal.

Os dados do estudo foram tratados pelo método qualitativo, por meio da análise de conteúdo (AC) e análise do discurso, para auxiliar na compreensão das entrevistas. A AC consiste em um conjunto de técnicas de análise das comunicações, de forma sistemática e objetiva, de modo a interpretar as mensagens e indicadores, permitindo a interferência de conhecimentos relativos às condições de produção ou recepção destas mensagens (BARDIN, 2006).

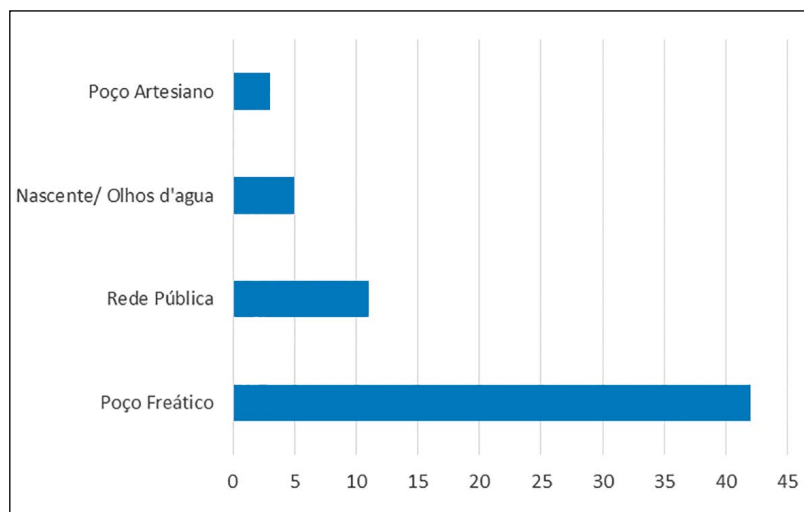
Os resultados dos dados coletados foram sistematizados em gráficos e tabelas, na tentativa de se estabelecer uma lógica capaz de relacioná-los. Dessa forma, a análise dos dados permitiu conhecer a situação dos serviços de saneamento disponíveis

no município e as necessidades e opinião dos moradores sobre a questão em estudo.

Resultados e discussão

Os dados obtidos por meio da aplicação do questionário com 60 entrevistados nas 17 localidades aleatórias do município de Irati-PR, acerca dos temas abastecimento de água, esgotamento sanitário e RS, estão dispostos e discutidos na sequência. A Figura 01 apresenta a fonte de água utilizada pelos entrevistados.

Figura 01: Fonte de abastecimento de água utilizada pelos entrevistados.



Fonte: Os autores (2020)

Quanto ao tipo de fonte de abastecimento da água nas moradias, observa-se que, na maior parte das propriedades rurais, a água é captada de poços (70%), seguida por rede pública (18%) e da captação em nascentes (7%). As fontes de captação em nascentes são protegidas.

De acordo com os dados obtidos acima, pode-se observar que a situação não é tão precária, mas tem algumas deficiências. Foi constatado que muitas famílias que utilizam poços têm problema

de escassez de água em períodos de estiagem e, em condições de vida mais severas, precisam adquirir água por meio de caminhão pipa.

Observou-se também que, as pessoas entrevistadas, usuárias do poço ou nascente como fonte de abastecimento, entendem que a qualidade da água captada é boa e sem risco de contaminação. Porém, dizem que nunca foi realizada análise físico-química desta água e que não costumam fervê-la, filtrá-la ou tratá-la com cloro.

Outro ponto negativo observado diz respeito à proteção das proximidades das fontes de captação. Alguns poços observados estão localizados em meio à circulação de animais, outros estão em distância não muito segura de fossas e açudes de peixe. Como ponto positivo, observou-se que algumas localidades possuem sistema de abastecimento com água tratada, que beneficia em torno de 15% da população rural, segundo dados do município.

Também, há um programa denominado Recuperação e Proteção das Nascentes, o qual já beneficiou a recuperação de mais 100 nascentes, em diversas localidades do município. Assim, de acordo com a Prefeitura Municipal de Irati (s/d, p. 12),

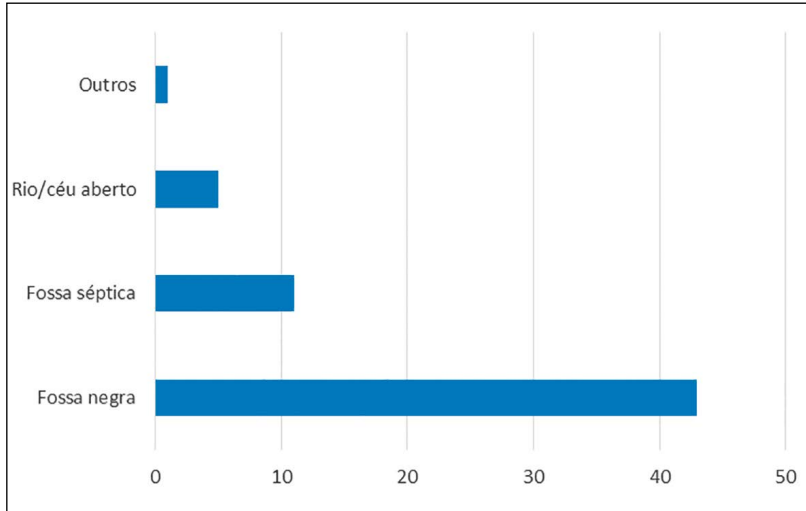
A recuperação da nascente busca oferecer ao homem do campo a disponibilidade de água potável, proporcionando, consequentemente, às famílias melhor qualidade de vida, por meio do cuidado com o recurso hídrico.

Esse trabalho é realizado em parceria com técnicos do meio ambiente da prefeitura municipal de Irati-PR. Nesse projeto, é primeiramente feita a limpeza do local, sendo então cercada a área ao redor da nascente, para evitar entrada de animais. Em seguida, é realizado um processo que permite a filtragem da água e, por fim, realizada a canalização da água até o imóvel, plantando-se, em torno da nascente, espécies nativas, de acordo com a legislação ambiental.

A destinação do esgoto doméstico é apresentada na Figura 02, a seguir.

O levantamento de dados em relação ao esgotamento doméstico mostrou que a grande predominância, cerca de 71% das moradias, utilizam fossas negras, seguidas por 18% com sistema de fossa séptica, 8% lançam diretamente nos rios ou em céu aberto e 1% possui o tratamento alternativo por meio de zonas de raízes.

Figura 02: Destino do esgoto doméstico.



Fonte: Os autores (2020)

Vê-se nesses dados que, realmente a questão do esgotamento sanitário na área rural do município de Irati-PR apresenta-se bastante inadequada. Não existe nenhuma localidade com coleta e tratamento de esgoto e, sabe-se que devido à grande extensão territorial e ao grande distanciamento entre as residências, esse tipo de tratamento é considerado inviável economicamente, do ponto de vista empresarial. Mas, ao se considerar as diferentes consequências ambientais deste processo (contaminação de lençóis freáticos e também do solo), os custos decorrentes destas correções devem ser avaliados para estabelecer a viabilidade econômica, por meio de uma ótica ambiental e social. Também, não é ambientalmente correto o grande número de fossas negras sem

a adequada impermeabilização, sendo inaceitável existir lançamento de esgoto diretamente no rio ou a céu aberto.

Como observado anteriormente, algumas fossas negras não mantêm distanciamento adequado dos poços que as famílias utilizam para o consumo. Este é um fator que pode prejudicar diretamente a saúde dos moradores. Outro agravante, é que alguns dos entrevistados, que utilizam a fossa negra, dizem que quando a fossa enche, cavam outro local para uma nova fossa, aumentando assim, a área de contaminação. A maioria dos moradores alega adotar esse tipo de prática, primeiro pelo baixo custo, mas principalmente, pelo desconhecimento de outras alternativas e pelo desconhecimento dos riscos envolvidos nesse procedimento.

Esses dados confirmam a informação de que, ainda nos dias de hoje, falta divulgação dos conhecimentos relativos às práticas de saneamento e sua importância em relação à saúde, e que a população das áreas rurais ainda constrói casas sem incluir instalações sanitárias indispensáveis, como poço protegido, fossa séptica, entre outras (BRASIL, 2015).

De acordo com dados levantados junto à Secretaria da Agricultura, já foram implantados nas áreas rural do município, cerca de 30 sistemas de tratamento por zona de raízes. Esses sistemas, em implantação há mais de 10 anos, têm mostrado resultados satisfatórios e eficazes. Existe um plano para implantar novos sistemas, mas, embora não seja de custo elevado, não há recursos disponíveis direcionados para uma implantação efetiva e em grande quantidade.

Na Tabela 01, a seguir, são apresentados os dados referente à coleta de RS.

Quanto ao destino do lixo, foi constatado que, na maioria das propriedades rurais, os resíduos são queimados. Segundo dados coletados pelas entrevistas, e confirmados pela secretaria de meio ambiente, as localidades têm o serviço de coleta de lixo reciclável uma vez ao mês, mas os moradores, mesmo assim, acabam queimando, principalmente o papel e plástico, por acharem muito tempo para guardar o lixo para coleta.

Diferente da área urbana, o lixo orgânico na zona rural é aproveitado para fazer compostagem para adubação ou para alimentar os animais. Interessante que as pessoas entrevistadas nem usam o termo “lixo” para esse tipo de material. Quanto às embalagens de agrotóxicos, as pessoas estão bem conscientes da forma correta de destinação. A questão da logística reversa tem funcionado bem nessa área, pois houve bastante divulgação e conscientização a respeito.

Tabela 01: Destinação de RS.

	Coleta Seletiva	Queima	Enterra	Joga terreno vazio	Animais/ compostagem	Logística Reversa	Não utiliza
Orgânicos				7	53		
Plástico	9	51					
Papel	2	58					
Metal	56		4				
Eletrônico	55		3	2			
Pilhas/ Baterias	44		7	4		2	3
Embal. Agrotóxicos						32	28
Lixo banheiro		48	5	7			

Fonte: Os autores (2020)

Durante as visitas para aplicação dos questionários, foi visto em algumas localidades, acúmulo de resíduos próximos às estradas e, principalmente, junto às margens dos rios, em sua grande maioria, embalagens, fraldas a até aparelhos eletrônicos, evidenciando que ainda há muito material descartado indevidamente e, por vezes, jogado a céu aberto.

Os entrevistados afirmaram não saberem a forma correta de destinação de pilhas, baterias e aparelhos eletrônicos e, muitas

vezes, descartam-nos irregularmente, o que evidencia que a falta de conhecimento e de sensibilização também são fatores que agravam a questão do saneamento adequado, podendo ocasionar prejuízos ambientais. Ainda, ficou evidente a falta de orientação e EA para estas pessoas, as quais, uma vez orientadas, poderiam contribuir para mitigação dos danos ao ambiente provocados por tais resíduos.

Considerações finais

A pesquisa teve como objetivo analisar o cenário de saneamento em relação à água, ao esgoto e aos RS no município de Irati-PR. Foi possível verificar que há preocupação com a questão de saneamento rural, e muitas ações de saneamento já foram, e continuam sendo realizadas nas áreas rurais, embora se esteja ainda longe do adequado.

Pode-se observar falhas em relação aos cuidados com o saneamento, no manejo de recursos hídricos, na destinação dos RS e no esgotamento sanitário. Considerando-se os relatos das pessoas, foi possível depreender que a grande maioria não tem conhecimento suficiente sobre os problemas que a adoção de ações incorretas quanto ao saneamento pode afetá-las e ao meio ambiente.

Quanto à questão da água, a maior parte é coletada de poços freáticos sem nenhum tipo de tratamento, e um grave problema é sua escassez em período de estiagem. Na questão de esgoto, foi possível observar que a grande maioria utiliza fossa negra, não sendo o ideal, pois os contaminantes podem infiltrar no solo e contaminar os recursos hídricos.

O trabalho da prefeitura na busca de tratamento alternativo de esgoto, no caso, o tratamento de esgoto por raízes que beneficia cerca de 30 domicílios rurais, é condição importante, porém não é suficiente. Já, na questão do lixo, ficou claro que, embora a prefeitura de Irati-PR disponibilize a coleta de lixo reciclável uma vez ao mês, as pessoas não têm conhecimento necessário sobre a importância desta estratégia para reduzir o impacto negativo sobre o ambiente, fato que gera o descompromisso de

separar e aguardar a coleta para destino adequado dos RS. Seria importante também disponibilizar coleta para outros tipos de resíduos, pois a maior parte deles é queimada e muitos acreditam que, agindo desta forma, o problema está solucionado. Notou-se, também, que grande parte da população não tem conhecimento dos benefícios ou não considera prioritário um sistema de esgoto ambientalmente correto e o manejo adequado dos RS.

Entretanto, vale ressaltar as limitações deste estudo, já que as entrevistas foram realizadas com moradores de apenas 17 localidades das 72 que fazem parte do município.

De forma geral, mais do que os dados apresentados, foi possível perceber que, além da oferta de infraestrutura adequada em termos de saneamento, é preciso também desenvolver ações de EA, para que seja reforçada a importância da preservação da qualidade da água e do meio ambiente. O propósito seria atingir benefícios sociais, ambientais e promover o desenvolvimento adequado e sustentável, reforçando a hipótese de que ainda é preciso investir em EA, pois quanto maior o conhecimento a respeito, maior será o cuidado e o comprometimento.

Referências

BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. Lisboa: Edições 70, 2006.

BARROS, R. T. V. et al. **Manual de saneamento e proteção ambiental para os municípios**. Belo Horizonte MG: DESA/UFGM, 1995.

BRASIL. **Lei nº 11.445**, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/L11445compilado.htm>. Acesso em: 13 set. 2019.

BRASIL. **Lei nº 12.305**, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 10 set 2019.

BRASIL. (2014) **Plano nacional de saneamento básico**. Brasília: Ministério das Cidades, 173 p. Disponível em: <http://www.cecol.fsp.usp.br/dcms/uploads/arquivos/1446465969_Brasil-PlanoNacionalDeSaneamentoB%C3%A1sico-2013.pdf> . Acesso em: 15 jan. 2020.

BRASIL. (2015) Fundação Nacional de Saúde. **Manual de saneamento** / Ministério da Saúde. 4. ed. Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2015. 642 p. Disponível em: www.funasa.gov.br/documents/20182/38564/Mnl_Saneamento.pdf/ae1d4eb7-afe8-4e70-ae9a-0d2ae24b59ea. Acesso em: 22 jan. 2020.

DEBONI, L.; PINHEIRO, D. K. Estudo sobre a destinação do lixo na zona rural de Cruz Alta/RS-Passo dos Alemães. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, 1(1), p. 13-21, 2010. Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/reget/article/view/2281/1383>>. Acesso em: 07 fev. 2020.

FUNASA, 2019. **Programa Saneamento Brasil Rural**: melhora o ambiente, melhora a saúde. Disponível em: <https://www.saneamento.brasilrural.com.br/livro-tecnico.pdf> . Acesso em: 28 jan. 2020.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 5.ed. São Paulo: Atlas, 1999.

GUIMARÃES, A. J. A.; CARVALHO, D. F. de; SILVA, L. D. B. da. **Saneamento básico**. Disponível em: <<http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/Apostila%20IT%20179/Cap%201.pdf>> . Acesso em: 20 fev. de 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Agregados por Setores Censitários dos Resultados de Universo**. 2ª edição. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/mapa_site/mapa_site.php#populacao. Acesso em: 15 dez. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Estimativa de população**. 2016. Disponível em: <ftp://ftp.ibge.gov.br/Estimativas_de_Populacao/Estimativas_2016/estimativa_dou_2016_20160913.pdf>. Acesso em: 06 nov. 2019.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Saneamento**. Principais estatísticas. Disponível em: <http://www.tratabrasil.org.br/saneamento/principais-estatisticas>. Acesso em: 06 nov. de 2019.

INSTITUTO TRATA BRASIL 2012. **Manual do Saneamento Básico**: entendendo o saneamento básico ambiental no Brasil e sua importância socioeconômica. Disponível em: <<http://www.tratabrasil.org.br/datafiles/uploads/estudos/pesquisa16/manual-impressa.pdf>>. Acesso em: 11 dez. de 2019.

INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. **Caderno estatístico do município de Irati-PR**. Disponível em: www.ipardes.gov.br/cadernos/MontaCadPdf1.php?Municipio=84500&btok=ok>. Acesso em: mar. de 2020

KAICK, T. S. V. **Estação de tratamento de esgotos por zona de raízes**: Uma proposta de tecnologia apropriada para saneamento básico no litoral do Paraná. 2002. 128 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) – Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná. Curitiba, 2002.

PÁDUA, E. M. M. de. **Metodologia da Pesquisa**: Abordagem teórico-prático. Campinas SP: Papirus, 2004.

PREFEITURA MUNICIPAL DE IRATI. SECRETARIA MUNICIPAL DE AGRICULTURA, s/data. Conservação da água na propriedade rural. 21 páginas. Irati: SMA.

REBOUÇAS, A. C. **Águas Subterrâneas**. In REBOUÇAS, A.C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. **Águas Doces no Brasil**: Capital Ecológico, Uso e Conservação. Ed. São Paulo: Escrituras Editora, 3ªed, 2006.

RESENDE, R. G.; FERREIRA, S.; FERNANDES, L. F. R.. O saneamento rural no contexto brasileiro. **Revista Agroambiental**, v. 10, p. 131-149, 2018.

SAUNDERS, R.J.; WARFORD, J.J., **Abastecimento de Água em Pequenas Comunidades**, Tradução de V.L.M. Chama, ABES - Assoc. Bras. de Eng^a Sanitária e Ambiental, Brasil, 1983.

SOUSA, L. A. de; ANTONELI, V. O problema da falta de saneamento básico na área rural do município de Irati PR e a implantação das fossas biodigestoras como alternativa. In: XVI Encontro Nacional dos Geógrafos, Porto Alegre. **Anais...**Porto Alegre: Associação dos geógrafos brasileiros, ENG, 2010.

Capítulo 30

UTILIZAÇÃO DE BFT NO SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO NO MUNICÍPIO DE LONDRINA-PR

André Luis Sibim
Fabiano Lopes Rocha

Introdução

Microcentrais hidroelétricas são uma alternativa que deve ser considerada no planejamento energético nacional. Nos últimos anos, a categoria vem ganhando cada vez mais expressão, paralelamente ao desenvolvimento de novas soluções tecnológicas neste âmbito. A utilização de Bombas Funcionando como Turbinas (BFT) substituindo as tradicionais turbinas hidráulicas tem chamado atenção devido às vantagens que apresentam.

A utilização de BFT tem sido alvo de pesquisas ao longo dos últimos 70 anos. Esta jornada teve início quando engenheiros alemães acidentalmente descobriram que bombas operavam eficientemente como turbinas e alguns de seus fabricantes passaram a se interessar na sua aplicação como turbinas. Mais recentemente, pequenas e micro centrais hidroelétricas se tornaram uma atrativa área de aplicação das BFT e, neste nicho, substituem as turbinas que apresentam custos elevados.

Atualmente, a conta de energia elétrica na Sanepar é uma das principais despesas da empresa. É pensando em reduzir estes gastos, que será proposto neste capítulo a aplicação de BFT para conversão de energia potencial hidráulica em energia elétrica, a fim de suprir parte da energia elétrica consumida em suas unidades. Portanto, o estudo apresentado neste capítulo, está voltado à verificação da viabilidade técnica e econômica de se instalarem turbinas nas tubulações à gravidade de água ou esgoto da Sanepar para geração de energia elétrica e maior eficiência energética de suas unidades.

De acordo com o item 2.3 da NBR-9648, Sistema de Esgotamento Sanitário (SES) “é o conjunto de condutos, instalações e equipamentos destinados a coletar, transportar, condicionar e encaminhar somente o esgoto sanitário a uma disposição final conveniente, de modo contínuo e higienicamente seguro”.

Geradores elétricos

Um gerador elétrico é um dispositivo utilizado para a conversão da energia mecânica, química, ou outra forma de energia, em energia elétrica. O tipo mais comum de gerador elétrico, o dínamo, funciona convertendo a energia mecânica contida na rotação do seu eixo, que faz com que a intensidade de um campo magnético produzido por um ímã permanente que atravessa um conjunto de enrolamentos, varie no tempo, o que, pela Lei da Indução de Faraday, leva à indução de tensões em seus terminais (WIKIPEDIA, Gerador elétrico).

O gerador do tipo “síncrono” recebe este nome devido a frequência da corrente elétrica gerada estar diretamente relacionada (sincronizada) com a frequência de rotação do motor. Para a geração de corrente elétrica é necessária uma fonte de campo magnético variável. A vantagem desse tipo de gerador é que a frequência da corrente alternada permanece fixa, independente da carga que o gerador está alimentando. Uma desvantagem é a necessidade de uma corrente contínua para alimentar os eletroímãs do rotor, nos casos em que os ímãs permanentes não são usados. Outro ponto negativo é o fato de serem mais complexos que os

motores assíncronos, com contatos mecânicos que necessitam de manutenção (TECNOGERA, 2016).

O gerador do tipo “assíncrono” utiliza o mesmo princípio dos motores assíncronos para produzir energia. Podem possuir rotores bobinados, com anéis e escovas ou do tipo gaiola de esquilo. O mesmo equipamento pode ser usado tanto como motor quanto como gerador. Quando usado como motor, a velocidade de rotação sempre será abaixo da chamada “frequência de sincronismo”. “Quando usado como gerador, o rotor deve ser girado acima dessa frequência de sincronismo” para converter a energia mecânica em energia elétrica (TECNOGERA, 2016).

As principais vantagens de um gerador assíncrono são sua construção simples e robusta, ausência de contatos mecânicos no rotor e independência de sincronismo com a velocidade do rotor. A maior desvantagem fica no fato de que, além de necessitar que o rotor gire mais rápido que a frequência de sincronismo, o gerador também precisa de “energia reativa” para poder gerar “energia ativa”. Essa potência reativa pode ser fornecida pela rede, no caso de um sistema interligado ou por um banco de capacitores (CHAPALLAZ; EICHENBERGER; FISCHER, 1992).

Motor de indução funcionando como gerador

O uso da máquina de indução para fins de geração de energia elétrica iniciou-se por volta da última década do século XIX. O motor de indução pode trazer diversas vantagens econômicas e técnicas em sua utilização. Os geradores de indução são caracterizados assíncronos pois a velocidade de rotação de trabalho é diferente da velocidade síncrona (CHAPMAN, 1991). A frequência da rede e o número de polos da máquina estabelecem a velocidade síncrona, de acordo com a equação (1):

$$n_s = (120 \cdot f) / p \quad (1)$$

Sendo:

$n_s \rightarrow$ velocidade síncrona [rpm];

$p \rightarrow$ número de polos da máquina [1];

$f \rightarrow$ frequência síncrona [Hz]. O escorregamento é uma relação da velocidade relativa entre o campo girante e o rotor, sendo que, para operar como gerador, a velocidade do eixo deve ser superior à velocidade síncrona do motor ($n_r > n_s$) resultando em um escorregamento negativo. O escorregamento é dado pela equação (2) (CHAPMAN, 2013):

$$S = (n_s - n_r) / n_s \quad (2)$$

Sendo:

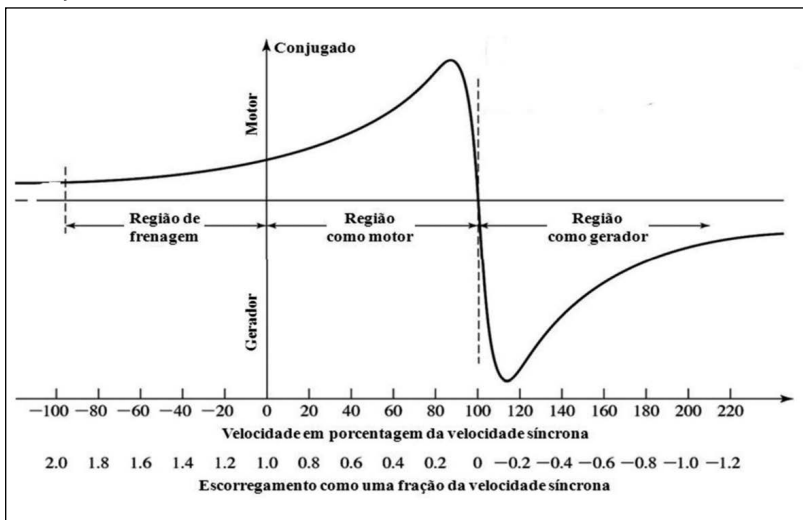
$S \rightarrow$ fator de escorregamento [1];

$n_s \rightarrow$ velocidade síncrona [rpm];

$n_r \rightarrow$ velocidade do rotor [rpm].

A seguir, a Figura 01 apresenta a curva característica do conjugado x velocidade, quando o motor de indução é acionado com uma rotação no eixo superior à velocidade síncrona, inverte-se o sentido do conjugado induzido e então, a máquina passa a operar não mais como motor, mas como gerador (CHAPMAN, 2013).

Figura 01: Curva conjugado x escorregamento para máquina de indução.



Fonte: Chapman (2013)

Faixa de operação para diferentes valores de escorregamento:

- $s > 1$: Frenagem por contramarcha
- $0 < s < 1$: Motor
- $s < 0$: Gerador

O método de seleção que foi desenvolvido por Chapallaz et al. (1990), se baseia na potência de eixo que a turbina (BFT) fornecerá ao gerador. Conhecendo a potência de eixo que será fornecida ao gerador, é possível fazer a seleção do motor de indução utilizando o gráfico da Figura 02, desenvolvido por Chapallaz et al. (1990) o qual foi obtido experimentalmente utilizando diversos motores. Conhecida a relação P_{et}/P_n da Figura 02, calcula-se a potência nominal do motor assíncrono de acordo com a equação (3).

$$P_n = [P_{et} / (P_{et} / P_n)] \quad (3)$$

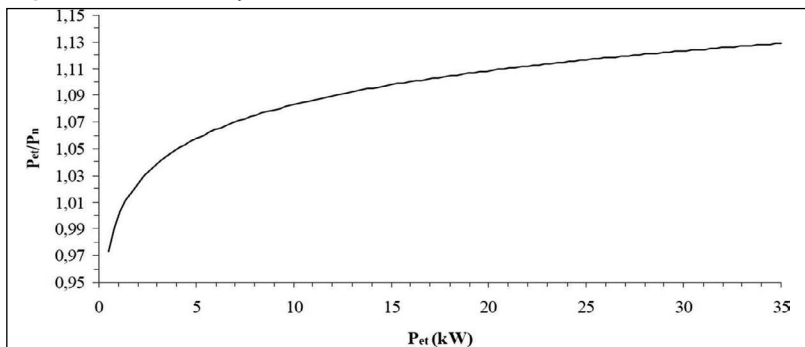
Onde:

P_n → potência nominal do motor que será utilizado como gerador [kW];

P_{et} → potência de eixo fornecida pela turbina (BFT) [kW];

P_{et} / P_n → relação experimental obtida da Figura 02.

Figura 02: Pré-seleção do motor para ser utilizado como gerador.



Fonte: Adaptado Chapallaz et al. (1990)

Se a potência P_n não coincidir com aquelas encontradas nos catálogos de motores, deve-se escolher um motor cuja potência nominal é imediatamente superior à calculada pela equação (3).

Turbinas hidráulicas

As turbinas hidráulicas são máquinas construídas com a finalidade de transformar a energia da água que a atravessa em trabalho mecânico. Consiste basicamente de um sistema fixo hidráulico e de um sistema rotativo hidromecânico (MACINTYRE, 1983).

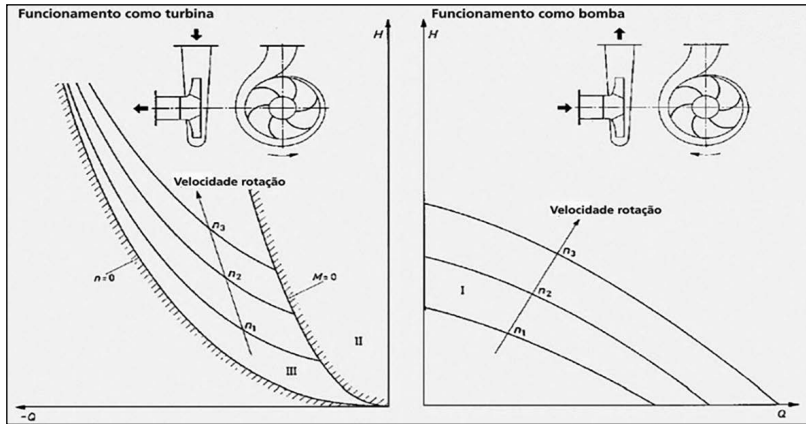
Em 2002, foi criado no Brasil o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), destinado a oferecer incentivos à implantação de centrais geradoras de energia em pequena escala e de forma regional. Para isso, iniciou-se um estudo visando a redução do investimento inicial na implantação das micro e mini usinas, o qual indicou o uso de BFT. Como toda alternativa tecnológica, possui vantagens e desvantagens quando comparadas com turbinas na mesma faixa de potência. As vantagens são: As bombas são fabricadas em série – isso diminui o custo tanto de fabricação quanto manutenção; não demandam mão de obra especializada para sua manutenção; esquema de instalação e é um equipamento robusto e suas peças podem ser encontradas com facilidade. Já, as desvantagens são: Possui rendimento um pouco inferior se comparado às turbinas convencionais; não possui um dispositivo de controle hidráulico incorporado (distribuidor) e não permite variações de carga como uma turbina convencional. O funcionamento de uma bomba centrífuga como bomba e como turbina é mostrado na Figura 03.

Como a altura e a vazão da BFT são maiores que as da Bomba de Funcionamento como Bomba (BFB), houve a necessidade de se desenvolverem métodos para selecionar a bomba que vai operar como turbina. No Brasil, este trabalho foi realizado por Viana (1987) e Nogueira (1990), onde foram realizados ensaios em bombas de fabricantes nacionais.

Outro método semelhante foi desenvolvido por Chapallaz et al. (1992) na Europa, que também realizou ensaios em diversas

bombas e levantou coeficientes experimentais de altura e de vazão em função da rotação específica da bomba. Neste capítulo será mostrado apenas o método desenvolvido por Viana (1987), com vistas a dar credibilidade aos profissionais brasileiros.

Figura 03: Curvas características das bombas: (a) funcionando como turbina e (b) funcionando como bombas.



Fonte: Grupo Bombas KSB (2016)

De posse da vazão e pressão disponíveis e da rotação da BFT (1800 ou 3600rpm), calcula-se a rotação específica da máquina através da equação (4).

$$n_{qA} = [(n_t \cdot \sqrt{Q_t}) / (g \cdot H_t)^{3/4}] \cdot 10^3 \quad (4)$$

Onde:

n_{qA} → rotação específica da bomba ou da BFT no Sistema Internacional [1];

n_t → rotação da BFT [rps] (*aqui divide-se a rotação em rpm por 60*);

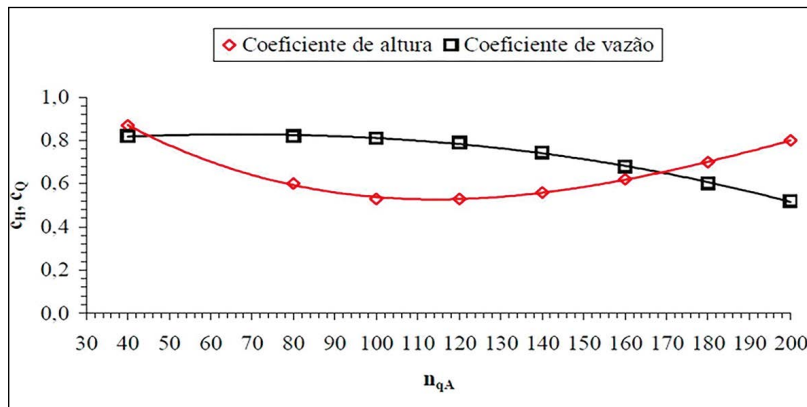
Q_t → vazão da BFT [m³/s];

g → aceleração da gravidade [m/s²];

H_t → altura da BFT [m].

Conhecida a rotação específica, determinam-se os coeficientes de altura e vazão com base na Figura 04. Nota-se que Nogueira (1990) utiliza bombas com rotação específica até 200, ou seja, rotores radiais ou centrífugos.

Figura 04: Coeficientes de altura e vazão.



Fonte: Adaptado de Nogueira (1990)

Determinados os coeficientes e de posse da altura e da vazão disponíveis no aproveitamento energético, calcula-se a altura e a vazão da bomba, através das equações (5) e (6).

$$H_b = C_h \cdot H_t \quad (5) \qquad Q_b = C_q \cdot Q_t \quad (6)$$

Onde:

H_b → altura da bomba que será utilizada como turbina [m];

C_h → coeficiente de altura [1];

H_t → altura disponível no aproveitamento (da BFT) [m];

Q_b → vazão da bomba que será utilizada como turbina [m³/s];

C_q → coeficiente de vazão [1];

Q_t → vazão disponível no aproveitamento (BFT) [m³/s].

É importante salientar que, os catálogos dos fabricantes não levam em consideração as rotações de 1.800 e 3.600 rpm (velocidades síncronas dos motores de indução), pois as bombas operam

abaixo destas, em função da velocidade dos motores assíncronos. Estas rotações situam-se em torno de 1.750 e 3.500rpm. Há necessidade, no entanto, de fazer um ajuste na altura e na vazão da bomba, a fim de se considerar a rotação encontrada nos catálogos. Isto pode ser feito, utilizando-se as Leis de Semelhança, através das equações (7) e (8).

$$H_{ob} = (n_{ob} / n_b)^2 \cdot H_b \quad (7) \quad Q_{ob} = (n_{ob} / n_b) \cdot Q_b \quad (8)$$

Onde:

H_{ob} → altura da bomba corrigida para rotação nominal [m];

n_{ob} → rotação nominal da bomba encontrada no catálogo do fabricante [rpm];

n_b → rotação da BFT [1800rpm ou 3600rpm];

H_b → altura da bomba referente às velocidades de 1800rpm ou 3600rpm [m];

Q_{ob} → vazão da bomba corrigida para rotação nominal [m³/s];

Q_b → vazão da bomba [m³/s].

A partir da altura corrigida e da vazão corrigida e também utilizando o rendimento da bomba, pode-se calcular a potência do eixo da BFT utilizando a equação (9):

$$P_{et} = (g \cdot Q_t \cdot H_t \cdot n_t) \cdot 1000 \quad (9)$$

Onde:

P_{et} → potência de eixo da BFT [kW];

Q_t → vazão nominal [L/s];

H_t → altura nominal [m];

n_t → rendimento da BFT [1];

g → aceleração da gravidade [m/s²].

Realizados estes procedimentos, seleciona-se a bomba, através dos catálogos de fabricantes, que oferece o melhor rendimento possível, que, para a turbina, será o mesmo da bomba, na mesma rotação (VIANA, 2012).

Estudo de caso

Foram pesquisados alguns possíveis casos para aplicação de BFT nas instalações da Sanepar, sendo os mais expressivos:

- 1) Água bruta que chega na ETA Cafezal do SAA de Londrina, com vazão de 497l/s, e desnível geométrico de 35 m entre o CR Sul (cota 608m) e a ETA Cafezal (cota 573m). Obs.: cotas aproximadas obtidas pelo Google Earth.
- 2) Efluente da ETE Norte (cota 504m) que chega no ponto de lançamento na área da EEE. Quati (cota 474m) do Sistema de Esgotamento Sanitário (SES) de Londrina. O desnível de aproximadamente 30 metros, e a vazão projetada para sua ampliação de 1050 l/s. Obs.: cotas aproximadas obtidas pelo Google Earth.
- 3) Esgoto bruto que chegará na ETE Sul (SES Londrina) proveniente da EEE Limoeiro. Uma linha de recalque partirá da EEE Limoeiro na cota 485m e seguirá até o ponto mais alto, na cota 549. Neste ponto será instalada uma ventosa e deste, o esgoto segue por um conduto forçado até o canal de entrada de esgoto bruto da ETE, na cota 466. As bombas da EEE foram projetadas para chegar ao ponto alto com um residual de pressão de 10 mca, o que significa elevar a cota para 559m (449m + 10m). Obs.: cotas retiradas do projeto em andamento da CISM Engenharia (2020), o projeto está atualmente em fase de conclusão pela CISM Engenharia.

A Tabela 01 mostra as vazões estimadas até o ano de 2041:

Tabela 01: Evolução das vazões - EEE Limoeiro.

Ano	Média (L/s)	Máxima Diária (L/s)	Máxima Horária (L/s)	Mínima (L/s)
2020	73,88	86,92	126,03	41,29
2021	75,43	88,77	128,79	42,09
2026	83,60	98,51	143,26	46,31
2031	95,80	112,92	164,27	53,01
2036	107,87	126,82	183,68	60,48
2041	117,53	138,41	201,07	65,31

Fonte: Adaptado do projeto CISM (2018)

Analizando os três casos acima optou-se pelo último caso, devido à seguinte situação: A Sanepar tem um contrato em andamento com a empresa CISM Engenheiros Consultores Ltda. para desenvolver projetos de diversas unidades construtivas referentes ao SES de Londrina/Cambé-PR, dentre elas a EEE Limoeiro e sua linha de recalque até a ETE Sul. Os dados apresentados deste estudo são atualizados e confiáveis, e o trabalho já desenvolvido pela empresa CISM permite estar um passo à frente para o desenvolvimento do estudo de caso, visto que os projetos das unidades se encontram em fase avançada de desenvolvimento pelo corpo técnico da contratada.

Para avaliar a provável capacidade de geração de energia do sistema, foram utilizados os dados de vazão e altura manométrica retirados dos estudos já desenvolvidos pela CISM Engenheiros e Consultores Ltda. No projeto da EEE Limoeiro foi prevista a instalação de 3 conjuntos moto bombas, sendo que um fica como reserva e os outros dois operam em paralelo acionados por inversores de frequência. As vazões estimadas pela CISM Engenharia são mostradas na Tabela 02. A Figura 05 apresenta o local para implantação do coletor projetado:

Tabela 02: Vazões nas bombas – inversores de frequência. A 56,9Hz E 59,6Hz.

Frequência (Hz)	N° de Bombas Operando	Vazão (L/s)	Vazão (m³/h)
56,9	1,00	75,43	271,55
	2,00	115,28	415,00
59,6	1,00	125,00	450,00
	2,00	201,07	723,85

Fonte: Adaptado do projeto CISM (2018)

Figura 05: Traçado do coletor entre o PV de Transição e a ETE Sul.



Fonte: Adaptado do projeto CISM (2018)

Considerando o desnível geométrico e a perda de carga na tubulação do conduto forçado, a Tabela 03 mostra a pressão disponível na entrada da BFT, na chegada na ETE Sul, sendo este o ponto proposto para instalação da BFT. O conduto forçado foi projetado em Policloreto de Vinila Orientado (PVC-O) com diâmetro nominal de 250mm (DN 250).

Tabela 03: Vazões nas bombas x Perda de carga no conduto forçado.

<i>Vazão (L/s)</i>	<i>Vazão (m³/h)</i>	<i>Desnível Geométrico (m)</i>	<i>Perda de carga Total (mca)</i>	<i>Pressão disponível na entrada da turbina (mca)</i>
75,43	271,55	93,00	14,53	78,47
115,28	415,00	93,00	31,44	61,56
117,53	423,11	93,00	32,02	60,98
125,00	450,00	93,00	36,69	56,31
166,67	600,00	93,00	62,02	30,98
201,06	723,80	93,00	87,91	5,09

Fonte: Adaptado do projeto CISM (2018)

A análise da Tabela indica que, para vazões acima de 201,06 L/s, a perda de carga no conduto forçado é tão grande que o escoamento do esgoto fica comprometido. Para realizar o dimensionamento da BFT foram analisados os dados apresentados nas Tabelas 01 e 02, tendo-se optado por utilizar o valor de vazão relativo à vazão média para 2041, ou seja 117,53 L/s, e pressão disponível de 60,98mca. Este valor de vazão compreende-se entre os valores de menor e maior vazão com 1 e 2 bombas operando nas frequências de 56,9 a 59,6Hz; portanto, cobre boa parte da operação da EEE Limoeiro ao longo do dia.

Tabela 04: Vazões e pressão consideradas no estudo de caso.

Ano	Vazão Qt (L/s)	Vazão Qt (m³/s)	Pressão útil Ht (mca)
2041	117,53	0,11753	60,98

Fonte: Adaptado do projeto CISM (2018)

Para o dimensionamento da BFT a ser utilizada neste estudo de caso, será considerado o método proposto por Viana (1987). Cálculo da rotação específica conforme (5):

$$nqA = (30 \cdot \sqrt{0,11753 \cdot 10^3}) / (9,81 \cdot 60,98)^{3/4} \rightarrow nqA = 85 \quad (1800\text{rpm})$$

$$nqA = (60 \cdot \sqrt{0,11753 \cdot 10^3}) / (9,81 \cdot 60,98)^{3/4} \rightarrow nqA = 170 \quad (3600\text{rpm})$$

Determinação dos coeficientes de altura e vazão conforme Figura 04. Como os valores de rotação específica deram aceitáveis tanto para 1.800 quanto para 3.600rpm, optar-se-á pelos valores de 1.800rpm, uma rotação que ocasiona menor desgaste mecânico nas máquinas.

$$CH = 0,58 \text{ e } CQ = 0,84$$

Com estes coeficientes e com os dados de vazão e altura disponíveis, calcula-se a vazão e altura da bomba através de (5) e (6):

$$Hb = CH \cdot Ht \rightarrow Hb = 0,58 \cdot 60,98 \rightarrow Hb = 35,87 \text{ mca}$$

$$Qb = CQ \cdot Qt \rightarrow Qb = 0,84 \cdot 0,11753 \rightarrow Qb = 0,09873 \text{ m}^3/\text{s}$$

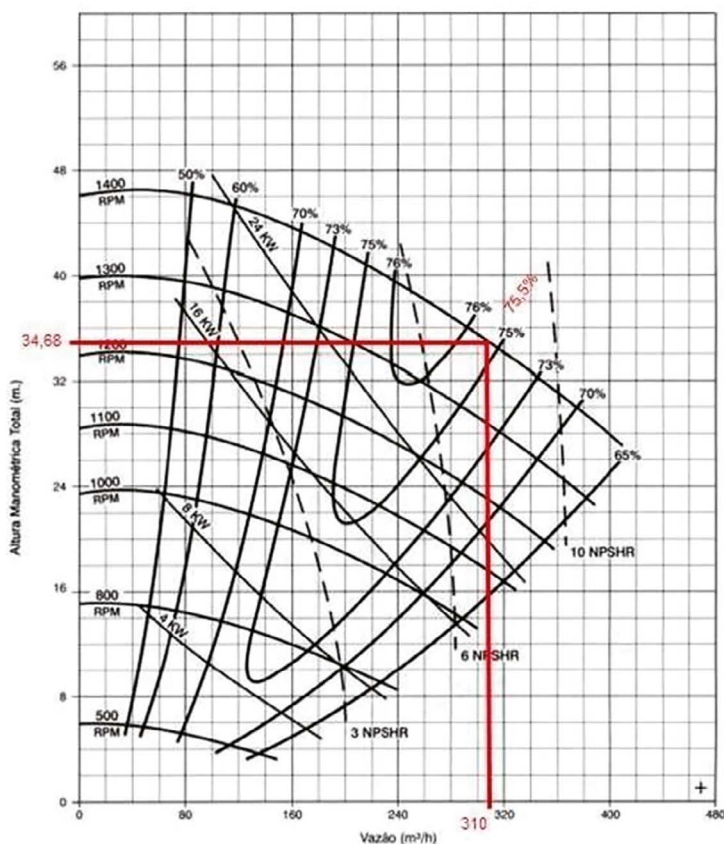
Como os motores assíncronos não operam na velocidade síncrona, devemos referenciar os cálculos para velocidades aproximadas dos motores. Neste caso, utilizaremos valores de rotação (rpm) retiradas do catálogo de motores da WEG, para equipamentos na faixa de 50 a 75cv, sendo 1.770rpm para motores 4 pólos. Aplicando as equações (7) e (8) temos:

$$H_{ob} = (n_{ob} / n_b)^2 \cdot H_b \rightarrow H_{ob} = (1770 / 1800)^2 \cdot 35,87 \rightarrow H_{ob} = 34,68 \text{ mca}$$

$$Q_{ob} = (n_{ob} / n_b) \cdot Q_b \rightarrow Q_{ob} = (1770 / 1800) \cdot 0,09873 \rightarrow Q_{ob} = 0,0970 \text{ m}^3/\text{s}$$

Figura 06: Modelo da bomba KSB.

Bomba Tipo LCC-R	Modelo 100-400	Diâmetro Rotor 395 mm	Passagem Livre 38x61 mm	 KSB KSB Bombas Hidráulicas S.A.
Performance para água limpa Os efeitos do peso específico, viscosidade e sólidos na performance com pósses devem ser levados em consideração. Escotilhas alternativas para tamanho de carcaça ou tipo de selo também podem ter efeito na performance.		Tamanho 2 Tipo de Selo P.M	Nº da Curva E 15E-90 Teste B297A-93	



Com os dados calculados, selecionou-se uma bomba a partir de catálogos de fabricantes, sendo que a que mais se aproximou foi a bomba da KSB modelo LCC-R 100-400 com rotor de 395mm. Sua curva característica é mostrada na Figura 06, onde para a altura manométrica de 34,68mca, encontrou-se o valor de vazão de 310m³/h e rendimento hidráulico de 75,5% na rotação de 1.400rpm.

Como os valores de vazão e rotação da bomba selecionada diferem dos valores utilizados nos cálculos efetuados anteriormente, faz-se necessário realizar os cálculos inversos para calcular a vazão que a bomba selecionada irá operar funcionando como turbina, para só então, determinar a potência no eixo da turbina disponível para o dimensionamento do gerador (MIG).

Tabela 05: Vazão, rotação e pressão para bomba selecionada.

Vazão Q _b (L/s)	Vazão Q _t (m ³ /s)	Rotação n (rpm)	Rendimento (%)
86,11	310	1400	75,5

Fonte: Os autores (2020)

Com os dados apresentados acima, calcula-se a rotação específica n_{qA} através da equação (4).

$$n_{qA} = (23,33 \cdot 10^3 \cdot \sqrt{0,08811}) / (9,81 \cdot 34,68)^{3/4} \rightarrow n_{qA} = 87 \text{ (1400rpm)}$$

De posse do valor da nova rotação específica calculada, encontra-se o valor de coeficiente de vazão através da Figura 04, onde o valor aproximado é: CQ = 0,84.

Através da equação (6), calcula-se o valor do Q_t para a bomba selecionada.

$$Q_b = CQ \cdot Q_t \rightarrow Q_t = Q_b / CQ \rightarrow Q_t = 86,11 / 0,84 \rightarrow Q_t = 102,51 \text{ L/s}$$

Com os dados de vazão e altura corrigidas na bomba, aplica-se a equação (2.9) e encontra-se a potência no eixo da BFT.

$$P_{\text{et}} = (g \cdot Q_t \cdot H_t \cdot \eta) / 1000$$

$$P_{\text{et}} = (9,81 \cdot 102,51 \cdot 34,68 \cdot 0,755) / 1000$$

$$P_{\text{et}} = 26,33 \text{ kW}$$

Com isso, sabe-se que a BFT poderá fornecer ao MIG aproximadamente 26,33kW no seu eixo de acoplamento. No caso de se instalar realmente a BFT em campo, é preciso fazer mais algumas verificações mecânicas, a fim de comprovar teoricamente que os componentes daquela bomba escolhida resistirão aos esforços a que a mesma será submetida.

Para o dimensionamento do motor de indução funcionando como gerador (MIG) utilizar-se-á o método de (CHAPALLAZ et al., 1990). O MIG utilizará a potência mecânica disponível no eixo da BFT, que, como calculado acima, é de 26,33kW. Com esta potência, encontra-se a relação P_{et}/P_n na Figura 02. Observando-se esta Figura, encontra-se o valor de: $P_{\text{et}}/P_n = 1,12$, e através da equação (c), encontra-se o valor da potência do motor a ser utilizado na geração de energia elétrica.

$$P_n = P_{\text{et}} / (P_{\text{et}}/P_n) \rightarrow P_n = 26,33 / 1,12 \rightarrow P_n = 23,51 \text{ kW}$$

Como é muito difícil que o valor calculado coincida com valores comerciais de potência de motores de indução, deve-se selecionar um com potência superior; neste caso, o motor selecionado possui os seguintes dados:

$$\text{Marca / Modelo} = \text{WEG / IP55 Potência (cv/kW)} = 40 / 30$$

$$\text{Rotação (rpm)} = 1200 - 6 \text{ polos}$$

$$\text{Rendimento (\%)} = 91,7$$

$$\text{Fator de potência} = 0,84$$

De posse dos dados calculados tecnicamente, precisa-se verificar e analisar a viabilidade econômica para a implantação da BFT na ETE Sul do SES de Londrina/PR. Para isso, será analisado

primeiramente o quanto a energia gerada irá reduzir no valor da fatura de energia da ETE, depois será composto um orçamento com os materiais e serviços para a implantação da BFT, e só então, chegar-se-á a uma definição sobre a viabilidade. A potência elétrica que sai nos terminais do MIG é dada pela equação :

$$Pel = g . Qt . Ht . nt . ng . nac$$

Onde:

$Pel \rightarrow$ potência elétrica do aproveitamento [KW]

$G \rightarrow$ aceleração da gravidade [m/s^2];

$Qt \rightarrow$ vazão de projeto [m^3/s];

$Ht \rightarrow$ energia potencial de projeto [m].

$nt \rightarrow$ rendimento da BFT [1];

$ng \rightarrow$ rendimento do gerador [1];

$nac \rightarrow$ rendimento do acoplamento [1];

Como no tipo de bomba selecionado não são utilizadas engrenagens nem polias para acoplamento da bomba ao motor, vale considerar o coeficiente de acoplamento unitário, sem perdas.

$$Pel = g . Qt . Ht . nt . ng . nac$$

$$Pel = 9,81 . 0,10251 . 34,68 . 0,755 . 0,917 . 1,00 \rightarrow Pel = 24,14kW$$

Como os dados iniciais de vazão e pressão do sistema foram feitos com a vazão média, adotar-se-á que o valor de 24,14kW seja constante, apesar de saber-se que a vazão ao longo do dia irá se alterar, em função do comportamento de uso da água da população da bacia de contribuição estudada pela CISM. Desta forma, mostrar-se-ão abaixo os valores mensais economizados com a geração da BFT, sendo os valores da tarifa retirados da conta de energia da ETE Sul (Referência fiscal de 04/2020).

Tabela 06: Redução do valor da conta da Energia Elétrica.

Produto / Descrição	Tempo (h)	Potência (kW)	Energia (kWh)	Valor Unitário (R\$)	Valor Total (R\$)
Energia Elétrica Ponta	90	24,14	2.172,60	1,739375	3.778,97
Energia Elétrica F. Ponta	630	24,14	15.208,20	0,458545	6.973,64
Demanda	-----	24,14	-----	18,582905	448,59
Economia mensal: R\$11.201,20					

Fonte: Os autores (2020)

A Tabela 07 mostra os insumos estimados para a implantação da BFT projetada na ETE SUL, bem como seus valores de mercado, dando assim, uma estimativa de custo para tal implantação.

Tabela 07: Investimentos para implementação de BFT na ETE Sul.

Material / Serviço	Ud	Quant.	Valor Unitário (R\$)	Valor Total (R\$)
Motor 40cv (30kW) 6 pólos	pç	1	17638	17638
Bomba LCC-R 100-400 - KSB	pç	1	17600	17600
Execução de obras civis	-	1	25000	25000
Adequações barrilete DN 250 com By-Pass	-	1	8000	8000
Interligação com instalações elétricas da ETE	-	1	8500	8500
Painel de proteção e sincronismo da BFT	-	1	10000	10000
Projeto + detalhamento de instalação	H-H	120	200	24000
Custo total estimado para implantação da BFT na ETE Sul			R\$ 110.738,00	

Fonte: Os autores (2020)

Considerando o valor de implantação mostrado na Tabela 07 e o valor de redução da conta de energia, chega-se à conclusão de que o investimento começará a dar retorno financeiro com aproximadamente 10 meses de funcionamento. Como não havia uma curva de vazão diária para tornar os cálculos mais precisos, a utilização da vazão média pode influenciar no valor de economia mensal com a conta de energia elétrica da ETE Sul, podendo alongar ou encurtar o prazo de retorno de investimento para a Sanepar.

Considerações finais

O objetivo deste estudo citado no início deste capítulo foi a verificação da viabilidade técnica e econômica de se instalarem turbinas nas tubulações à gravidade de água ou esgoto da Sanepar para geração de energia elétrica, trazendo uma maior eficiência energética para suas unidades. Os cálculos através da metodologia estudada mostraram a viabilidade para o aproveitamento do esgoto proveniente da ETE Limoeiro do SES de Londrina-PR, na geração de energia elétrica pelo uso de BFT. Com a potência de geração estimada em 24,14kW, a Sanepar poderá gerar mais de 17,3 MWh de energia mensalmente, e mais de 208,5 MWh, pensando-se num horizonte anual. Os números encontrados como redução de valores a serem pagos para a concessionária de energia parecem pequenos, mas representam pouco mais de 7% do valor da fatura do mês de abril/2020, que na ETE Sul de Londrina foi de mais de R\$150.000,00.

Para aumentar o aproveitamento energético do sistema analisado, pode-se implementar diversas intervenções, as quais poderão ser estudadas posteriormente. Como principais sugestões para estudos posteriores estão: Aumento do diâmetro do conduto forçado, a fim de reduzir a perda de carga linear e aumentar a altura manométrica disponível na cabeça da bomba; possibilidade de instalação de BFT em paralelo para melhor aproveitamento da vazão variável do esgoto ao longo do dia; e desenvolvimento de software ou aplicativo que agilize os cálculos pelos métodos disponíveis utilizados neste estudo.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-9648**: Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário. Rio de Janeiro: ABNT, 1986.

CHAPALLAZ, J. M.; GHALI, J. D.; EICHENBERGER, P.; FISCHER, G. Manual on Motors Used as Generators. **MHPG Series**. Vol. 10. Friedr. Vieweg & Sohn VerlagsgesellschaftmbH. Germany, 1990.

CHAPALLAZ, J.; EICHENBERGER, P.; FISCHER, G. **Manual on induction motors used as generators**. Braunschweig: Vieweg, 1992.

CHAPMAN, S. J. **Electric Machinery Fundamentals**. 2nd ed. McGraw-Hill. Boston, 1991.

KSB Bombas (2016). Artigos Técnicos, **Bombas como turbinas**. Disponível em: <https://www.ksb.com/ksb-pt/Informacoes_tecnicas-oticias_ch/Arquivo/2016-infotecnicas-e-notic%C3%Adas/bombas-como-turbinas/1051134/>. Acesso em 02 nov. 2011.

MACINTYRE, A.J. **Máquinas motrizes hidráulicas**. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1983.

NOGUEIRA, F. J. H.; **Bombas Centrífugas Funcionando como Turbinas**. Trabalho de Pesquisa; Departamento de Mecânica; EFEI; Itajubá, Março, 1990.

NTC 905200 – ACESSO DE MICRO E MINIGERAÇÃO DISTRIBUÍDA AO SISTEMA DA COPEL (com compensação de energia). Diversos Autores. Revisão outubro 2018.

TECNOGERA (2016). **Quais as diferenças entre um gerador síncrono e assíncrono?** Disponível em: <<https://www.tecnogera.com.br/blog/quais-as-diferencas-entre-um-gerador-sincrono-e-assincrono#:~:text=A%20velocidade%20de%20rota%C3%A7%C3%A3o%20depende,energia%20mec%C3%A2nica%20em%20energia%20el%C3%A9trica.>>. Acesso em 21/12/2020.

VIANA, A.N.C.; BERNARDES, D.F., RODRIGUES, J. C. Reguladores de Velocidade para Microturbinas Hidráulicas. **Anais do V Seminário de Pesquisa da EFEI, Itajubá - MG**, 22 a 26 de outubro de 1990. p. 1166-168.

VIANA, A. N. C. Pequenas Centrais Hidrelétricas no Meio Rural. Anais do Simpósio “Tecnologia e aplicação racional de energia elétrica e de fontes renováveis na agricultura”. **Anais** do XXVI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande PB, 21 a 25 de julho de 1997. pp 135-166.

VIANA, A.N.C.; Bombas de Fluxo Operando como Turbinas. Por Que Usá-las? PCH **Notícias & SHP News**; Ano 4; Num. 12; CERPCH; Itajubá; Nov.-Dez.-Jan.; 2002.

VIANA, A.N.C.; **Comportamento de Bombas Centrífugas Funcionando como Turbinas Hidráulicas**; Dissertação de Mestrado; EFEI; Itajubá; Dezembro, 1987.

WIKIPEDIA, **Gerador Elétrico**. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Gerador_el%C3%A9trico#:~:text=O%20d%C3%ADnamo%20funciona%20convertendo%20a,de%20tens%C3%B5es%20em%20seus%20terminais>. Acesso em: 21/12/2020.

PRINCIPAIS SIGLAS EMPREGADAS NA OBRA

Agência Nacional das Águas (ANA)
Agência Reguladora do Paraná (AGEPAR)
Amônia (NH_3)
Analytic Hierarchy Process (AHP)
Área de Preservação Permanente (APP)
Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE)
Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT)
Associação dos Catadores (AC)
Bactérias redutoras de sulfatos (BRS)
Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES)
Benzeno (C_6H_6)
Boletim de Ocorrência (BO)
Bomba Funcionando como Bomba (BFB)
Bombas Funcionando como Turbinas (BFT)
Cálcio (Ca)
Capacidade de troca de cátions (CTC)
Carbon Disclosure Project (CDP)
Carbono (C)
Centrais Elétricas Brasileiras (Eletrobrás)
Centro de Controle Operacional (CCO)
Centro Universitário Filadélfia (UNIFIL)
Certificado de Regularidade (CR)

Cobre (Cu)

Código da Unidade Consumidora (CDC)

Com Dosagem (CD)

Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (Casan)

Companhia Paranaense de Energia (COPEL)

Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar)

Compostos Orgânicos Voláteis (COV)

Conjunto Motobomba (CMB)

Conselho Administrativo da UENP (CAD/UENP)

Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama)

Consumo Energético Normalizado (CEN)

Consumo Específico de Energia (CEE)

Controlador Lógico Programável (CLP)

Controle Estatístico de Processo (CEP)

Custo unitário médio (R\$/t)

Data Envelopment Analysis (DEA)

Decision Making Units (DMU)

DemandaBioquímica de Oxigênio (DBO)

Demanda Máxima Diária histórica do sistema (Dmax)

Demanda Química de Oxigênio (DQO)

Determinação da Resistência Característica à Compressão
(DRCC)

Deutsche InstitutfürNormung (DIN)

Dióxido de Carbono (CO₂)

Dispositivo Tubular de Inspeção (DTI)

Educação Ambiental (EA)

Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural (Emater)

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa)

Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos (ERSAR)

Equipamentos de Proteção Individual (EPI)

Esgoto Bruto (EB)

Estabilização Alcalina Prolongada (EAP)

Estação de Tratamento de Água (ETA)

Estação de Tratamento de Esgoto (ETE)
Estação Elevatória de Esgoto (EEE)
Estações de Esgoto (EE)
Estações Elevatórias de Esgoto 02 (EEE 02)
Estados Unidos da América (EUA)
Etilbenzeno e o xileno (C₈H₁₀)
Ferro (Fe)
Formulário de Avaliação de Contratada Executora de Obras e/ou Serviços (FAE)
Fundação Getúlio Vargas (FGV)
Fundação Nacional de Saúde (Funasa)
Fundo Azul (FA)
Fundos Ambientais (FAM)
Gás do Efeito Estufa (GEE)
Gás Liquefeito de Petróleo (GLP)
Gás Natural Veicular (GNV)
Gás Sulfídrico (H₂S)
Gerência de Avaliação de Conformidades (GACF)
Gerência de Educação Socioambiental (GESA)
Gerência de Gestão Ambiental (GGAM)
Gerência de Gestão de Pessoas (GGPS)
Gerência de Projetos e Obras de Curitiba e litoral (GPOCT)
Gerência de Projetos e Obras Nordeste (GPOND)
Gerência de Projetos e Obras Noroeste (GPONO)
Gerência de Projetos e Obras Sudeste (GPOSD)
Gerência de Projetos e Obras Sudoeste (GPOSO)
Gerência de Projetos e Obras Sudoeste (GPOSO)
Gerência de Projetos KFW (GPKFW)
Gerência de Tratamento de Esgoto de Curitiba e Região Metropolitana de Curitiba-PR (GTESG)
Gerência Geral Noroeste (GGNO)
Gerência Geral Sudoeste (GGSO)
Gerência Regional Toledo (GRTO)

Gerências Regionais (GR)

Índice de Atendimento com Rede Coletora de Esgoto (IARCE)

Índice de Desenvolvimento Humano (IDH)

Índice de Perdas por Ligação (IPL)

Índice de Reservação Ideal (I)

Índice de Sustentabilidade Empresarial (ISE)

Índice Volumétrico de Lodo (IVL)

Instituto Água e Terra (IAT)

Instituto Ambiental do Paraná (IAP)

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE)

Instituto Nacional de Meteorologia (INMET)

Interface Homem Máquina (IHM)

International Water Association (IWA)

Inventários de Gases de Efeito Estufa (IGEE)

Leadership in Energy and Environmental Design (LEED)

Licença Ambiental Simplificada (LAS)

Limite Inferior de Controle (LIC)

Limite Superior de Controle (LSC).

Linha Privativa (LP)

Magnésio (Mg)

Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL)

Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT)

Ministério do Meio Ambiente (MMA)

Nitrato (NO_3^-)

Nitrato de cálcio ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$)

Nitrato (NO_3^-)

Nitrito (NO_2^-)

Nitrogênio (N)

Nitrogênio (N)

Norma Brasileira (NBR)

Novo edifício administrativo (NEA)

Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)

Operational expenditure (OPEX)

Organização das Nações Unidas (ONU)
Organização Mundial da Saúde (OMS)
Óxido de Cálcio (CaO)
Oxigênio Dissolvido (OD)
Perdas no Sistema Distribuidor (PSD)
Período de Retorno Descontado (PRD)
Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD)
Plano de Controle Operacional (PCO)
Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS)
Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB)
Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB)
Plano Plurianual de Investimentos (PPI)
Polícia Militar Ambiental (PMA)
Policloreto de Vinila Orientado (PVC-O)
Polipropileno (PP)
Política Municipal de Saneamento Básico (PMSB)
Política Nacional de Educação Ambiental (PNEA)
Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS)
Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS)
Políticas Públicas de Educação Ambiental (PPEA)
Potencial Hidrogeniônico (pH)
Programa de Eficiência Energética em Saneamento Ambiental (PROCEL)
Programa de Eficiência Energética em Sistemas de Abastecimento de Água (ProEESA)
Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA)
Programa de Modernização do Setor de Saneamento (PMSS)
Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água (PNCDA)
Programa Nacional de Educação Ambiental (ProNEA)
Programa Nacional de Saneamento Rural (PNSR)
Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente (UASB)

Reator em Batelada Sequencial (RBS)
Reatores Anaeróbios de Leito Fluidizado (RALF)
Região Metropolitana de Curitiba (RMC)
Relatório Anual dos Serviços de Água e Resíduos em Portugal
(RASARP)
Relatório de Acompanhamento Executivo (RAE)
Reservatórios Aoiados (RAP)
Reservatórios Semienterrados (RSE)
Resíduos Sólidos (RS)
Resíduos Sólidos (RS)
Resíduos Sólidos urbanos (RSU)
Sem Dosagem (SD)
Sequencing Batch Reactor (SBR)
Sistema Corporativo de Gestão Industrial (SCI)
Sistema de Abastecimento de Água (SAA)
Sistema de Aproveitamento de Água Pluvial (SAAP)
Sistema de Controle de Empreendimento (SCE)
Sistema de Esgotamento Sanitário (SES)
Sistema Especial de Liquidação e de Custódia (SELIC)
Sistema Fotovoltaico (SF)
Sistema Interligado Nacional (SIN)
Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS)
Sistema Nacional do Meio Ambiente (Sisnama)
Sistema Normativo da Sanepar (SNS)
Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa
(SEEG)
Sistemas de Abastecimento de Água (SAA)
Sólidos Sedimentáveis (Ssed)
Sólidos Suspensos no Tanque de Aeração (SSTA)
Sólidos Suspensos Totais (SST)
Sólidos Totais (ST)
Superintendência de Ciência, Tecnologia e Ensino Superior do
Paraná (Seti)

Tabela de Tarifas do Saneamento Básico (TTSB)
Taxa Interna de Retorno (TIR)
Tolueno (C₇H₈)
Trihalometanos (THM)
Unidade Central de Processamento (CPU)
Unidade de Gerenciamento de Lodo (UGL)
United States Environmental Protection Agency (USEPA)
Universidade Estadual do Norte do Paraná (UENP)
Universidade Virtual do Paraná (UVPR)
Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB)
Valor Presente Líquido (VPL)
Valores Máximos Permitidos (VMP)
Vistorias Técnicas Ambientais (VTA)
Volume de Reservação Ideal (VRI)
World Resources Institute (WRI)
Zinco (Zn)

Adriano Nascimento Martins – Agente de Suporte Administrativo na Sanepar/GRTO desde 2005, graduado em Tecnologia em Desenvolvimento de Software (Unipar, 2007), Técnico em Informática (Ceje, 2012). Contato: adrianonm@sanepar.com.br

Aline Tramontim Vale Bertolini – Graduada em Tecnologia em Processamento de dados pela Unesp e Ciências Econômicas pela Faculdade do Norte Pioneiro (Fanorpi), é Coordenadora de Planejamento e Administração da Sanepar – Gerência Regional de Santo Antônio da Platina. Contato: alinetv@sanepar.com.br

Altair José da Silva – Graduado em Ciências Econômicas pela Unioeste, é empregado da Sanepar desde 04/09/2001, Agente Suporte Operacional da Coordenação Industrial da Gerência Regional Toledo (GRTO). Contato: altairjs@Sanepar.com.br

André Clivati Astafieff – Geógrafo pela Uel. Tecnólogo em Gestão Pública pelo Instituto Federal do Paraná (IFPR). Especialista em Gestão, Licenciamento e Auditoria Ambiental pela Unopar. Agente Técnico de Produção da Sanepar. Contato: aclivati@sanepar.com.br

André Luis Sibim – Eletricista formado pelo Senai (1992), Técnico em Eletrotécnica pelo Cefet-PR (1996), graduado

em Engenharia Industrial Elétrica pelo Cefet-PR (2002). Atua como Engenheiro Eletricista na Gerência de Projetos Especiais da Sanepar (desde 2005). Contato: alsibim@sanepar.com.br

Anelisa Ramão – Possui graduação em Ciências Biológicas pela Unesp (2005), mestrado (2010) e doutorado (2014) em Biologia Celular e Molecular pela Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto (Usp) e pós-doutorado em Genética (2016) pela mesma Instituição. Desenvolveu parte do trabalho de doutorado na Columbia University Medical Center (CUMC), na cidade de Nova Iorque (NY-EUA). Contato: anelia.ramao@unicentro.br

Antonio Gil Fernandes Gameiro – Engenheiro Civil pela Uem. Mestre em Engenharia de Edificações e Saneamento pela Uel. Gerente da Gerencia Geral da Região Nordeste (GGND) da Sanepar. Contato: gilgameiro@Sanepar.com.br

Cibele Bender Raio – Doutora em Ciências Biológicas (Zoologia) pela Unesp, graduação e mestrado em Ciências Biológicas pela Uel. Coordenadora de pesquisa da pós-graduação em Saneamento Ambiental. Professora Colaboradora da Uenp. Tem experiência na área de Ecologia e Divulgação Científica. Contato: cibele.raio@uenp.edu.br

Crislaine Mendes – Mestre em Geografia pela Uel, especialista em Saneamento Ambiental (Uenp) e em Turismo em Áreas Naturais (IBPEX), é Analista – Gestora em Educação Socioambiental na Sanepar, atua no planejamento e na execução do Programa de Educação Ambiental da Companhia. Contato: crislainem@sanepar.com.br

Diane Agustini – Graduada em Biologia pelo Centro Universitário Católico do Sudoeste do Paraná, especialista em Auditoria

Ambiental e Biotecnologia Ambiental pela Unipar e em Saneamento Ambiental pela Uenp. Atua na Coordenação Comercial da Sanepar de Pato Branco. Contato: diane@Sanepar.com.br

Diego Augusto Klein Mayer – Com especialização em Saneamento Ambiental pela Uenp e graduação em Engenharia Civil pela Uem, atua como Engenheiro Civil na Sanepar. Contato: diego.mayer@Sanepar.com.br

Dyego Leonardo Ferraz Caetano – Doutorado em Biologia Comparada pela Uem, é Professor Colaborador da Uenp e pesquisador do Grupo de Estudos e Pesquisa em Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada. Contato: dyego_jcz@Uenp.edu.br

Elaine Carvalho da Paz – Mestre em Construção Civil pela UFPR e mestre em Engenharia Sanitária e Ambiental pela UEPG, é engenheira de projetos da Sanepar, membro da Câmara Temática de Perdas e Eficiência Energética da ABES/Regional Sul. Contato: elaine@sanepar.com.br

Eleandro Rodio – Graduada em Ciências Biológicas pela Unioeste, pós-graduada em Saneamento Ambiental pela Uenp, mestranda em Engenharia Agrícola na Unioeste, linha de Pesquisa em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Com 12 anos de experiência no setor de saneamento básico. Contato: eliandrawager@gmail.com.

Evori Roberto Patzlaff – Graduado em engenharia civil pela Faculdade Dinâmica das Cataratas (UDC), especialização em Saneamento Ambiental pela Uenp. Contato: evorirp@gmail.com

Fabiano Lopes Rocha – Mestre em Engenharia da Produção e Sistemas pela PUC-PR, é engenheiro Eletricista da Sanepar, lotado na

Gerência de Projetos Especiais (GPES). Contato: rocha.fabiano-
lopes@gmail.com

Fernanda Armelinda Cardoso – Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental (UTFPR), graduada em Ciências Biológicas (UTP), Química Ambiental Aplicada à Indústria (PUC-PR), Assistente da Diretoria de Meio Ambiente e Ação Social/ Gerência de Pesquisa e Inovação da Sanepar. Contato: fernandaac@Sanepar.com.br

Fernanda Janaína Oliveira Gomes da Costa – Doutorado em Engenharia de Alimentos (UFPR), mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos e Engenharia de Alimentos (UEPG), Engenharia Química (PUC-PR), é Engenheira na GPIN/Sanepar. Contato: janainaogc@sanepar.com.br

George Francisco Santiago Martin – Mestrado e doutorado pela Uel, é Professor Adjunto da Uenp, professor do Programa de Pós-Graduação em Educação – Mestrado Profissional (PPed/Uenp). Contato: george@uenp.edu.br

Gilson Mussi dos Reis – Mestrado em Engenharia de Produção pela UFSC-SC, graduado em Ciências Econômicas pela Unioeste-Campus Toledo. Professor do Centro Universitário Unisep-CEUUN, Francisco Beltrão Pr, e empregado da Sanepar. Contato: gilsonmussi@gmail.com

João Guilherme Baggio de Oliveira – Mestrado e doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela UEPG, é docente do Senac-PR. Contato: joao.baggio@pr.senac.br

João Paulo Alvarenga – Engenheiro Civil (PUC-PR), Técnico em Edificações (Cefet-PR), é Gerente de Planejamento de Investimentos (Sanepar). Contato: jalvarenga@sanepar.com.br

Jorge Sobral da Silva Maia – Biólogo (UFSCar), doutor e pós-doutor em Educação para a Ciência (Unesp), mestre em Ecologia (UFSCar), especialista em Educação Ambiental (Usp) e em Saúde Coletiva (Uenp). Professor Associado dos Programas de Pós Graduação em Educação e Ciência Jurídica da Uenp e no Programa de pós-graduação em Educação para a Ciência da Unesp. Contato: sobralmaia@uenp.edu.br

Juciane S. A. Hamerski – Técnica em edificações na Sanepar. Formada em Ciências Econômicas pela Univel Centro Universitário, pós-graduada em Auditoria Perícia e Gestão Ambiental pelo Centro Universitário Fundação Assis Gurgacz, acadêmica do 5º ano em Engenharia Civil pela Unopar. Contato: juciane@sanepar.com.br

Julio Kazuhiro Tino – Engenheiro Civil e mestre em Engenharia de Edificações e Saneamento pela Uel. Engenheiro de Desenvolvimento Operacional da Sanepar. Contato: jktino@sanepar.com.br

Karina KrigUel – Mestrado em Meio Ambiente Urbano e Industrial pela UFPR em parceria com o Senai-PR e Universidade de Stuttgart, é Técnica em Química da Sanepar. Atua na área de Pesquisa e Inovação. Contato: karinak@sanepar.com.br

Kleber Gomes Ramirez – Doutorando em Energia e Sustentabilidade pela Unila, é Engenheiro Ambiental, Gestor de Educação Ambiental da BP3 e atua no setor da Qualidade na Gerência Regional Foz do Iguaçu (Sanepar). Contato: klebergr@sanepar.com.br

Lilian Maria Pagamunici de Oliveira – Técnica em Alimentos da Sanepar, graduada em Tecnologia em Alimentos (UTFPR) com formação pedagógica em Química (UTFPR), especialista em Alimentos de Origem Vegetal (UFLA) e Saneamento Ambiental

(Uenp), mestra (Uel) e doutora (Uem) em Ciência de Alimentos. Contato: lilianmp@sanepar.com.br

Luiz Fernando Wagner – Engenheiro civil, mestre em engenharia sanitária e ambiental, com graduação e mestrado pela UEPG, é engenheiro da Sanepar, lotado na Gerência Regional de Manutenção Eletromecânica Sudeste (GEMSD). Contato: lfwagner@sanepar.com.br

Luiz Henrique Fujisao da Silva – Engenheiro Civil pela Uel e especialização em Planejamento e Gerenciamento Estratégico pela PUC-PR. Atua na Sanepar de Londrina no desenvolvimento de melhorias e tecnologias para operação dos sistemas de esgoto. Contato: lhfujisao@sanepar.com.br

Marlene Alves de Campos Sachet – Doutoranda e mestre em Gestão Ambiental pela Universidade Positivo. Especialista em Análise Ambiental (UFPR) e Administração de Empresa (FAE). Bacharel em Estatística (UFPR), desenvolve atividades na área de gerenciamento de riscos da Sanepar. Contato: macsachet@gmail.com

Mateus Luiz Biancon – Doutor em Educação para a Ciência e a Matemática pelo PCM-Uem. Graduado em Ciências Biológicas pela Uel. Professor Adjunto C na Uenp. Atua na Área de Ciências Biológicas, com pesquisas em Educação e o Ensino de Ciências. Contato: mateusbiancon@uenp.edu.br

Nelson Menolli Jr. – Professor do IFSP, Pesquisador Associado do Instituto de Botânica (IBt), graduado em Ciências Biológicas (Uel), mestre e doutor em Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente (IBt) com pós-doutorado pela Clark University (Worcester, EUA). Contato: menollijr@ifsp.edu.br

Nilson César Bertóli – Doutor em Administração (UFSM), mestre em Administração (Unip), bacharel em Ciências Contábeis (Unifio), especialista em Auditoria e Controladoria, e Metodologia do Ensino Superior (Unopar). Professor na SEED e na Uenp (CCSA-CCP). Contato: nilson.bertoli@uenp.edu.br

Paola Dotto Dall'Oglio – Engenheira civil formada pela Unioeste em 2000 e trabalha na área operacional da Sanepar de Cascavel desde janeiro de 2001. Pós-graduada em Gestão Ambiental pela Uem em maio de 2003. Contato: pdotto@sanepar.com.br

Priscila Oliveira de Souza Donadello Figueiredo – Engenheira civil e mestre em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental pela Universidade Federal do Paraná (UFPR), é engenheira da Sanepar e atua no setor de desenvolvimento operacional da Gerência Regional de Foz do Iguaçu. Contato: prisciladf@sanepar.com.br

Reinaldo Benedito Nishikawa – Pós-doutorado em História da Ciência pela Universidade de Coimbra, doutorado em História Econômica e mestrado em História Social, ambos pela Usp, docente do IFPR-Londrina, fundador do Grupo de Pesquisa CNPq (CEPECH). Contato: reinaldo.nishikawa@ifpr.edu.br

Roberto Toyohiko Hirama – Graduado em Engenharia Elétrica pela Uel com especialização em Automação Industrial pela UTFPR, é Engenheiro Eletricista da Sanepar. Contato: rthirama@sanepar.com.br

Ronald Gervasoni – Mestrado em Meio Ambiente Urbano e Industrial pela UFPR em parceria com o Senai-PR e Universidade de Stuttgart, é Engenheiro Ambiental da Sanepar, atua na área de Pesquisa e Inovação. Contato: ronaldg@sanepar.com.br

Rosane Terezinha Chiarello – Especialização em administração com ênfase em sistemas de informação e gestão da qualidade pela FAE Business School de Curitiba, é Suporte Administrativo na Sanepar. Contato: rtchiarello@sanepar.com.br

Roseli Fernandes – Mestre em Engenharia Química pela UFSC (2005), graduada como Tecnóloga Ambiental pelo Cefet (2003), Técnica Ambiental pelo Cefet (2002), formação docente da Educação (2003), atua como Técnico Ambiental na Sanepar. Contato: roselif@sanepar.com.br

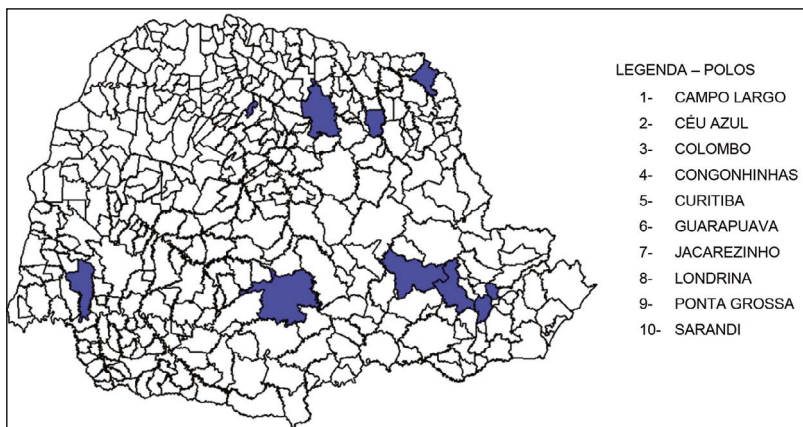
Simone Cararo Kozlinski – Especialista em Saneamento Ambiental pela Unep-EaD, graduada em Ciências Contábeis e especialista em Gestão Estratégica de Pessoas pela Unicentro. Atua na Sanepar desde 2006 na área de Relacionamento ao Cliente. Contato: scararok81@gmail.com

Suzana Maria Halitski Tomaz – Graduada em Tecnologia em Recursos Humanos pela Unicesumar (2010), é Secretária de Diretor na Diretoria de Investimentos da Sanepar. Contato: suzanamh@sanepar.com.br

Thaís Carolina Ferreira Waiss – Engenheira Ambiental pela Unesp, mestrado em Energia pela Usp/IEE. É Engenheira Ambiental da Sanepar, atuando no planejamento e desenvolvimento ambiental da empresa. Contato: thaisacfw@sanepar.com.br

Vanderléia Loff Lavall – Graduada em Economia pela Unioeste e pós-graduada em Controladoria e Gestão Financeira pela Unipar e em Saneamento Ambiental pela Unep, atua como economista na Sanepar. Contato: vanderleia4@gmail.com

Figura: Cidades/Polo do curso de Especialização em Saneamento Ambiental.



O conhecimento presente neste livro evidencia elevada contribuição teórica e prática ao campo dos saberes referentes ao saneamento ambiental, o que faz desta obra uma leitura relevante não somente para os profissionais do saneamento em suas diversas expressões, mas também a pesquisadores, técnicos, tecnólogos, gestores de instituições públicas e privadas, estudantes de graduação e pós-graduação e, ainda, à população em geral, pessoas interessadas em adquirir informações de qualidade sobre o saneamento ambiental no estado do Paraná e no Brasil.

