UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E CONTABILIDADE DE
RIBEIRÃO PRETO

FREDERICO EUGÊNIO FERNANDES FILHO

**Análise de viabilidade de sistemas que aumentem a eficiência energética de
estações de tratamento de esgoto.**

RIBEIRÃO PRETO

2019

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E CONTABILIDADE DE
RIBEIRÃO PRETO
DEPARTAMENTO DE ADMINISTRAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO DE ORGANIZAÇÕES

FREDERICO EUGÊNIO FERNANDES FILHO

**Análise de viabilidade de sistemas que aumentem a eficiência energética de
estações de tratamento de esgoto.**

ORIENTADORA: PROFA. DRA. SONIA VALLE
WALTER BORGES DE OLIVEIRA

RIBEIRÃO PRETO

2019

Prof. Dr. Vahan Agopyan
Reitor da Universidade de São Paulo

Prof. Dr. André Lucirton Costa
Diretor da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto

Prof. Dr. Jorge Henrique Caldeira de Oliveira
Chefe do Departamento de Administração

FREDERICO EUGÊNIO FERNANDES FILHO

Análise de viabilidade de sistemas que aumentem a eficiência energética de estações de tratamento de esgoto.

Versão corrigida

(a versão original encontra-se disponível na FEA-RP/USP)

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Administração de Organizações da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Ciências.

ORIENTADORA: PROFA. DRA. SONIA VALLE
WALTER BORGES DE OLIVEIRA

RIBEIRÃO PRETO

2019

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

FICHA CATALOGRÁFICA

Fernandes Filho, Frederico Eugênio

Análise de viabilidade de sistemas que aumentem a eficiência energética de estações de tratamento de esgoto. Ribeirão Preto, 2019.

222 p. : il.; 30 cm. Apêndice.

Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo. Área de concentração: Sustentabilidade.

1. Administração. 2. Sustentabilidade. 3. Energias renováveis. 4. Estação de tratamento de esgoto. 5. Digestão anaeróbia. 6. Biogás e biometano. 7. Eficiência energética. 8. Análise de viabilidade.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Nome: FERNANDES FILHO, Frederico Eugênio

Título: Análise de viabilidade de sistemas que aumentem a eficiência energética de estações de tratamento de esgoto

Dissertação apresentada à Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de Mestre em Ciências.

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dr. _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

Prof. Dr. _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

Prof. Dr. _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

À Vó Dette, com saudades.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, em primeiro lugar, à pessoa mais importante em toda essa jornada, que acreditou em mim mais do que eu próprio, e sem cujo incentivo e apoio sequer teria começado esse mestrado: Graciane. A você meu amor, minha admiração e minha gratidão... por tudo... sempre!

A meus pais, Maria do Carmo e Frederico, sou grato pela educação, pelos valores e exemplos transmitidos, pela incessante torcida e pela inabalável fé em minha pessoa.

Agradeço a minhas filhas, Rachel e Sarah, que são meu orgulho e minha inspiração para continuar evoluindo. Especialmente à Rachel, agradeço por ter me acompanhado em trabalho de campo, servindo de fotógrafa, *sidekick* e assessora.

Agradeço à minha Orientadora Sonia, Professora por vocação, apaixonada por ensinar e que, a despeito de ser extremamente qualificada e reconhecida internacionalmente como referência em tratamento de resíduos, é um ser humano excepcional, dotado de grande humildade e generosidade. À Professora Sonia agradeço sinceramente pela paciência e dedicação, por todo o ensinamento (técnico, acadêmico, prático e de vida), por ter confiado em mim e por ter me proporcionado essa oportunidade única.

Aos Professores Marcelo Zaiat, Alexandre Bevilacqua Leoneti e Nemésio Neves Batista Salvador, meu sincero agradecimento pela minuciosa análise da dissertação, pelas oportunas correções e sugestões e pela generosidade em compartilhar seu tempo e seu rico conhecimento comigo, quando de minha defesa. O resultado final do presente trabalho foi bastante enriquecido por conta de sua rica colaboração.

Aos colegas e amigos que fiz durante os anos de Mestrado, dentre professores e alunos feanos, meu agradecimento pelas excelentes conversas, pela ajuda, pelas discussões, cafés, risadas, trabalhos em grupo e ensinamentos. Agradeço especialmente a Cesio Pinto Barbosa Lemos, Geraldo José Ferraresi de Araújo e Giovani Morangueira Magri, queridos amigos para além do Mestrado, com quem mantive contato mais próximo durante minha experiência e com os quais tive a oportunidade de aprender e compartilhar experiências.

A Luciana Manzan Ferreira, Secretária do Departamento de Administração, agradeço a eficiência e a gentileza de intermediar a elaboração de vários dos ofícios

que me foram exigidos pelas empresas pesquisadas, bem como por coletar suas assinaturas.

A todo o pessoal administrativo da FEA-RP, agradeço pela atenção, gentileza e presteza e por terem facilitado os trâmites burocráticos de minha vida acadêmica. Obrigado especialmente a Ana Tavares, Cristina Bernardi Lima, Érika de Lima Veronezi Costa, Geraldo Vitali Neto, Henrique Shuhama, Matheus Carlos da Costa, Paulo Marcelo C. Martins, Silvio Bezerra de Noronha e Thiago Saran de Carvalho Sasso, com os quais interagi diretamente.

Agradeço a todos os que possibilitaram a coleta de dados do Grupo GS Inima Brasil e a visita técnica à ETE de Ribeirão Preto, SP, e, em especial, a Carlos Roberto Ferreira (Diretor de Operações), Paulo Roberto de Oliveira (Presidente) e Rosana Costa Miranda (Assistente Executiva).

Muito obrigado também aos que possibilitaram a coleta de dados da SABESP, e aos que tornaram possível a visita técnica à ETE de Franca, SP, e, em especial, a Alexandro Alcuten de Melo (Técnico de Sistema de Saneamento), Cristina Gonçalves Tabosa Alves (Gerente de Departamento), Luciano Reami (Gerente de Setor de Tratamento de Esgoto), Marcos Cason (Engenheiro Eletricista e de Manutenção), Nilton A. Furukawa (Divisão de Engenharia e Desenvolvimento Operacional) e Valéria Moreira Passoni Cordón (Gerente de Setor).

Agradeço a todos os profissionais, de diferentes organizações e países, que dedicaram um pouco de seu tempo a me auxiliarem na pesquisa e na coleta de dados e, em especial a: Adriano Guedes, da Engenharia, e Carlos Eduardo Biagini, da Assessoria de Imprensa da Scania Brasil; Alex Fabiano Ciacci e Jéssica Carl, da Superintendência de Projetos e Operações do Serviço Autônomo de Água e Esgoto de São Carlos (SAAE São Carlos); Amanda Herbst, da Okena; Ana Julia Pavão, da Companhia Águas de Santa Rita S/A (COMASA); André Teixeira, Coordenador Administrativo e Financeiro da Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES); Angélica Mengue, da Assessoria de Comunicação e Divulgação do Serviço Autônomo de Saneamento de Pelotas (SANEP); Benjamin Jimenez, da Secretaria de Medio Ambiente Y Recursos Naturales, International Department of Comisión Nacional Del Agua (Conagua), México; Camila dos Santos Vieira, Ouvidora da Companhia de Saneamento do Pará (COSANPA); Carlos Magno Lopes Welsing, da Saneamento Alta Maceió (SANAMA); Caroline Suidedos, Engenheira do Setor de Operação de Esgoto da Sociedade de Abastecimento de Água e Saneamento de

Campinas (SANASA); Claudio de Oliveira Dantas, Ouvidor Titular da Empresa Baiana de Águas e Saneamento (EMBASA); Cristina Costa, Especialista em Projetos de Cooperação Técnica, e Hernán Chiriboga, Representante do Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura (IICA Brasil); Diego B. Ghisi, Engenheiro Sanitarista da Companhia Águas de Joinville; Dinéas Moraes Gonçalves, da Ouvidoria do Governo do Estado de Mato Grosso; Edmèe Dominici Castelo Branco e Gisélia Cristina Pereira Cutrim, da Companhia de Saneamento Ambiental do Maranhão (CAEMA); Elinton Eduardo Lopes da Silva, Fiscal de Obra, Giselda Passos Giafferis, Diretora do Serviço de Tratamento de Esgoto, Heber Soares Vieira, da Divisão de Produção e Reservação e Pedro Gustavo de Souza Rodrigues, Técnico de Controle Ambiental do Departamento de Água e Esgoto de Bauru (DAE Bauru); Ella Rudland, do Clean Energy Regulator Contact Centre, e Penny Knox, do Australian Research Council, da Austrália; Emerson Santana Rocha, do departamento de Gestão de Energia e Eficiência Energética da AEGEA; Erasmo Gomes Santos Junior, Engenheiro Ambiental e Sanitarista da Diretoria de Meio Ambiente e Engenharia, da Companhia de Saneamento de Sergipe (DESO-SE); Erica Marta Gavetti Meirelles e Luciane Ries O. Figueiredo, da Ouvidoria-Geral da Itaipu Binacional; Gabriel Alves, da Associação Nacional dos Serviços Municipais de Saneamento (ASSEMAE); Gabriel Amabile, Development Engineer da Audi do Brasil Indústria e Comércio de Veículos Ltda.; Gabriel Azevedo, Relacionamento com a Imprensa, Rede Comunicação de Resultado, New Holland Agriculture; Geoffroy Hureau, Secretário Geral da CEDIGAZ; Gustavo Caldas dos Santos, da Gerência de Mercado Urbano e Veicular da Companhia de Gás de Santa Catarina (SCGÁS); Gustavo Rafael Collere Possetti e Luiz Gustavo Wagner, da Gerência de Pesquisa e Inovação da Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR); Herivanda Gomes de Almeida, da Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE); John Collins, Leah Tumilty e Tara McCoy, da Northern Ireland Water, Irlanda do Norte; José Augusto Aguiar, Coordenador de Operação da Companhia de Saneamento de Jundiaí (CSJ); José Carlos Mierzwa, do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Escola Politécnica da USP; Jules van Lier, professor do Departamento de Engenharia Sanitária da Delft University of Technology; Juliana Peres, da Tera Ambiental; Kalle Svensson, da Energimyndigheten, Suécia; Kelly Megumi Massuda Sasada, do setor de Valorização de Resíduo do Grupo Solví; Klaus Völler, da Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), da Alemanha; Leandro Cavalcante, Assistente de

Superintendência, e Humberto Belina Adamatti, da Gerência de Gestão Energética da Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB); Lidiane Moreira, Gerência de Transparência e Combate à Corrupção da Controladoria Geral do Estado do Tocantins; Lise Karstenskov Hughes, Líder de Produção e Desenvolvimento da Aarhus Vand A/S, na Dinamarca; Lucas Antonio Casagrande, engenheiro do Departamento de Águas e Energia Elétrica de Ribeirão Preto (DAEE); Luiz Antonio de Brito Bertazzo, Gerente da São Gabriel Saneamento (SGSSA); Marcelo Zago, da Ouvidoria e Atendimento ao Cidadão da Prefeitura de Caxias do Sul, RS; Mark Philbrick, Energy Efficiency & Renewable Energy, Estados Unidos; Marianne Nielsen, da Energistyrelsen (Danish Energy Agency), na Dinamarca; Mário Augusto Loureiro Leites, Engenheiro Civil da Empresa de Saneamento de Mato Grosso do Sul SA (SANESUL); Maximilian Lüdtkke, da Swedish Environmental Protection Agency, Suécia; Odílio Mendonça da Silva, da Companhia de Saneamento do Amazonas (COSAMA); Osamu Sato, Engenheiro da Companhia de Água e Esgoto de Roraima (CAERR); Paul Hesse, Information Dissemination Specialist da U.S. Energy Information Administration, dos Estados Unidos; Petar Mandaliev, do Federal Department of the Environment, Transport, Energy and Communications, da Suíça; Rachel Morris, External Relations Officer, Natural Resources Wales, País de Gales; Rafael Hernando Aguiar Gonzalez, Diretor de Desenvolvimento Tecnológico do Centro Internacional de Energias Renováveis – Biogás (CIBiogás); Renate Gundlach, Ministerium für Energie, Infrastruktur und Digitalisierung, Alemanha; Rita Cavaleiro de Ferreira, coordenadora do Projeto de Eficiência Energética em Sistemas de Abastecimento de Água (ProEESA); Rosalind McGarrie-Lound, do National Customer Contact Centre, na Environment Agency, Reino Unido; Sisenando Mendes de Sousa, Subgerente de Tratamento de Esgotos da Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA); Tulio Antonio Silva Monteiro, Engenheiro da Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA) e William M. Barcellos, Coordenador do Laboratório de Combustão e Energias Renováveis do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Ceará.

Agradeço, por fim, a todas as organizações colaboraram para o fornecimento de dados à pesquisa, e em especial a: Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL); Agência Reguladora de Serviços de Abastecimento de Água e de Esgotamento Sanitário do Estado de Minas Gerais (ARSAE-MG); Biogas Subcommittee, Global Methane Initiative; BRK Ambiental; Companhia de Águas e Esgotos do Estado de

Rondônia (CAERD); Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte (CAERN); Companhia de Saneamento Ambiental do Maranhão (CAEMA); Companhia de Saneamento de Alagoas (CASAL); Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA); Companhia Estadual de Águas e Esgotos (CEDAE); Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA); Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN); Controladoria-Geral do Estado de Minas Gerais (CGE-MG); Federal Ministry for Economic Affairs and Energy, Alemanha; Iguá Saneamento SA; Ministerio de Energía, Chile; Ouvidoria Geral do Estado de Santa Catarina; Secretaria Municipal de Transparência e Controladoria de Porto Alegre (SMTTC); Servicio de Información al Ciudadano en Eficiencia Energética y Energías Renovables (SICER), do Ministerio para la Transición Ecológica, na Espanha; Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Sorocaba (SAAE Sorocaba); Serviço Municipal Autônomo de Água e Esgoto de São José do Rio Preto (SeMAE Rio Preto); Zona Oeste Mais Saneamento.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

"I learned this, at least, by my experiment: that if one advances confidently in the direction of his dreams, and endeavors to live the life which he has imagined, he will meet with a success unexpected in common hours."

Henry David Thoreau
(Walden: or, life in the woods)

RESUMO

FERNANDES FILHO, F. E. **Análise de viabilidade de sistemas que aumentem a eficiência energética de estações de tratamento de esgoto.** 2019. 222 f. Dissertação (Mestrado em Administração de Organizações) – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, São Paulo, 2019.

Cerca de 2,1 bilhões de pessoas no planeta não têm acesso a serviço de água tratada, 844 milhões não têm acesso à água potável e apenas 9% da população é atendida por estações de tratamento de esgoto (ETEs) avançadas. No Brasil, 99,2 milhões de brasileiros não têm esgoto coletado e 34,4 milhões sequer têm acesso a água tratada. Do total do esgoto gerado no país, estima-se que 54% não sejam tratados. A falta de saneamento está diretamente relacionada ao aumento de doenças, à pobreza e à contaminação de corpos d'água. ETEs eficientes são dispendiosas, especialmente em virtude de seu alto consumo de energia. Diante desse cenário, têm surgido iniciativas de aproveitamento energético do esgoto, o que desperta o interesse de investidores e contribui para a universalização do saneamento básico, vez que há a possibilidade de geração de receita com consequente redução do *payback* do investimento. A presente pesquisa analisou a viabilidade de projetos nacionais de aproveitamento energético em ETEs, que produzem biogás via digestão anaeróbia de esgoto e de lodo de esgoto. A análise tomou, como paradigma de comparação, uma ETE da Dinamarca, cuja planta possui autossuficiência energética e fonte de receita via comercialização de seu excedente. Foram coletados dados de 40 companhias de tratamento de esgoto nacionais, responsáveis pelo saneamento de 2.138 municípios, cuja população é estimada em 142.474.762 habitantes (68,33% do país). Foram identificadas quatro iniciativas, em operação, que geram energia elétrica ou produzem biometano. Os sistemas nacionais analisados apresentaram *payback* apenas no muito longo prazo. Foi realizada ainda análise comparativa da eficiência das plantas e seu cotejamento com o caso-paradigma. Foram dissecados os possíveis motivos de tais resultados e propostas sugestões de ações dirigidas a melhorar tal cenário.

Palavras-chave: Análise de viabilidade. Energias renováveis. Esgoto. Sustentabilidade.

ABSTRACT

FERNANDES FILHO, F. E. **Feasibility analysis of energy efficiency increasing systems to waste water treatment plants.** 2019. 222 f. Dissertação (Mestrado em Administração de Organizações) – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, São Paulo, 2019.

About 2.1 billion people on the planet do not have access to clean water services, 844 million of them do not have access to safe potable water and only 9% of the population is served by advanced wastewater treatment plants (WWTP). In Brazil alone, 99.2 million people do not have their sewage collected and 34.4 million do not even have access to treated water. About 54% of the wastewater generated in the country is not not treated. Poor sanitation conditions are directly related to diseases, poverty and contamination of water bodies. Efficient WWTP are expensive, especially because of their high electricity consumption. Given this scenario, there have emerged initiatives that generate energy using sewage and sewage sludge as a biomass source, which arouses the interest of investors and contributes to the universalization of basic sanitation, since the possible revenue generated may reduce the investment's payback. This research analyzed the feasibility of national projects running in WWTP, producing biogas via anaerobic digestion of sewage and sewage sludge. The analysis used as a paradigm of comparison, a Danish WWTP that is self-sufficient in energy and that had created a revenue source via commercialization of its surplus. Data were collected from 40 national sewage companies, responsible for the sanitation of 2,138 municipalities, whose population is estimated at 142,474,762 inhabitants (68.33% of Brazil's). Four operationg initiatives were found that generate electricity or biomethane. The national systems analyzed showed payback only in the very long term. A comparative analysis of plant efficiencies and its comparison with the paradigm case were also performed. The possible reasons for such results were discussed and actions were suggested, in order to improve such scenario.

Keywords: feasibility analysis. Renewable energies. Sewage. Sustainability.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	25
1.1	Problema de pesquisa	27
1.2	Objetivos	27
1.2.1	Objetivo geral	27
1.2.2	Objetivos específicos.....	27
1.3	Justificativa	28
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	33
2.1	Uma teoria de sustentabilidade	33
2.2	Saneamento básico no Brasil.....	36
2.2.1	Planos e políticas nacionais	37
2.3	Esgoto e saúde pública	39
2.4	Aproveitamento energético do esgoto	41
2.4.1	Digestão anaeróbia	42
2.4.2	Energia hidrelétrica.....	46
2.4.3	Demais tecnologias	47
2.5	Características nacionais que motivam a opção pela tecnologia de DA como base para o estudo	48
2.5.1	Digestão anaeróbia direta e sistema de lodos ativados	50
2.6	Dois usos para o biogás	52
2.6.1	Biogás para geração de energia elétrica	52
2.6.2	Biometano para abastecimento ou comercialização	53
3	METODOLOGIA	57
3.1	Coleta de dados	58
3.1.1	Conhecimento científico e técnico	58
3.1.2	Dados primários	58
3.1.3	Dados secundários.....	60
3.1.4	Entrevistas e visitas.....	60
3.2	Representatividade da amostra e dados totalizados	60
3.3	Dificuldades encontradas na coleta de dados	61
3.4	Análise dos dados	63
4	RESULTADOS.....	67
4.1	Panorama do uso do biogás de esgoto no mundo	67
4.1.1	Brasil	70
4.1.2	Alemanha	71
4.1.3	Austrália	72
4.1.4	Chile	72

4.1.5	Dinamarca.....	73
4.1.6	Espanha.....	73
4.1.7	Estados Unidos.....	74
4.1.8	México.....	74
4.1.9	Reino Unido	76
4.1.10	Suécia.....	77
4.1.11	Suíça.....	77
4.2	Caso-paradigma de aproveitamento de biogás	78
4.3	Casos nacionais com operação esporádica	85
4.3.1	ETE Jacuípe II (EMBASA)	85
4.3.2	ETE Ouro Verde (SANEPAR)	87
4.3.3	Unidade de Demonstração de Itaipu.....	90
4.4	Casos nacionais em operação contínua	94
4.4.1	ETE Ribeirão Preto (Ambient).....	95
4.4.2	ETE de Franca (SABESP)	103
4.4.3	ETE Arrudas (COPASA)	114
4.4.4	ETE Ibitaré (COPASA).....	117
4.5	Projetos em estudo	118
4.5.1	Embasa.....	118
4.5.2	CAGECE.....	120
4.5.3	CAESB.....	120
4.5.4	ETE Rio Preto (SeMAE São José do Rio Preto).....	121
4.5.5	ETE Vargem Limpa (DAE Bauru)	123
4.6	Experiências nacionais na utilização de biometano veicular	125
4.6.1	Veículo leve (Audi).....	125
4.6.2	Veículo pesado (Scania).....	126
4.6.3	Máquina agrícola (New Holland).....	127
4.7	Análises de viabilidade	129
4.7.1	ETE Ribeirão Preto	130
4.7.2	ETE de Franca.....	131
4.7.3	ETE Arrudas	133
4.7.4	ETE Ibitaré	134
4.7.5	ETE Marselisborg	135
5	DISCUSSÃO	137
5.1	Potencial inexplorado.....	137
5.2	Carência de dados.....	138
5.3	Importância dos projetos realizados	139

5.4	As lições do caso-paradigma	139
5.5	Análise comparativa dos projetos analisados.....	141
5.6	Energia elétrica ou biometano?	146
5.7	Para além dos objetivos econômico-financeiros	147
5.8	Oportunidades no mercado de biocombustíveis	148
5.9	Rede de distribuição de biometano	149
5.10	Sugestão de iniciativas para a realidade nacional.....	150
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	153
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	157

1. INTRODUÇÃO

O que fazer com a quantidade cada vez maior de esgoto produzida pelas cidades, e como fazê-lo de forma sustentável (social, ambiental e economicamente), têm sido desafios à comunidade científica, já que a disposição de esgoto não tratado polui severamente os lençóis freáticos e as águas de superfície (ELANGO et al., 2007).

Li et al. (2016) realizaram pesquisa bibliométrica em 8.969 produções científicas, de 1991 a 2012, e identificaram um crescimento exponencial do número de trabalhos na área, que tem o Brasil na nona posição entre os países com maior produção científica do mundo sobre esgoto.

Nesse contexto, tem surgido uma série de métodos que permitem aliar o tratamento dos efluentes urbanos ao aproveitamento energético, tornando economicamente atraente o setor. No Brasil, embora a responsabilidade pelo tratamento seja do Poder Público, há possibilidade de transferência das operações de saneamento à iniciativa privada, por meio de sistemas como parcerias público-privadas e concessões. Todavia, a realidade mostra que é mínima a participação da iniciativa privada em saneamento, restando o Estado como responsável pela gestão das estações de tratamento de esgoto (ETEs) do país: dos 1.103 prestadores de serviço de esgoto relacionados no Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), 93,65% têm participação de capital público (BRASIL, 2019), como ilustra o **Gráfico 1**.

Gráfico 1: Natureza das empresas de tratamento de esgoto no país.

Fonte: elaboração própria com dados de BRASIL (2019).

Os investimentos promovidos pelo Governo Federal, destacam Dutra et al. (2016), são ineficientes, e as obras por eles financiadas são morosas: menos de 10% dos projetos, de 3 a 5 anos, analisados pelos pesquisadores, foram concluídos no prazo, e dos 851 contratos avaliados 66% não haviam sido plenamente executados após nove anos do início do Programa Saneamento para Todos, do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC). No mesmo prazo, todas as obras executadas por prestadores privados analisados haviam sido concluídas, o que significou aumento médio de 10 pontos percentuais em cobertura de coleta e 33 pontos em tratamento de esgoto, superior ao observado nos municípios abrangidos por entes públicos (DUTRA et al., 2016).

Além da elevada barreira econômica de entrada, sabe-se que as ETEs apresentam alto custo operacional. Além de pessoal, equipamentos e demais insumos, há grande demanda de utilização de energia elétrica (CHAE et al., 2015). Em 2016 o tratamento de esgoto consumiu, sozinho, 14% de toda energia utilizada pelo setor de águas (o que compreende as atividades de dessalinização, tratamento de água, transferência, distribuição e tratamento de esgoto), e a expectativa é que, até 2030, o consumo aumente em torno de 50% (IEA, 2018).

Calcula-se que uma ETE de lodos ativados, que utilize uma combinação de sistemas aeróbios e anaeróbios, consuma de 0,6 a 0,8 kWh por metro cúbico de esgoto tratado (MCCARTY; BAE; KIM, 2011; VENKATESH; BRATTEBØ, 2011), equivalente a 30% do custo operacional da instalação, o que, nos Estados Unidos, totaliza 3% da carga de energia elétrica gerada no país (EPA, 2006). Somente o tratamento de esgoto do Estado de Nova York consome entre 1.75 e 2.0 TWh de eletricidade anualmente (NYSERDA, 2010). Drinan e Spellman (2013) afirmam que o custo com energia elétrica para tratamento de água e esgoto nos EUA atinge US\$ 4 bilhões ao ano, o que representa de 30 a 40% de toda eletricidade consumida pelos municípios.

O preço da energia elétrica, particularmente no Brasil, tem sofrido constantes aumentos face às frequentes crises hídricas que têm assolado nossa matriz energética, predominantemente hidráulica: as tarifas para o setor industrial subiram quase 80% entre 2013 e 2017 (PEREIRA, 2017).

Disso, pode-se concluir que o fato da ETE conseguir mitigar tais custos, ou até conquistar autossuficiência energética, com a possível comercialização de eventual

excedente, pode significar a viabilidade da instalação da própria planta de tratamento, especialmente em municípios menos favorecidos.

Essas novas iniciativas apresentam potencial de agregar valor às ações de saneamento básico, e a análise das características de cada tecnologia, em cotejo com a realidade das ETEs do país, permitirá eleger sistemas de tratamento de esgoto que resultem em maior eficiência e geração de energia, e cuja implementação seja financeiramente viável.

1.1 Problema de pesquisa

Apresentada a justificativa, é conveniente que, antes da definição dos objetivos concretos da investigação, especifique-se o problema por meio de uma ou mais perguntas, que devem resumir a investigação e delimitar o campo do problema (SAMPIERI; COLLADO; LUCIO, 2014). A pergunta de pesquisa determina a significância dos temas que exsurtem dos dados coletados (MALHOTRA, 2010) e auxilia a centrar a atenção do pesquisador nas informações necessárias (GIL, 2008).

Destarte, questiona-se: qual a viabilidade econômica da instalação de sistemas que produzem energia em estações de tratamento de esgoto?

1.2 Objetivos

Os objetivos geral e específicos são assim delineados:

1.2.1 Objetivo geral

- Realizar a análise da viabilidade econômica de sistemas que produzem energia em ETEs brasileiras, por meio do aproveitamento do biogás, como forma de estimular a disseminação de infraestrutura de saneamento básico.

1.2.2 Objetivos específicos

- Analisar as características de sistemas de aproveitamento energético do biogás de esgoto, em funcionamento em ETEs brasileiras, que realizem o aproveitamento energético do biogás proveniente da digestão anaeróbia (DA) de esgoto e de lodo de esgoto;
- Analisar a viabilidade econômica de projetos já existentes;

- Analisar a possibilidade de disseminação desses sistemas a outras ETEs brasileiras.

1.3 Justificativa

O saneamento básico apresenta grandes desafios e consta da pauta de prioridades de diversas nações. Tamanha relevância faz com que o tema encontre-se refletido em pelo menos 6 dos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, da Organização das Nações Unidas (ONU), especificamente nos de números 3 (assegurar uma vida saudável e promover o bem-estar para todos), 6 (assegurar a disponibilidade sustentável de água e saneamento), 7 (acesso sustentável à energia limpa), 11 (tornar as cidades sustentáveis), 14 (conservação e uso sustentável dos recursos hídricos) e 15 (proteger, recuperar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres) (UN, 2015).

Dados da ONU apontam que 29% da população mundial – 2,1 bilhões de pessoas – não têm acesso a serviço de água tratada, 844 milhões sequer têm acesso à água potável e 159 milhões de seres humanos coletam águas superficiais contaminadas para consumo (UN, 2019). Entre diferentes regiões as diferenças se acentuam: enquanto apenas 24% da população da África subsaariana têm serviço de água tratada, esses índices chegam a 94% na Europa e América do Norte (UN, 2019).

Os números do esgotamento sanitário também são preocupantes. Apenas 39% da população mundial utiliza sistemas sanitários cujos efluentes são descartados ou tratados corretamente (WHO; UNICEF, 2017), 32% não tem acesso a sistemas eficientes (WHO, 2017) e apenas 9% é atendida por ETEs avançadas, que promovem a remoção de nitrogênio (N) dos resíduos (OECD, 2008). Ainda hoje, 890 milhões de pessoas defecam ao ar livre (UN, 2019).

Os índices brasileiros não destoam da média mundial. Décadas de descaso, falta de planejamento e de políticas públicas de longo prazo fazem com que, em pleno Século XXI 99,2 milhões de brasileiros (47,6% da população) ainda não tenham esgoto coletado e 34,4 milhões (16,5%) sequer tenham acesso a água tratada (BRASIL, 2019; IBGE, 2018).

Do total do esgoto gerado no país, estima-se que 54% não sejam tratados e, portanto, sejam despejados *in natura* principalmente em coleções hídricas, sem se considerar o esgoto que nem é coletado, cujo volume não é sequer conhecido

(BRASIL, 2019). O montante é apenas estimado, já que os dados e indicadores do setor são deficientes e não confiáveis.

Ao lado do fósforo (P), o N presente nas águas residuárias é responsável pela queda de concentração de oxigênio dissolvido e pela eutrofização dos corpos aquáticos, o que resulta na proliferação de algas e na produção de espumas artificiais, causando problemas de odor e sabor, além da mortandade de formas de vidas aquáticas e envenenamento de criações (NASCIMENTO; AGOSTINHO; CAVALCANTI, 2014). Ademais, a falta de saneamento está diretamente relacionada ao aumento de doenças e pobreza, o que torna o assunto importante questão de saúde pública (CAPPS; BENTSEN; RAMÍREZ, 2016; FREEMAN et al., 2017).

Uma consequência óbvia da incorreta disposição do esgotamento sanitário é a poluição e possível contaminação de mananciais e corpos d'água até então potável. Substância primordial à vida, a água doce, já rara na Terra, não tem sido devidamente gerida e milhões de pessoas, atualmente, não a tem facilmente disponível. Mesmo em regiões desenvolvidas essa dificuldade existe, vez que, não raro, a demanda por água tratada supera a oferta do meio ambiente, como acontece, por exemplo, na região do Alto Tietê, que dispõe de 200m^3 de água por habitante⁻¹ por ano⁻¹, muito inferior ao volume de 1.500m^3 , definido como mínimo crítico pela Organização Mundial da Saúde (OMS) (GALLI; ABE, 2017).

Apesar de escasso e tão importante, sabe-se que ainda há regiões brasileiras em que a água potável, que sai das torneiras, não é sequer cobrada. É fato que os consumidores de tais localidades pagam pelo consumo de água mas, nesses casos, o valor desembolsado refere-se tão-somente à contraprestação pelos serviços de captação, tratamento e distribuição, e não à aquisição do bem, em si. A propósito disso, oportuno salientar que alguns estudiosos, a exemplo de Santos (2010, p. 336), advogam pela precificação do bem água, como “um instrumento de gestão e um instrumento econômico a ser aplicado tanto para os usos quantitativos quanto para os usos qualitativos dos recursos hídricos.”

Desafios dessa natureza exigem soluções criativas e, nos últimos anos, têm surgido projetos e experiências bem-sucedidas de aproveitamento econômico dos resíduos que, até então, representavam apenas problemas.

Pesquisas têm desenvolvido sistemas que utilizam o esgoto para a geração de energia, o que passou a despertar o interesse de investidores mundo afora. Dessa forma, além de auxiliar na solução desse importante item de infraestrutura básica,

tem-se conseguido gerar receita capaz de não apenas possibilitar o rápido *payback* do investimento, como também resultar em lucro passível de proporcionar investimentos e melhoria de todo o sistema sanitário, dado que o esgoto – matéria prima para a geração de energia – é de muito baixo custo, se comparado a outras fontes renováveis, conforme demonstra a **Tabela 1**.

Tabela 1: Comparação de biocombustíveis.

Parâmetro	Biocombustíveis			
	Óleo de canola	Bioetanol	Madeira	Lodo de esgoto
Densidade a 15°C (Kg/m ³)	860 – 900	790	150 – 400	130 – 160
Valor calorífico (GJ/m ³)	34	20	3	1,2
Custo (\$/GJ)	16	44	4,0	– 5,6

Fonte: adaptado e traduzido pelo autor, de Milewski et al. (2011).

Há, entretanto, diferentes métodos de aproveitamento energético do esgoto (como geração de energia, aquecimento e abastecimento veicular), o que demanda o conhecimento tanto dos sistemas existentes quanto da estrutura instalada das ETEs, a fim de que se possa avaliar a viabilidade de sua implementação. Portanto, do ponto de vista prático, de pesquisa aplicada, resta inequívoca a utilidade do presente estudo, já a análise de viabilidade de experiências passadas servirá de base ao estudo e ao planejamento de projetos futuro.

De igual forma, não é diferente sua relevância como contribuição acadêmica. Isso porque há lacuna teórica que contemple a análise da estrutura brasileira instalada de tratamento de esgoto, a análise dos sistemas existentes e em funcionamento, de aproveitamento energético por meio de tal resíduo, e a conjunção de ambos panoramas, por meio de uma análise de viabilidade da aplicação desses sistemas às ETEs. Atente-se ao fato de que não estão sendo trabalhados modelos teóricos e hipotéticos de análise, mas sim situações reais, casos de instalações que existem e estão em funcionamento, o que permite observar quais os reais desafios por elas enfrentados, e que possibilita a comparação entre diferentes sistemas e resultados, assegurando-se a fidedignidade dos resultados obtidos.

Trabalhos anteriores, utilizando-se de estimativas de composição de esgoto e de volume gerado, identificaram a viabilidade de sistemas que utilizam biogás para alimentar motores a combustão interna Ciclo Otto (e não microturbinas, ao contrário

de estudos semelhantes (BASRAWI et al., 2017)), mas tão-somente para cidades com população acima de 300.000 habitantes (SANTOS; BARROS; TIAGO FILHO, 2016).

A prática, contudo, sugere outras possibilidades. Em Aarhus, segunda maior cidade dinamarquesa, com cerca de 240 mil habitantes, a ETE Marselisborg é autossuficiente em energia elétrica: o biogás que produz supre suas necessidades e ainda é responsável pela geração de excedente de energia suficiente para captar, tratar e bombear água potável para toda a cidade (KARÁTH, 2016; STATE OF GREEN, 2018). Gu et al. (2017) relacionam mais uma dúzia de ETEs em países como Alemanha, Áustria, Estados Unidos, República Checa, Suíça e Inglaterra, que também são autossuficientes em produção energética.

Todavia, não se conhece estudo que açambarque as variáveis citadas anteriormente com dados reais de operação das ETEs brasileiras, especialmente com relação à realidade nacional, cujas características peculiares impactam nas especificações do esgoto e desempenham importante papel na eficiência de sistemas de geração de energia.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O presente tópico contempla as referências que guiarão a pesquisa, iniciando-se pelo referencial teórico – que norteará a análise final dos resultados levantados – e adentrando-se às especificidades do saneamento básico brasileiro.

2.1 Uma teoria de sustentabilidade

Quando se fala na necessidade de se desenvolverem sociedades sustentáveis, vem a calhar a frase dita pelo então Secretário-Geral da ONU Ban Ki-Moon na Cúpula do Clima de 2014: não existe plano B porque não existe planeta B (UN, 2014).

Não é novidade que a forma com que a sociedade atual explora os recursos naturais não é sustentável, ou seja, as ações de hoje irão, invariavelmente, deixar marcas (pegadas) que serão sentidas anos depois, tornando a sobrevivência das futuras gerações algo consideravelmente difícil. O fato é que não se têm administrado os recursos naturais com o cuidado e o planejamento merecidos.

Percebendo que os recursos terrestres são finitos, muitos autores debruçaram-se no desenvolvimento de teorias sobre tão premente tema, dentre as quais cita-se a de Elkington (1997), que contempla o popular *Triple Bottom Line*, o tripé da sustentabilidade, em que três *players*, representados por três esferas de igual tamanho com partes sobrepostas (economia, sociedade e meio ambiente), convivem harmoniosamente e, dessa forma, garantem o desenvolvimento sustentável da vida terrena, como ilustrado pela **Figura 1**.

Figura 1: Representação gráfica da ideia principal do *Triple Bottom Line*.

Fonte: elaboração própria, com base em conceito de Elkington (1997).

Num mundo perfeito, a solução ideal passaria pelo que Sedlak (2014) chama de *toilet-to-tap* (do sanitário à torneira), a perfeita aplicação do conceito dos 3R da sustentabilidade (reduzir, reutilizar e reciclar) (SCOTT, 2007), em que, num ciclo fechado, o esgoto tratado retornaria às torneiras como água potável, passando infinitamente pelo mesmo ciclo, em *looping*. Mas esse cenário está longe da realidade, por conta de restrições de diversas ordens, como técnica e regulatória, por exemplo.

Assim, a despeito da nobreza da ideologia contida na obra de Elkington, a realidade comprova que aquele modelo de convivência simplesmente não é factível. Diferentes nações, em diferentes estágios de desenvolvimento, têm necessidades e aspirações diversas: antigas nações, para chegarem ao estágio de desenvolvimento em que se encontram, consumiram a maior parte de seus recursos naturais, ao passo que nações mais recentes, ou ainda em desenvolvimento, que começam a experimentar o crescimento econômico, defendem suas ações de devastação, a exemplo do que já fizeram aqueles Estados; afinal, falar em economia de recursos naturais é mais fácil àqueles que deles não necessitam com tanta premência quanto os outros.

Os círculos de Elkington, na prática, não são do mesmo tamanho e nem de igual importância: a experiência tem mostrado, por vezes, que a esfera econômica se sobrepuja às demais. Isso posto, crê-se que insistir no arranjo de um modelo que se mostrou incoerente é perda de tempo, um tempo que não se tem disponível.

Dessa forma, entende-se como fundamental a abordagem do tema sob nova perspectiva. Nesse particular, desponta a teoria do Capitalismo Natural (HAWKEN; LOVINS; LOVINS, 1999; LOVINS; LOVINS; HAWKEN, 1999), na qual os autores propõem, simultaneamente, a proteção à biosfera e a melhoria dos lucros e da competitividade das organizações, o que pode ser atingido por meio de uma série de mudanças simples de como os negócios são conduzidos, a fim de que os recursos naturais tornem-se mais produtivos.

É, literalmente, a união da sustentabilidade ao lucro. Ao invés de se dirigirem as atenções das políticas tão-somente à educação e à conscientização da sociedade sobre a importância da sustentabilidade – algo de suma importância, mas que demora gerações para produzir efeitos, já que se trata de mudar comportamentos e paradigmas enraizados em séculos de maus hábitos – trabalha-se com uma abordagem muito mais pragmática. Tempo, repise-se, é algo de que não se dispõe.

Resumindo, o objetivo é praticar a sustentabilidade não por ideologia ou consciência ambiental, mas porque dá lucro, porque é vantajoso.

Essa teoria conceitua como natural o capitalismo porque considera que o capital natural, dos recursos naturais, é o que deveria ser valorizado apropriadamente, a fim de tornar-se a maior classe de capital (LOVINS; LOVINS; HAWKEN, 1999). A fim de que se atinja esse objetivo, Hawken, Lovins e Lovins (1999) defendem quatro mudanças interligadas nas práticas negociais: aumentar drasticamente a produtividade dos recursos naturais; mudar para modelos de produção biologicamente inspirados; mover para um modelo de negócio baseado em soluções e reinvestir em capital natural.

Dessarte, o presente trabalho propugna a conjunção entre os princípios da redução sustentável do consumo dos recursos naturais (proposta por Scott (2007) e Sedlak (2014)) e do drástico aumento da produtividade de tais recursos (preconizado por Hawken, Lovins e Lovins (1999) e Lovins, Lovins e Hawken (1999)).

Segue-se, portanto, nessa direção porque acredita-se que, à realidade das ETEs brasileiras, é crucial que se trabalhe na mudança do modelo de negócio, de unidade de tratamento de resíduos (e consumo de recursos) para uma biorrefinaria que economize recursos, uma planta que se utiliza de matéria-prima gratuita (esgoto) para gerar subprodutos de valor comercial. Atingem-se, portanto, dois objetivos: a geração de lucro (e economia de recursos) e a preservação do meio ambiente.

E é nesse sentido que caminham as descobertas de Dangelico e Volcalelli (2017), Grebitus, Steiner e Veeman (2016), Naidoo e Gasparatos (2018) e Van Loo et al. (2015), que começam a identificar tendências de mercado para a atenção dos *stakeholders* às iniciativas ambientalmente corretas das empresas, bem como o consumo consciente, em que o destinatário final do produto passa a valorizar marcas que apresentam menor impacto ambiental em suas atividades.

Essa mudança de mentalidade, diga-se de passagem, que entende uma ETE como unidade geradora de valor, e não consumidora de recursos, não é novidade. Em 2002, algumas das instituições de pesquisa mais respeitadas do mundo se uniram na criação da Global Water Research Coalition, uma organização colaborativa, sem fins lucrativos, para pesquisa sobre temas relacionados à água (GLOBAL WATER RESEARCH COALITION, 2019). De seus estudos nasceu um roteiro, de 2010, sobre como se realizar tal transformação de uma ETE, baseado na experiência até então adquirida pela Holanda (STOWA, 2010).

Referido roteiro previa três possibilidades de transformação de uma ETE, com exemplos holandeses: a) em uma fábrica de água para finalidades diversas: água processada (como na ETE Terneuzen), água para alimentar aquecedores (ETE Emmen), água para fins recreativos (ETE Kaatsheuvel) e para irrigação agrícola (ETE Land van Cuijk); b) em fábrica de energia elétrica e térmica, a exemplo das ETEs Apeldoorn, Garmerwolde, Amsterdam-West, Beverwijk e Ede; c) em uma fábrica de nutrientes, por meio da extração e produção de fosfato de cálcio (como na ETE Geestmerambacht), óxido de magnésio, para produção de estruvita (ETEs Steenderen e Olburgen), e produção de fosfatos (SNB tratamento de lodo e ETE Deventer) (STOWA, 2010).

2.2 Saneamento básico no Brasil

Aos olhos da lei pátria, saneamento básico é o conjunto de serviços, infraestrutura e instalações operacionais de abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos e drenagem e manejo de águas pluviais (BRASIL, 2007). Os esgotos são classificados em sanitários e industriais, e o presente trabalho é focado unicamente nos primeiros, cuja composição inclui dejetos humanos (as denominadas águas negras) e efluentes de atividades como banho e lavagens de utensílios e roupas (águas cinzas) (FUNASA, 2015) .

O tratamento de esgoto promove benefícios difusos à população, em termos de qualidade ambiental, o que reclama intervenção direta do Estado, por meio de regulação, a fim de que seja assegurada a universalização do acesso a tão importante serviço (VARGAS, 2005; VON SPERLING, 2007). Com efeito, Soerensen e Marulli (1999) citam dados da OMS de que 80% de todas as doenças dos países em desenvolvimento relacionam-se diretamente à água de má qualidade e à ausência de coleta de esgoto, como cólera, hepatite, poliomielite, leptospirose, dengue e malária, e que soluções simples de tratamento de água e esgoto evitariam boa parte dessas enfermidades. Justamente por isso, Heller, Rezende e Heller (2008) sustentam a necessidade de políticas públicas que deem um enfoque tecnológico apropriado à solução das carências e assimetrias dos serviços de saneamento, solução que não é encontrada na realidade legislativa nacional.

Do ponto de vista institucional, segundo Vargas (2005), a dissolução do Plano Nacional de Saneamento do Brasil (PLANASA) na década de 1980, criado pelo regime

militar para centralizar as ações de saneamento no país, deixou como legado 26 companhias estaduais de saneamento responsáveis por atender quase 70% dos municípios brasileiros. Somente a partir da lei de concessões, em 1995, é que iniciou-se uma tendência de descentralização, quando cerca de 60 municípios firmaram contratos de concessão total ou parcial dos serviços de água e esgoto com entes privados (VARGAS, 2005).

De igual forma, percebe-se assimetria na distribuição da universalização dos serviços públicos pois, conforme dados já mencionados, o saneamento não está ao alcance da população de maneira uniforme.

Outro aspecto importante nesse desequilíbrio é o fato de inexistir padrão nos sistemas de tratamento de esgoto espalhados pelo território nacional. Leoneti (2009) já identificava que não era prática comum, no país, a realização de estudos de avaliação das alternativas tecnológicas passíveis de serem utilizadas no tratamento de esgoto, o que invariavelmente conduzia a falhas no processo de tomada desse tipo de decisão. Esse processo, embora envolva importantes desafios, como o equilíbrio das consequências sociais, econômicas e ambientais do projeto (LEONETI; OLIVEIRA; PIRES, 2013), é algo passível de ser realizado com o apoio de técnicas de tomada de decisão, mediante a análise de estudos integrados de custos, operação e manutenção, a fim de que se consiga determinar a melhor alternativa (OLIVEIRA, 2004).

É importante observar que as análises de indicadores de saneamento realizadas no país são amparadas pelo SNIS, que tabula os dados mais recentes que se têm disponíveis do setor. Esse sistema compila as informações fornecidas pelos próprios prestadores de serviços de água e esgoto, e tais informações não são auditadas, o que obsta um diagnóstico preciso da realidade. Ademais, há vários prestadores, especialmente dentre as entidades municipais, que sequer prestam informações. Referidos dados, portanto, não são precisos, completos e nem absolutamente confiáveis.

2.2.1 Planos e políticas nacionais

Bursztyn e Bursztyn (2012) lembram que o século XX foi marcado pelo aumento da preocupação da sociedade com a questão ambiental. No Brasil, a partir dos anos 1930 o Estado passou a desempenhar um papel de promotor de iniciativas de proteção ambiental: a Constituição de 1934 inovou por estabelecer competência

concorrente entre União e Estados para legislar sobre temas ambientais como subsolo, águas e florestas (BURSZTYN; BURSZTYN, 2012). À Constituição seguiu-se o Código de Águas (Decreto 24.643/34) que discorria, ainda que de forma tímida, sobre algumas questões ambientais como o uso múltiplo das águas, sua contaminação e poluição (BURSZTYN; BURSZTYN, 2012).

Três décadas depois nascia outro marco regulatório, a primeira política nacional, o Plano Nacional de Saneamento (PLANASA), da qual derivaram diversos órgãos, assim descrita por Bursztyn e Bursztyn:

Foi instituída pela Lei 5.318, de 1967, que cria também o Conselho Nacional de Controle da Poluição Ambiental. Esta política tinha como finalidade coordenar as atividades referentes ao abastecimento de água, à destinação de dejetos, aos esgotos pluviais e à drenagem, ao controle da poluição, inclusive do lixo, ao controle de inundações e erosões, dentre outras. A partir de então, as atividades de saneamento foram transferidas ao Ministério do Interior – Minter.

O Serviço Especial de Saúde Pública – SESP, criado em 1942, o Departamento de Obras e Saneamento – DNOS, instituído em 1940, e Departamento Nacional de Endemias Rurais – DENERu, criado em 1956, passaram a ser responsáveis pela execução da política sanitária.

Em 1968, foi criado o Sistema Financeiro de Saneamento – SFS, gerido pelo Banco Nacional de Habitação – BNH. No início dos anos 1970, foi adotado o Plano Nacional de Saneamento – Planasa, que passou a utilizar o instrumento trabalhista Fundo de Garantia do Tempo de Serviço – FGTS como fonte de recursos financeiros. (BURSZTYN; BURSZTYN, 2012, p. 463)

O PLANASA restou por apresentar especial relevância tanto positiva quanto negativa pois, por um lado, ampliava “significativamente os serviços de saneamento, principalmente o abastecimento de água potável à população urbana” mas, em contrapartida, retirava “de uma grande parte dos municípios a gestão de seus serviços de água e esgoto, impedindo a sua estruturação” e deixando as companhias de esgoto endividadas, ao estabelecer tarifas inferiores às suas despesas operacionais (BURSZTYN; BURSZTYN, 2012, p. 464).

Entretanto, regulamentações futuras não mantiveram uma coesão de propósitos, e o que se vê são ações isoladas e descontinuadas, o que demonstra a inexistência de políticas públicas de saneamento de longo prazo.

Um decreto presidencial de 2005 instituiu a chamada “Década Brasileira da Água”, inspirada pela Década Mundial da Água, estabelecida pela ONU, e gestada pela Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei n.º 9.433/97) (MMA, 2006a, 2006b). À época, 12,1% do país não eram cobertos por rede de saneamento (MMA, 2006). Nesse contexto, foi elaborado o Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), que fazia previsões otimistas sobre o cenário brasileiro para 2020 e instituía políticas de

ação, estudos, programas e metas (MMA, 2006b). Todavia, o PNRH, consubstanciado em documento, trazia metas abstratas (como elaboração de documentos, sistemas, programas e subprogramas), mas nenhuma ação concreta e efetiva.

Em 2007, por meio da lei nº 11.445 (BRASIL, 2007), nascia um novo plano, o embrião do Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB), este, sim, prevendo metas específicas e detalhadas, como a universalização do saneamento básico, por meio da redução, até 2015, da metade de habitantes sem acesso a água potável e esgotamento sanitário (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2008). Aperfeiçoado nos cinco anos seguintes, o PLANSAB chegava robustecido, em 172 páginas bem elaboradas, detalhando metas de curto, médio e longo prazos, especificando os investimentos necessários e instituindo programas de saneamento e monitoramento (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2013). No PLANSAB, os cenários otimistas traçados previam que, em 2033, o Brasil estaria crescendo à taxa de 5,5%, com dívida interna em níveis saudáveis e com rede de abastecimento e esgoto finalmente universalizadas (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2013).

Entretanto, estudo realizado nessa época já identificava históricos de falhas de planejamento nas políticas de saneamento, e encontrava evidências de que os investimentos, então realizados, além de pontuais e descontinuados, não eram sustentáveis, fato agravado pela inexistência de delimitação clara das responsabilidades que tocavam a cada um dos entes da Administração Pública (União, Estados e Municípios) (LEONETI; PRADO; OLIVEIRA, 2011).

Em 2017 nova publicação era editada, o Panorama dos Planos Municipais de Saneamento Básico no Brasil, que tinha por escopo subsidiar a formulação dos programas nacionais de saneamento e fortalecer o nascimento de novos planos (BRASIL, 2017). Todavia, a execução não acompanhou o planejamento, e ainda em 2017 o governo reconheceria que não conseguiria cumprir as metas estabelecidas no PLANSAB, de quatro anos antes (ESTADÃO CONTEÚDO, 2017), repetindo os erros que já haviam sido identificados, anos antes, por Leoneti, Prado e Oliveira (2011), relativos à deficiência de planejamento em saneamento básico.

2.3 Esgoto e saúde pública

Isunju et al. (2011) lembram da poluição ambiental decorrente do lançamento de esgoto não tratado nos corpos d'água, o que ocorre especialmente em favelas e habitações não regularizadas, situação que é agravada pela contaminação por

patogênicos e pela redução do oxigênio disponível naquelas coleções hídricas. Recordam também a relação entre saneamento deficiente e prejuízos à saúde, como desnutrição infantil, diarreia, má nutrição e fome, prevalência de casos de HIV e menor expectativa de vida (ISUNJU et al., 2011). A simples provisão de água limpa e saneamento, entende a OMS, poderia reduzir substancialmente as 871.000 mortes anuais (mais de 360 mil crianças de até 5 anos, conforme Prüss-Ustün et al. (2014)) causadas por doenças diarreicas, além de amenizar condições como má-nutrição proteica, verminoses, hepatites A e E, febre tifoide e poliomielite (WHO, 2017b). E isso tem importantes implicações econômicas: a cada dólar investido pela sociedade em água e saneamento, 4,3 dólares são economizados em despesas com saúde pública (WHO, 2014).

As doenças mais frequentes decorrentes do saneamento, constatarem Freeman et al. (2017), consistem também em verminoses, tracoma e esquistossomose. Capps, Bentsen e Ramírez (2016) comentam sobre os efeitos deletérios do lançamento de esgoto em coleções hídricas, especialmente por conta da irrigação de plantações com águas residuárias, como causa de cerca de 2 milhões de mortes e 4 bilhões de incidentes de doenças em 2012.

Em terras nacionais, Ex Ante, Instituto Trata Brasil e Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável (2013) ressaltam que a recorrência de infecções em crianças, jovens e adultos, desencadeadas por conta de falhas no saneamento básico, apresentam consequências tanto imediatas quanto de longo prazo sobre o desempenho escolar, a produtividade no trabalho e nos salários. Foi estimada uma perda de R\$ 1,12 bilhão, em 2012, apenas com horas não trabalhadas em decorrência das doenças ocasionadas por falta de saneamento básico (EX ANTE; INSTITUTO TRATA BRASIL; CEBDS, 2013). De igual forma, o trabalho de Carneiro et al. (2012) contribui para a conclusão de que, a fim de que seja alcançado o desenvolvimento sustentável, é imprescindível a melhora dos indicadores de saneamento básico.

Embora pouco lembrada quando se fala em poluição advinda do esgoto, não deixa de ser relevante a importante contribuição do esgoto na emissão de gases de efeito estufa (GEE): o esgoto é a quinta maior fonte de emissão de metano (CH_4) antropogênico, e a sexta maior em emissão de óxido nitroso (N_2O) (EPA, 2012). Sozinho, o esgoto responde por 3% das emissões totais de GEE e, quando não

tratado, emite 3 vezes mais gases que o resíduo tratado pelas estações convencionais (IEA, 2018).

Sistemas complexos de captação, tratamento e distribuição de água e de captação e tratamento de esgoto demandam altos investimentos, o que significa que as comunidades mais carentes se veem obrigadas a contrair financiamentos para sua implementação. Porém, 87% das nações pesquisadas pela ONU, em 2017, relataram não ter financiamento disponível para atender às expectativas de saneamento nas áreas urbanas, enquanto 90% não são capazes de obter recursos para as áreas rurais (WHO, 2017).

2.4 Aproveitamento energético do esgoto

O esgoto geralmente contém 99,9% de água e 0,1% de sólidos orgânicos e não orgânicos, suspensos e dissolvidos (FUNASA, 2015), dentre os quais matéria não tóxica e também componentes tóxicos (RULKENS, 2008; VON SPERLING, 2007), podendo incluir tanto drogas lícitas (LEES et al., 2016) como antibióticos (LIMA GOMES et al., 2015; NOVO et al., 2013; SEGURA et al., 2015) e anti-hipertensivos (SUBEDI et al., 2017), quanto ilícitas (PEREIRA et al., 2016; YADAV et al., 2017), e até hormônios relacionados à causa da obesidade (PONTELLI; NUNES; OLIVEIRA, 2016).

Ao mesmo tempo em que representa um risco à saúde pública e um desafio às grandes cidades, o esgoto mostra-se versátil como matéria-prima para a produção de energia. Essa versatilidade é lembrada por Rulkens (2008), que observa que, por meio de diferentes técnicas químicas, térmicas, mecânicas ou biológicas, o esgoto é capaz de se transformar em calor, energia, biocombustível, material de construção, hidrogênio (H), acetona, butanol ou etanol. Desta forma, os subprodutos do tratamento do esgoto são capazes de reduzir o custo operacional das ETEs e sua emissão de carbono, possibilitando ainda a obtenção de nova fonte de renda, tanto com os créditos de carbono quanto com a possível recuperação de nutrientes de valor comercial (UN, 2017).

A literatura relata uma série de diferentes técnicas e tecnologias utilizadas para recuperação energética por meio do esgoto. Entretanto, por questões práticas, a presente pesquisa aborda com mais detalhes tão-somente a geração de energia elétrica e a produção de biometano, obtidos por meio dos métodos mais pesquisados,

comprovadamente eficientes e disponíveis comercialmente, que são descritos a seguir.

2.4.1 Digestão anaeróbia

A digestão anaeróbia é certamente o processo mais difundido e comum de aproveitamento energético, e compreende tanto a biodigestão anaeróbia do esgoto quanto a biodigestão de lodo. Análise bibliométrica anterior já identificava a DA como o sistema mais popular de tratamento de esgoto, representando 3,2% de um total de 8969 publicações sobre lodo de esgoto obtidas entre 1991 e 2012 (LI et al., 2016).

DA é um processo de estabilização biológica que ocorre na ausência de oxigênio, pelo qual a matéria orgânica é degradada e convertida em substâncias como CH_4 e dióxido de carbono (CO_2), dentre outras, e é composto pelas etapas de hidrólise, acidogênese (ou fermentação ou oxidação anaeróbia), acetogênese e metanogênese (CHERNICHARO, 2007; INC. METCALF & EDDY et al., 2014; SALOMON; LORA, 2005).

A DA completa gera biogás, composto tipicamente por dois terços de CH_4 (BHARATHIRAJA et al., 2016), ao passo que sua interrupção, ao final dos dois primeiros processos (hidrólise e acidogênese), compõe a chamada *dark fermentation* (DF), uma técnica em que inibe-se o crescimento dos organismos metanogênicos, que consomem H_2 , justamente para que esse subproduto (H_2) seja aproveitado (BHARATHIRAJA et al., 2016; PEIXOTO et al., 2012). Ainda incipiente, a DF tem sido objeto de estudos que visam aumentar sua viabilidade, especialmente por meio do desenvolvimento de configurações inovadoras de reatores (GOMES et al., 2015), e na combinação com outros processos, como a fotofermentação, que permite a obtenção de outros subprodutos além do hidrogênio, como os ácidos graxos voláteis (GHIMIRE et al., 2015).

Em ambientes herméticos é possível que se recupere o biogás gerado pela DA, o que significa evitar-se a emissão de consideráveis quantidades de GEE na atmosfera (BILOTTA; ROSS, 2016; LIU et al., 2015; RAIMUNDO et al., 2017). A propósito, dos tratamentos analisados por Piippo, Lauronen, Postila (2018), a DA foi o processo que menos dispersou GEE ao ambiente (como CO_2 , CH_4 e N_2O , medidos como equivalentes de CO_2).

Contudo, o biogás colhido pode sofrer perda de eficiência energética, vez que é comum haver grandes variações de concentração nos gases que o compõem, como

CH₄ (variação 48 e 65%), CO₂ (36 a 41%) e N (<1 a 17%), o que influencia no destino a ser dado para o biogás (RASI; VEIJANEN; RINTALA, 2007).

Pode-se afirmar que a DA tradicional é pouco eficiente por apresentar baixa biodegradabilidade, por não inativar totalmente os elementos patogênicos e por produzir pouca quantidade de biogás (LIZAMA et al., 2017), do que exsurge a necessidade de se investir em pesquisa e desenvolvimento (P&D) de inovações como a obtenção de bactérias geneticamente modificadas ou a remoção mais eficiente de CO₂ do CH₄, por exemplo, a fim de que a tecnologia possa se tornar mais atrativa (BUDZIANOWSKI, 2016).

Como exemplo, pode-se citar a obtenção de até 31% a mais na concentração de CH₄ no biogás, com até 10% de aumento nos lucros da comercialização da eletricidade, ante o simples fato de se implementarem pré-tratamentos à DA, em condições mecânicas e de temperatura específicas (RUFFINO et al., 2015). Outro processo, pesquisado por Shen et al. (2015), garante produzir biometano de padrão comercial final diretamente da DA por meio da purificação do gás via biocarvão de palha de milho, com concentração de CH₄ superior a 90% e sulfeto de hidrogênio (H₂S) inferior a 5ppb.

A melhoria da eficiência energética da DA ainda pode ser obtida por meio da integração de novas tecnologias ou ainda da modificação de outros processos auxiliares de tratamento.

Uma dessas tecnologias é a utilização de sistemas mecânicos como o ultrassom (GIL et al., 2018), que desintegra o excesso de lodo, destrói alguns microrganismos e facilita a DA (ZHU et al., 2018; ZIELEWICZ, 2016), aumentando de 31 a 36% a produção de biogás (LIZAMA et al., 2017; SHEHU; ABDUL MANAN; WAN ALWI, 2012) e diminuindo o tempo necessário à retenção hidráulica do biodigestor (SHEHU; ABDUL MANAN; WAN ALWI, 2012; ZHU et al., 2018). Também registram-se tecnologias eletromagnéticas, como as micro-ondas (HE et al., 2011; ZHANG et al., 2009)), térmicas, químicas (como a ozonização (TIAN et al., 2015)) e biológicas (ZHEN et al., 2017).

Por outro lado, o sistema também tem limitações, e as mais comuns são: a grande quantidade de CH₄ gasoso que permanece dissolvido no líquido digerido, que acaba sendo desperdiçada; a conexão irregular de águas pluviais ao sistema de esgotamento, que causa grande diluição do sistema e declínio de produção de biogás;

a falta da correta medição, nos reatores, da quantidade efetiva de biogás produzida e da análise de sua composição (CHERNICHARO et al., 2015).

Sistemas de DA são combinados a outros procedimentos (além das lagoas comumente utilizadas), como a de *wetlands* construídos (LU; PEI; BAI, 2015), o sistema anaeróbio-anóxico-óxico, denominado ANANOX[®] (GARUTI; DOHANYOS; TILCHE, 1992), a tecnologia de lodo aeróbio granulado, Nereda[®] (FRANCA et al., 2018; PRONK et al., 2017) e a oxidação anaeróbia da amônia, ou Anammox (WINKLER; KLEEREBEZEM; VAN LOOSDRECHT, 2012), com a finalidade de aumentar sua eficiência na geração de biogás, e também para a remoção de nutrientes e microrganismos patogênicos, bem como para permitir a recuperação de elementos de valor comercial.

2.4.1.1 Aproveitamento do biogás

O biogás gerado pela DA era simplesmente queimado por meio de *flares* em sua saída, até que foram desenvolvidas tecnologias de seu aproveitamento como fonte de energia térmica e elétrica. Pfeiffer e Thrän (2018) lembram que os primeiros digestores anaeróbios de larga escala foram desenvolvidos pelo professor Karl Imhoff na Alemanha, ainda nas décadas de 1910 e 1920, quando, inclusive, iniciou-se a distribuição dos excedentes de biogás coletados nas ETEs para o sistema urbano de gás, utilizado para produção de calor e eletricidade (em Essen, ano de 1927).

Além da variação da concentração dos componentes do biogás, como já mencionado, as mudanças climáticas das estações do ano contribuem para a variabilidade na quantidade do subproduto gerado, o que impacta a economia do sistema e reclama a adoção de melhores e mais produtivas técnicas aproveitamento (BASRAWI et al., 2017; SUNG; KIM; KIM, 2017). Nesse sentido, surgem novas formas de utilização do combustível, com destaque para a microturbina movida a biogás que, funcionando no chamado Ciclo Rankine, atua no aquecimento do biodigestor utilizando o calor existente no próprio gás de exaustão (SUNG; KIM; KIM, 2017), ou mesmo funcionando acoplada diretamente a sistema gerador de energia elétrica (BASRAWI et al., 2012, 2017).

A produção de biogás pela DA tem sido adotada mundialmente, tanto em pequena escala (principalmente em digestores instalados em propriedades rurais) quanto em sistemas de larga escala, em países desenvolvidos ou em desenvolvimento (VASCO-CORREA et al., 2018). A viabilidade da DA, reconhecem

Vasco-Correa et al. (2018), depende de uma série de fatores, como limitações técnicas, disponibilidade de matéria-prima e razões econômicas e, por não ser uma tecnologia barata, afirmam ser fundamental o estabelecimento de regulamentações e políticas públicas de incentivo à utilização de biogás.

No Brasil, uma ação de incentivo à utilização de biogás que merece destaque, por ter trazido vasta contribuição ao país, é o Projeto Brasil-Alemanha de Fomento ao Aproveitamento Energético de Biogás no Brasil (PROBIOGÁS), que nasceu da cooperação técnica entre os governos brasileiro e alemão, com o objetivo de contribuir para o fortalecimento do mercado de biogás por meio de três linhas de atividade: atuando junto a órgãos governamentais, a fim de melhorar as condições regulatórias do setor; cooperando cientificamente, por meio da aproximação de instituições de ensino e pesquisa dos dois países; fomentando a indústria brasileira para a produção de tecnologia localmente e capacitando profissionais em diversos níveis (MINISTÉRIO DAS CIDADES et al., 2016).

O PROBIOGÁS foi a primeira iniciativa nacional a fortalecer o biogás como fonte renovável de energia, considerando a geração distribuída, o reaproveitamento de subprodutos e a maior eficiência de processos, especialmente no setor de saneamento (MOREIRA, 2017). Esse projeto proporcionou uma injeção de conhecimentos e iniciativas que transformaram significativamente o cenário de aproveitamento energético de biogás em ETEs brasileiras produzindo, dentre outros frutos, a elaboração de vários estudos, como o Guia de Aproveitamento Energético de Biogás de ETEs, o Estudo de Viabilidade técnico-econômica de produção de energia elétrica em ETEs a partir do Biogás e o Guia Técnico sobre geração distribuída de energia elétrica por biogás em ETEs (MOREIRA, 2017). Houve, ainda, a condução do Projeto Nacional de Medição de Biogás em Reatores Anaeróbios, bem como a realização de eventos técnicos, oficinas, visitas técnicas, cursos para projetistas, treinamento de multiplicadores, publicações, apoios a projetos de referência e parcerias, totalizando 1,8 mil pessoas capacitadas sobre o tema, ao longo de quatro anos (MOREIRA, 2017).

Boa parte do conhecimento produzido pelo PROBIOGÁS pode ser acessada gratuitamente pela Internet, no sítio <http://www.cidades.gov.br/saneamento-cidades/probiogas/publicacoes/publicacoes-do-probiogas>.

Merecem registro, também, algumas iniciativas estaduais específicas de fomento à produção e consumo do biometano. Ainda que referidas normas careçam

de regulamentação, pode-se considerá-las avanços regulatórios. É o caso, por exemplo: a) da lei n.º 6.361/2012, do Estado do Rio de Janeiro, que criou a Política Estadual de Gás Natural Renovável, assim chamado o gás resultante do processo de purificação do biogás, oriundo de biodigestão anaeróbia de resíduos orgânicos, que previa o aumento da participação do biocombustível de gás na matriz energética estadual, obrigando as concessionárias de distribuição a adquirirem o gás renovável até o limite de 10% do volume convencional (RIO DE JANEIRO, 2012); b) do decreto paulista n.º 59.038/2013, que estimula a utilização, por órgãos da administração, de biogás e biometano, quando seu fornecimento for garantido em quantidade e preços compatíveis (SÃO PAULO, 2013); c) da lei paranaense n.º 19.500/2018, que institui a Política Estadual do Biogás, do Biometano e demais produtos, e prevê o fomento do consumo de biogás e biometano por meio de uma série de medidas, como a adição de percentual em gás canalizado, a aquisição de energia gerada a partir do biogás, a aquisição de biometano para abastecimento de frota oficial, a aquisição de certificados de descarbonização e a criação de linhas de financiamento em agências estaduais (PARANÁ, 2018).

2.4.2 Energia hidrelétrica

Uma tecnologia relativamente simples permite utilizar o potencial hidráulico das instalações de esgoto para a geração de energia. É possível que as tubulações que conduzem esgoto à ETE contem com elevada pressão e, nesses casos, o sistema apresenta grande potencial de geração de energia (CASINI, 2015; UCHIYAMA et al., 2016), passível de ser colhida sem a necessidade de realização de obras civis dispendiosas, apenas com adaptações em plantas já existentes (CHOULOT; DENIS; PUNYS, 2012; DA SILVA et al., 2011), mormente quando utilizados sistemas de micro usinas hidrelétricas (CHAE et al., 2015). Os sistemas de geração de energia podem ser externos ou internos, sendo esses últimos caracterizados pela total imersão das turbinas na tubulação, mantendo-se apenas o gerador do lado externo (CASINI, 2015).

Essa tecnologia não é recente. Na Suíça, um sistema com capacidade de geração de 700 kW funciona na cidade de Le Châble desde 1992 (WATER & WASTEWATER INTERNATIONAL, 2018) e, atualmente, seis ETEs suíças geram 3,5 GWh de energia hidrelétrica advinda do esgoto anualmente, embora o país tenha potencial para atingir 9.3 GWh (BOUSQUET et al., 2017). Há plantas instaladas em

cidades de países como Austrália, França, Jordânia (WATER & WASTEWATER INTERNATIONAL, 2018) e Índia (INGRAM, 2015). Em Sydney, Austrália, uma das três usinas existentes, instalada ao custo de US\$ 124 milhões, tem capacidade de geração de 4,5 MW (PATEL, 2010). Na planta de Nova Deli, Índia, as turbinas instaladas em tubulações com queda de apenas 4,8m geram 20 MW anualmente (INGRAM, 2015).

Essa técnica não é aplicável a sistemas em que não haja diferença de potencial hidráulico suficiente, já que a capacidade de geração fica submetida à variação do fluxo de esgoto recebido (CHAE et al., 2015).

Uma importante vantagem desse sistema é possibilitar a geração de energia por meio do esgoto sem qualquer alteração na essência desse resíduo, que pode ser objeto de transformação subsequente através de outros sistemas. Isso significa que há possibilidade de se trabalhar em sistema de cogeração, em que a geração de energia por meio de potencial hidráulico seja combinada com a produção de biogás em digestores anaeróbios, por exemplo. Uma desvantagem notada é o custo de manutenção do sistema, vez que a presença de sólidos nos dejetos que movimentam a turbina contribui para a diminuição de sua vida útil.

2.4.3 Demais tecnologias

Há, ainda, diferentes tecnologias que possibilitam o aproveitamento energético do esgoto diretamente ou por meio da obtenção de subprodutos. Porém, embora referidas técnicas não estejam disponíveis comercialmente, em larga escala, merecem registro, como: a) as células de combustível microbiano, em que determinadas bactérias, como as das famílias *Rhodospirillum rubrum* e *Geobacteraceae*, ao realizar sua respiração, oxidam compostos orgânicos e produzem correntes elétricas, que podem ser captadas por eletrodos (BOND; LOVLEY, 2003; HOLMES et al., 2004), restando CO₂ e água (GRZEBYK; POŻNIAK, 2005); b) o gás de síntese, resultado da pirólise (RAMOS et al., 2018); c) o biohidrogênio, obtido mediante processos diversos (AZWAR; HUSSAIN; ABDUL-WAHAB, 2014; SANTOS; BARROS; TIAGO FILHO, 2016); d) o biodiesel produzido por meio de algas cultivadas em lagoas de estabilização (DEMIRBAS; FATIH DEMIRBAS, 2011), por pirólise (CAPODAGLIO; CALLEGARI, 2017) ou por meio de lipídios catalisados por ácido de Brønsted (OLKIEWICZ et al., 2016); e) os gases combustíveis obtidos por meio de diferentes processos de gaseificação (BALGARANOVA, 2003; LUMLEY et al., 2014;

PANICKER; MAGID, 2016); f) o biocarvão, resultado da queima do lodo do esgoto (HERNÁNDEZ; OKONTA; FREEMAN, 2017); g) o bio-óleo e o biogás obtidos por pirólise do esgoto (PEDROZA et al., 2017).

2.5 Características nacionais que motivam a opção pela tecnologia de DA como base para o estudo

A presente pesquisa enfocará especificamente o biogás gerado por meio da DA do esgoto e do lodo de esgoto, em virtude das características peculiares da realidade brasileira. O Brasil se diferencia, por exemplo, de países do hemisfério norte, de onde provém grande parte da literatura da área, e tais diferenças influenciam nos processos de obtenção de energia.

Mudanças ambientais podem afetar os processos anaeróbios de decomposição, resultando em diminuição de desempenho e produção de biogás, acúmulo de ácidos graxos voláteis e queda de pH (LEITAO et al., 2006). Pequenas variações de temperatura, a propósito, também influenciam a eficiência da DA (NIELSEN et al., 2017), que é muito lenta a temperaturas inferiores a 10° C e mais rápida em ambientes mais quentes, o que torna referida tecnologia atrativa a países de clima tropical (ARUNDEL, 2000).

Dentre as particularidades que se refletem nas características do resíduo estão o clima (ARUNDEL, 2000; BASSANI; KOUGIAS; ANGELIDAKI, 2016; LIU et al., 2015), as condições socioeconômicas da população (CAMPOS; VON SPERLING, 1996) e até o tempo em que o esgoto permanece durante o transporte e o armazenamento que precedem o tratamento (KAIJUN; ZEEMAN; LETTINGA, 1995). Sabe-se, por exemplo, que os sistemas de esgotamento sanitário de países em desenvolvimento têm concentração de poluentes muito maior que a dos países desenvolvidos (VON SPERLING; CHERNICHARO, 2002).

Outras características, como tipo de sistema (isolado ou combinado com águas pluviais), hábitos da população, regime de chuvas e consumo de água, por exemplo, também são variáveis capazes de influenciar a composição do esgoto (LIU et al., 2015; VON SPERLING, 2007).

O principal indicador do potencial poluidor de um efluente, como o esgoto, é a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), que indica a quantidade de oxigênio necessária à estabilização da matéria orgânica carbonácea (VON SPERLING, 2006).

Para que se tenha noção da variação da DBO conforme as características de cada localidade, trazem-se, na **Tabela 2**, dados comparativos de diferentes países.

Tabela 2: Países, carga orgânica de esgoto bruto e indicadores¹.

País (cidade)	DBO ₅ (mg/l ⁻¹)	Posição no Índice de Prosperidade ² 2017	PIB per capita ³ (US\$)	Consumo anual de água per capita (m ³)
Suécia (N/d)	55,5 – 237,4	5 ^a	51.300	287
Taiwan (N/d)	57 – 103	N/d	49.800	N/d
Colômbia (diversas)	166 – 430	66 ^a	14.500	N/d
Noruega (N/d)	174 – 360	1 ^a	70.600	69,35
EUA (San Diego)	184	18 ^a	59.500	1.583
Índia (N/d)	196,87 – 248,9	100 ^a	7.200	6,5 - 65,88
Finlândia (N/d)	203,1 – 211,9	3 ^a	44.000	46,72
Israel (Galileia)	300 – 500	38 ^a	36.200	176
Dinamarca (N/d)	316 - 405	7 ^a	49.600	117
Irlanda (N/d)	768	12 ^a	72.600	167
Jordânia (Amã)	770	92 ^a	12.500	33,21

Fonte: elaboração própria com dados de: Carreño Sayago; Hernández Escolar; Méndez Sayago (2011); CIA (2018); Chen et al. (2006); Jenssen et al. (2010); Kayranli et al. (2010); Legatum Institute (2017); Ministry of Water & Irrigation (2015); OECD (2016); Pescod (1992); Seinäjoen Vesi (2018); Shaban; Sharma (2007); Statistisk Sentralbyrå (2018); Tyagi et al. (2008); Valipour; Kalyan Raman; Ghole (2009); Zhou; Green; Shaviv (2003).

Para fins de contextualização, importante afirmar que a média anual de consumo de água per capita, no planeta, é de 1.385m³, enquanto as médias nacionais de países como Estados Unidos, China e Índia correspondem a 2.842m³, 1.071m³ e 1.089m³, respectivamente (HOEKSTRA; MEKONNEN, 2012). Nesse cenário, o Brasil desponta como o quarto maior consumidor mundial de água, atrás de China, Índia e Estados Unidos, bem como o quarto maior “exportador virtual” de água, ou seja, o quarto país cujos produtos exportados consumiram mais água para serem produzidos (HOEKSTRA; MEKONNEN, 2012).

No Brasil, são geradas 9.098t DBO por dia, dos quais 5.590t são coletadas e 3.935t tratadas, remanescendo no sistema uma carga de 5.516t DBO por dia, que é lançada em coleções hídricas (ANA, 2017). Setenta por cento dos 5.570 municípios brasileiros contam com ETEs que removem, no máximo, 30% da carga orgânica gerada (muito abaixo do mínimo de 60% exigido pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA (CONAMA, 2011)), enquanto apenas 31 dos 100 municípios

¹ N/d: dados não disponíveis.

² Legatum Institute (2017).

³ CIA (2018).

mais populosos removem acima de 60% de DBO (ANA, 2017). A carga orgânica gerada, por região geográfica no país, é representada pela **Tabela 3**.

Tabela 3 – Carga orgânica gerada por região geográfica no Brasil.

Região	Carga total gerada (t DBO / dia)	Distribuição da carga gerada (t DBO / dia)				Carga remanescente (t DBO / dia)
		Coletada e tratada	Fossa séptica	Coletada e não tratada	Não coletada nem tratada	
Norte	684	79	149	27	429	541
Nordeste	2.204	711	338	245	910	1.602
Sudeste	4.174	2.261	189	1.195	528	2.290
Sul	1.319	532	322	176	289	707
Centro-oeste	717	352	101	12	253	376
Brasil	9.098	3.935	1.099	1.655	2.409	5.516

Fonte: ANA (2017, p. 40).

2.5.1 Digestão anaeróbia direta e sistema de lodos ativados

Dois grandes grupos de tecnologias de DA apresentam-se mais viáveis e frequentes no Brasil: a anaeróbia direta, que recebe os efluentes diretamente para digestão, e a conjunção entre aeróbia (para geração de lodos ativados) e anaeróbia (para a digestão desses lodos). Já o sistema de lagoas anaeróbias, embora também produza biogás, não permite sua captação de maneira viável, já que as lagoas constituem-se em extensas áreas abertas.

Em se tratando de sistemas de tratamento de esgoto, não existe um padrão seguido pelas ETEs nacionais, conforme se observa de levantamento realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), compilado na **Tabela 4**.

Tabela 4: Tipos de tratamento oferecidos pelas ETEs brasileiras.

Tipo de tratamento	Quantidade de municípios em que está presente	Percentual de municípios que têm o tratamento (do total de 5.564 pesquisados)
Fossa séptica	20	0,36%
Lodo ativado	27	0,49%
Lagoa mista	65	1,17%
Lagoa aerada	93	1,67%
<i>Wetland</i>	109	1,96%
Outros	129	2,32%
Lagoa aeróbia	131	2,35%
Reator anaeróbio	188	3,38%
Lagoa de maturação	238	4,28%
Filtro biológico	317	5,70%
Lagoa anaeróbia	431	7,75%
Valo de oxidação	565	10,15%
Lagoa facultativa	672	12,08%

Fonte: adaptado de IBGE (2010).

Todavia, apesar de tal assimetria, o fato é que em diversas ETEs são utilizados tratamentos anaeróbios que resultam na produção de biogás. Na realidade, há predominância de tratamento anaeróbio e de sistemas de lodos ativados nas estações de tratamento nacionais (SANTOS; BARROS; TIAGO FILHO, 2016).

Isso foi objeto de estudo de Chernicharo et al. (2018), que inventariaram 1.667 ETEs nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste do país e concluíram que os lodos ativados, os reatores anaeróbios de fluxo ascendente (*upflow anaerobic sludge blanket* – UASB) e as lagoas de estabilização totalizam 90% das ETEs implantadas, e são responsáveis por 81% da capacidade instalada de tratamento, distribuídos em municípios de diferentes tamanhos, como exposto na **Tabela 5**.

Tabela 5: Distribuição dos tipos de tratamento mais comuns conforme a população dos municípios.

Habitantes	Lagoas de estabilização	Reatores UASB	Lodos ativados	Tratamento preliminar e disposição oceânica
< 10.000	47%	36%	11%	
10.000 a 100.000	29%	52%	18%	
> 100.000		22%	44%	26%

Fonte: adaptado de Chernicharo et al. (2018).

Os próprios pesquisadores do mencionado estudo consideram que o fato de existir expressivo número de reatores UASB instalados (658), com relevante capacidade de tratamento (para 21,9 milhões de habitantes), representa grande potencial inexplorado de aproveitamento energético no país, especialmente face à rápida expansão tecnológica do setor (CHERNICHARO et al., 2018).

Relativamente aos lodos ativados, importante observar que, embora comum em boa parte das ETEs brasileiras, esse sistema recebe críticas principalmente por conta da aeração necessária à etapa aeróbia (*bubbling*), o que consome pelo menos 50% da energia utilizada num sistema de tratamento de esgoto (PANEPINTO et al., 2016), além de que desperdiçaria importante capacidade energética presente na porção orgânica do líquido (MCCARTY; BAE; KIM, 2011). Nesse sentido, McCarty, Bae e Kim (2011) sugerem, como alternativa, a utilização de um segundo reator anaeróbio, de forma a receber exclusivamente a porção líquida advinda do sistema preliminar. Ambos reatores anaeróbios, portanto, trabalhariam na cogeração de biogás, com potencial de geração de CH₄ de quase 100% (MCCARTY; BAE; KIM, 2011).

Com efeito, estudo anterior realizado no Brasil identificou que a configuração mais vantajosa para geração de biogás em ETEs nacionais foi o sistema UASB combinado com lodo ativado, utilizando-se o biogás para a produção de energia elétrica (BRASIL, 2017b). Embora tenha um investimento inicial mais baixo que outras tecnologias, as soluções que exigem aeração prolongada que não contemplam a utilização de tecnologias anaeróbias são bem mais caras quando somados seus custos operacionais e a necessidade de disposição final de lodo (BRASIL, 2017b).

O fato é que, conforme mencionado, há predominância de sistemas anaeróbios e de lodos ativados em ETEs nacionais, e eles serão tomados por base como fonte de produção de biogás proveniente do esgoto, e do lodo do esgoto, no presente trabalho. Assim, o estudo contemplará a viabilidade sistemas de aproveitamento energético, implantados e em funcionamento, em ETEs que já dispõem de geração de biogás por meio da DA.

2.6 Dois usos para o biogás

A despeito da versatilidade do biogás como fonte de energia, optou-se por focar em duas de suas principais utilidades, a queima direta para geração de energia e a produção de biometano, que são mais frequentes em sistemas de DA no mundo e também no Brasil. Elas são analisadas no presente estudo.

2.6.1 Biogás para geração de energia elétrica

O biogás proveniente da DA do esgoto (na forma de biogás ou biometano), devido a seu alto poder calorífico, é capaz de servir como combustível para o consumo de conjuntos geradores de energia elétrica. A eletricidade gerada traz vantagens econômicas à planta de produção, tanto por reduzir a necessidade de aquisição de energia de fornecedor externo, no caso de consumo próprio da energia gerada, quanto pela possibilidade de geração de receita, caso exista excedente que possa ser compensado ou comercializado ao *grid* energético.

A compensação do excedente gerado no país se tornou factível após a edição de resolução da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que simplificou a regulamentação de centrais geradoras elétricas de até 5MW (ANEEL, 2012). Já a comercialização de energia passou a ser possível graças à criação do Ambiente de Contratação Livre, ou Mercado Livre de Energia, que prevê as figuras dos

consumidores livres e produtores independentes de energia, que têm livre acesso aos sistemas de distribuição e transmissão, mediante pagamento pelo transporte (ANEEL, 2006; BRASIL, 2003, 2010). A operacionalização de referido mercado ficou a cargo da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE).

Os regulamentos do setor permitem que os consumidores com demanda acima de 0,5MW migrem para o sistema, que possui incentivos em virtude do caráter renovável das fontes energéticas, aí incluso o biogás (ANEEL, 2006; BRASIL, 2003, 2010). Em 2016, o Mercado Livre de Energia brasileiro respondeu por 123.696 GWh, ou seja, 26,84% de toda a eletricidade consumida no país (EPE, 2017).

2.6.2 Biometano para abastecimento ou comercialização

Biometano é o biogás purificado, do qual são removidos vapor de água, CO₂, H₂S e siloxanos (compostos de sílica). Esse tratamento confere ao biometano alto poder calorífico e comportamento semelhante ao gás natural veicular (GNV), o que possibilita sua utilização como combustível em substituição ao próprio GNV (CHERNICHARO et al., 2015; MIKI, 2018), desde que respeitadas algumas características regulatórias (ANP, 2017).

Assim como na hipótese de geração de energia, a produção de biometano pode servir tanto ao abastecimento de grupos geradores como ao abastecimento de veículos (leves ou pesados) da própria companhia de tratamento, que possuam motor adaptado para funcionar com GNV. E, de igual forma, pode haver a possibilidade de comercialização de excedentes de biometano, o que já ocorre, há várias décadas, em alguns países.

De fato, resultado de estudo realizado pelo PROBIOGÁS detalha que o biometano, como combustível, pode ser utilizado sob duas formas, como biometano comprimido (*compressed biomethane* – BMC) ou biometano liquefeito (*liquefied biomethane*, BML), e registra diversos *cases* de sua distribuição sob três diferentes formas: a alimentação de biometano à rede de gás natural (GN), a comercialização em postos de abastecimento e o engarrafamento em cilindros e transporte em caminhões (BRASIL; GIZ; BECHER, 2016). Dentre os *cases* analisados, a obra cita, como exemplo de comercialização em postos de abastecimento instalados em usinas de biogás, a cidade sueca de Eskilstuna, que desde 2002 possui um posto, utilizando lodo de esgoto, resíduos orgânicos e de alimentos para produção do biometano; quando a produção excede o consumo, o combustível é vendido a uma

concessionária de gás (BRASIL; GIZ; BECHER, 2016). Já relativamente ao fornecimento de biometano ao *grid* de GN, ou ao armazenamento em cavernas, cita-se como exemplo a cidade de Pucking, na Áustria, que desde 2005 injeta biometano, proveniente da criação de animais, na rede de GN (BRASIL; GIZ; BECHER, 2016).

O estudo resultante do PROBIOGÁS também menciona a necessidade de incentivo à utilização do combustível renovável, e cita uma série de iniciativas de países europeus nesse sentido, como o fomento à utilização de biometano no transporte público, ou a regulamentação alemã, que divide a responsabilidade pelos investimentos de injeção de biometano na rede de GN pública entre operador (que arca com 75% das despesas) e a empresa que produz o biometano (25%). Subsídios, isenções fiscais e vários projetos nesse sentido são identificados em países como Alemanha, Áustria, Suíça, Holanda e Suécia.

No Brasil, o primeiro – porém relevante – passo está sendo dado nesse sentido. Por aqui, destaca-se a Política Nacional de Biocombustíveis (RENOVABIO), que prevê ações de atendimento aos compromissos assumidos pelo país no Acordo de Paris, quando da Convenção das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. O RENOVABIO não conceitua o termo biocombustível, o que reclama a interpretação de outras normas, como da Lei de Política Energética Nacional (Lei nº 9.478/97), que prevê:

Art. 6º Para os fins desta Lei e de sua regulamentação, ficam estabelecidas as seguintes definições:

[...]

XXIV - Biocombustível: substância derivada de biomassa renovável, tal como biodiesel, etanol e outras substâncias estabelecidas em regulamento da ANP, que pode ser empregada diretamente ou mediante alterações em motores a combustão interna ou para outro tipo de geração de energia, podendo substituir parcial ou totalmente combustíveis de origem fóssil; (BRASIL, 1997)

A Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), por sua vez, considera um tipo de biocombustível o biometano, “oriundo de aterros sanitários e estações de tratamento de esgoto” (ANP, 2017).

No dia 15 de março de 2018 foi regulamentado o RENOVABIO, por meio de decreto presidencial que, dentre outras providências, estabeleceu que o Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) deveria definir as metas compulsórias de redução de emissão de GEE, e instituiu o Comitê RENOVABIO, responsável por monitorar o mercado de biocombustíveis e de créditos de descarbonização (BRASIL,

2018). Tais metas foram definidas para um período de dez anos por meio de Resolução editada em 2018 (CNPE, 2018).

Destaque como iniciativa de descarbonização do setor de transporte, citado em relatório da International Energy Agency (IEA, 2018), o RENOVBIO também viabiliza a captação de investimento externo: quando da realização da Conferência da ONU sobre Mudança do Clima (COP23), ocorrida na Alemanha em 2017, Alemanha, Espanha, Comunidade Europeia e o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), da ONU, anunciaram investimentos de mais de € 37 milhões aos planos nacionais dos países para redução das emissões de GEE (PNUD, 2017). Recentemente, o Banco Regional de Desenvolvimento do Extremo Sul (BRDE) anunciou a captação de € 50 milhões da Agência Francesa de Desenvolvimento para o financiamento de projetos sustentáveis na região sul do Brasil, como os de energias limpas e renováveis (AGÊNCIA DE NOTÍCIAS DO PARANÁ, 2018).

3 METODOLOGIA

A presente pesquisa possui natureza tanto quantitativa quanto qualitativa (COOPER; SCHINDLER, 2014), esta caracterizada por Corbin e Strauss (2008) como uma espécie de pesquisa que produza resultados não alcançados através de procedimentos estatísticos ou de outros meios quantificáveis. Isso porque há coleta estatística de dados de companhias que fazem o aproveitamento energético do esgoto, realizada em amostra de grande representatividade da população total, bem como há coleta e análise de informações não quantificáveis, acerca dos detalhes de diferentes formas de produção e utilização de energia.

Ademais, esta pesquisa tem natureza aplicada, pois propõe-se a estudar soluções para problemas reais de sustentabilidade, provendo subsídios para fins práticos (CERVO; BERVIAN, 2002). Ela foi conduzida de forma a revelar respostas a questões específicas relacionadas à viabilidade da adoção de sistemas produtores de energia em ETEs, segundo preceitos de Cooper e Schindler (2014).

Um dos principais métodos utilizados na presente pesquisa é o estudo de caso que, como afirmam Cooper e Schindler (2014), é uma poderosa ferramenta de pesquisa, vez que combina entrevistas com observações e análises documentais, estas realizadas em diferentes fontes, com vistas a se obterem diferentes perspectivas de uma organização, de um evento ou de um processo num determinado ponto do tempo ou durante um determinado período.

A faceta qualitativa do presente estudo reclama o distanciamento de fontes únicas de pesquisa. Com efeito, destaca Yin (2009), o fortalecimento do estudo de caso exige a utilização de diferentes fontes de evidências, de múltiplas fontes e inclusive de diferentes métodos.

É o que se entende por triangulação, como lembra Flick (2009), que ocorre quando o pesquisador adota diferentes perspectivas – consubstanciadas em vários métodos ou abordagens teóricas – acerca de um problema em estudo, a fim de responder às questões que movem a pesquisa. A triangulação deve produzir conhecimento em diferentes níveis: é crucial que tal recurso não traga mais do mesmo, mas que trabalhe em mais de uma abordagem, que combine diferentes técnicas e diferentes fontes, o que faz com que os dados colhidos estejam em diferentes níveis (FLICK, 2009).

Colher dados de múltiplas fontes e analisá-los separadamente, sem confrontá-los, não é triangular: a correta triangulação faz com que os eventos ou fatos, objetos do estudo de caso, recebam suporte de mais de uma fonte de evidência, o que dá robustez às conclusões do trabalho (YIN, 2009).

É exatamente do que se trata o presente estudo, cujas etapas estão pormenorizadas a seguir.

3.1 Coleta de dados

Foram colhidos dados relacionados ao aproveitamento energético do biogás proveniente da digestão anaeróbia do esgoto e do lodo de esgoto das seguintes fontes:

3.1.1 Conhecimento científico e técnico

Foram coletadas informações referentes às tecnologias do estado da arte em aproveitamento energético a partir do esgoto, bem como foram analisados casos anteriores. Foram revisados artigos científicos e técnicos em periódicos e literatura profissional relacionada ao tema (COOPER; SCHINDLER, 2014). Os periódicos foram consultados nas bases SciELO, ScienceDirect, Scopus e Web of Science.

3.1.2 Dados primários

Pesquisa preliminar identificou todas as organizações estaduais de tratamento de esgoto do país, as companhias municipais de municípios com população estimada superior a 300 mil habitantes e os grandes grupos privados de saneamento. Todas estas entidades foram contatadas pelos mais diferentes meios, como por telefone, por WhatsApp, por e-mail, por sistemas “fale conosco”, por portais de transparência, portais de acesso à informação, sistemas de informação ao cidadão, por reclamações a ouvidorias e também por correio (via ofícios impressos).

O questionário-base aplicado às organizações responsáveis pelo tratamento de esgoto de estados e municípios continha as seguintes perguntas:

- Quais são os municípios cuja captação e/ou tratamento de esgoto de responsabilidade da companhia?

- Quais as estações ETE, administradas pela empresa, que geram, coletam e aproveitam biogás (para aquecimento, abastecimento de veículos, geração de energia etc.)?
- Relativamente a cada uma das ETE especificadas no item anterior, solicitam-se os seguintes dados:
 - 1) Município sede da ETE;
 - 2) Municípios atendidos pela ETE;
 - 3) População atendida pela ETE (habitantes);
 - 4) Vazão de esgoto tratado (m³ por mês);
 - 5) DBO de entrada e de saída (mg/L);
 - 6) Demanda química de oxigênio (DQO) de entrada e de saída (mg/L);
 - 7) Tipos de tratamento realizados (primário, secundário, terciário);
 - 8) Tipo e características do sistema de geração de biogás;
 - 9) Data de início de geração de biogás;
 - 10) Data de início de geração de energia a partir do biogás;
 - 11) Investimento total realizado na construção e instalação do sistema de geração de biogás (R\$);
 - 12) Investimento total no sistema de captação, acumulação, purificação e distribuição do biogás (R\$);
 - 13) Investimento total no sistema de geração de energia a partir do biogás (R\$);
 - 14) Custo mensal de operação e manutenção de todo o sistema de coleta e utilização do biogás (R\$);
 - 15) Quantidade de biogás coletada atualmente (m³/ano);
 - 16) Composição do biogás gerado (% dos gases gerados);
 - 17) Energia elétrica gerada atualmente por biogás (kWh/ano);
 - 18) Quantidade de biogás máxima passível de ser gerada e coletada pelo sistema (m³/ano);
 - 19) Energia elétrica total capaz de ser gerada pelo sistema (kWh/ano);
 - 20) Energia elétrica consumida mensalmente pela ETE (kWh/mês);
 - 21) Receitas provenientes da utilização ou comercialização do biogás coletado (R\$/ano);

- 22) Expectativa de *payback* do investimento total feito no sistema de geração, captação e aproveitamento do biogás (meses).

Também foi questionado às companhias de tratamento se há algum projeto de aproveitamento energético em estudo ou em andamento, bem como foram pesquisadas algumas empresas que fornecem tecnologia para aproveitamento do biogás.

3.1.3 Dados secundários

Foram contatadas associações, organizações de fiscalização e controle, agências reguladoras, órgãos governamentais e institutos de pesquisa, nacionais e estrangeiros, aos quais foram solicitados dados sobre o aproveitamento energético do biogás proveniente do esgoto.

Foram, por fim, realizadas buscas em sites de notícias, nacionais e internacionais, e foram utilizados dados do SNIS (BRASIL, 2019).

3.1.4 Entrevistas e visitas

Foram realizadas uma visita técnica a ETE Ribeirão Preto, administrada pela empresa GS Inima, e outra à planta da ETE de Franca, de responsabilidade da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), oportunidades nas quais foram coletados dados e realizadas entrevistas semiestruturadas com especialistas, conduzidas pessoalmente e por meio de roteiro (utilizado em pesquisas exploratórias como entrevistas em profundidade, conforme Tannus (2012)), também chamadas, por Bardin (2011), de semidiretivas, pois são focalizadas, mais curtas e fáceis.

3.2 Representatividade da amostra e dados totalizados

O saldo do levantamento, detalhado no **Apêndice A**, dá conta de que, das companhias contatadas, responderam à pesquisa 40 companhias de tratamento de esgoto, responsáveis pelo saneamento de 2.138 municípios, cuja população estimada alcança 142.474.762 habitantes. Foram coletados dados de empresas privadas e públicas, estas de competência estadual e municipal. A amostra das empresas que responderam à pesquisa é responsável pelo esgotamento sanitário de 38,38% dos

municípios brasileiros, em que há aproximadamente 68,33% da população do país (conforme IBGE (2018)), como detalhado no **Apêndice A**.

Foram identificadas seis iniciativas de aproveitamento energético do biogás proveniente da AD do esgoto no país, levadas a cabo por seis diferentes organizações, como é detalhado na seção Resultados.

3.3 Dificuldades encontradas na coleta de dados

A maior parte das organizações contatadas era composta por órgãos públicos da administração direta, autarquias, sociedades de economia mista ou entidades privadas que realizam ações de interesse público e recebem recursos públicos, o que as sujeitaria à Lei de Acesso à Informação (LAI) (BRASIL, 2011), o que, pelo menos em tese, asseguraria a publicidade de seus atos. Diz-se em tese porque, na prática, houve uma série de obstáculos à coleta dos dados.

Houve empresas que atenderam ao pedido de fornecimento de informações via simples e-mail ou contato no “fale conosco” de seus *sites*. Porém, houve várias que exigiram a elaboração de pedido escrito, e outras ainda demandaram a confecção de ofício em papel timbrado, assinado pelo Chefe de Departamento e remetido via correio, acompanhado de íntegra do projeto de pesquisa e de ficha de cadastro de dados do pesquisador e da Orientadora, condicionando o fornecimento de dados à assinatura de termo de compromisso. Diga-se de passagem, a exigência de procedimento não previsto na LAI por si só já caracteriza violação legal. A despeito disso, houve até as companhias que tudo isso solicitaram e sequer responderam à pesquisa.

Também houve as empresas que procrastinaram por mais de ano as respostas, somente as fornecendo após recurso a instâncias de ouvidoria, portal de transparência e acesso à informação e Controladoria Geral do Estado. Houve empresas que, até a conclusão do presente trabalho, não haviam respondido aos questionamentos, bem como houve negativa de fornecimento de dados.

Constatou-se, por meio da presente pesquisa, que significativa parte das companhias de tratamento de esgoto desrespeita a LAI (BRASIL, 2011) e o direito fundamental à informação, preconizado pelos Art. 5.º, XXXIII, Art. 37, § 3º, II e Art. 216, § 2.º, da Constituição Federal (BRASIL, 1988), fato que, uma vez demonstrado, pode levar a sanções administrativas e, eventualmente, até criminais.

A ineficiência, o desrespeito e a desmedida burocracia encontrados em significativa parcela das organizações nacionais pesquisadas, obrigadas por lei a tornar públicos seus dados, se tornam mais flagrantes quando confrontados, por exemplo, à atitude da Aarhusvand, empresa pública municipal de Aarhus, Dinamarca, utilizada como caso-paradigma de aproveitamento energético do esgoto no presente trabalho: 10 dias após ser contatada por e-mail pelo pesquisador, a empresa forneceu dados completos e atualizados sobre sua operação, incluindo detalhes financeiros, e o fez em inglês, língua não oficial daquele país, a fim de facilitar a compreensão das informações.

Felizmente houve exceções, e diversas pessoas e organizações nacionais colaboraram ativamente no fornecimento de dados, todos nominalmente agradecidos no início do presente trabalho.

Das organizações nacionais contatadas, não responderam ao questionamento até a conclusão do presente trabalho: Agência Reguladora de Energia e Saneamento Básico do Estado do Rio de Janeiro (AGENERSA); Águas e Esgotos do Piauí S.A. (AGESPISA); Associação Brasileira das Empresas Estaduais de Saneamento (AESBE); Associação Brasileira de Biogás e Biometano (ABiogás); Companhia de Saneamento Municipal de Juiz de Fora (CESAMA); CS Bioenergia S.A.; Departamento Autônomo de Água e Esgoto de Rio Claro (DAAE Rio Claro); Departamento Estadual de Pavimentação e Saneamento do Acre (DEPASA); Departamento Municipal de Água e Esgoto de Uberlândia (DMAE Uberlândia); Empresa Municipal de Águas e Saneamento de Itabuna (EMASA); Grupo Atlantis Saneamento; Grupo Suez; Instituto Estadual do Ambiente do Rio de Janeiro (INEA); Serrana Engenharia Ltda.; Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Governador Valadares (SAAE Governador Valadares); Uniáguas; Veolia Brasil. Negaram-se a prestar informações a Companhia Operacional de Desenvolvimento, Saneamento e Ações Urbanas de Uberaba (CODAU) e o Grupo Águas do Brasil, este último contatado por diversas vezes e diferentes meios, incluindo ofício assinado remetido via SEDEX a seu diretor-presidente.

A Companhia de Saneamento do Estado de Mato Grosso (SANEMAT) não pôde ser localizada, já que informação prestada pela Ouvidoria do Estado de Mato Grosso dá conta de que tal entidade foi extinta por meio da Lei Estadual n.º 7.358, de 13 de dezembro de 2000, tendo os municípios assumido a responsabilidade pelo tratamento de esgoto. A despeito disso, em virtude de esforço conduzido em parceria entre

FUNASA, governo estadual e Universidade Federal de Mato Grosso, apurou-se que aquele é o único estado a ter 100% de seus municípios com Planos Municipais de Saneamento Básico concluídos (MIDIANEWS, 2018).

3.4 Análise dos dados

Os dados, colhidos de diferentes fontes e por métodos diversos, foram selecionados (examinados minuciosamente para detecção de falhas, evitando informações distorcidas), codificados (agrupados por categorias e atribuição de códigos) e tabulados (dispostos em tabelas) (MARCONI; LAKATOS, 2003). Na sequência, foram analisados, cotejando-se as informações levantadas com ferramentas previstas no estado do conhecimento da literatura.

Nos casos em que a quantidade e a qualidade dos dados dos projetos de aproveitamento energético do esgoto obtidos permitiram, foi realizada sua análise quantitativa, por meio dos seguintes métodos, comumente utilizados na avaliação de investimentos:

- a) Taxa Mínima de Atratividade (TMA): considerada uma etapa fundamental na análise de investimentos, a TMA é a determinação da taxa de desconto apropriada dos fluxos de caixa, que é determinada conforme a maneira como os projetos são financiados e que, segundo Rossetti et al. (2008), também é chamada de Taxa de Desconto Apropriada, custo financeiro do projeto, custo de oportunidade do investimento, taxa mínima de atratividade ou custo médio ponderado do capital, do inglês *weighted average cost of capital* (WACC). Nos casos em que a empresa financia suas operações utilizando-se de capital próprio e de terceiros, o cálculo da TMA permite apurar a média do custo de referidos capitais, o que leva à conclusão sobre a viabilidade do projeto: se a rentabilidade apurada pelo fluxo de caixa foi igual ou superior à TMA, o investimento é viável (ROSSETTI et al., 2008).
- b) Taxa Interna de Retorno (TIR): a TIR baseia-se nos fluxos de caixa descontados (DAMODARAN, 2015) mas, ao invés de se calcular o valor presente de um projeto, identifica-se se o retorno do projeto é maior ou menor que o custo de oportunidade do capital, que toma por base de comparação o retorno sabido de outra modalidade de investimento (BREALEY; MYERS; MARCUS, 2001). Do inglês *internal rate of return* (IRR), a TIR é comumente utilizada para projetos de prazo de retorno superior a um ano (SMART;

GITMAN; JOEHNK, 2017). Se a TIR for maior que o custo do capital, aceita-se o projeto; se menor, rejeita-se (GITMAN; ZUTTER, 2015).

- c) Valor Presente Líquido (VPL): VPL ou *Net Present Value* (NPV) consiste na diferença entre o valor presente dos fluxos de caixa e o valor do patrimônio necessário à realização do investimento (SMART; GITMAN; JOEHNK, 2017). É a soma dos valores presentes, tanto positivos quanto negativos, que ocorrerão na duração do projeto (DAMODARAN, 2015), e que resultarão na viabilidade do projeto sempre que o resultado encontrado for maior que zero.
- d) *Payback* descontado: chamado por Rossetti et al. (2008) de Método do Período de Retorno, o *payback* é o tempo necessário para a organização reaver o capital desembolsado com o investimento, ou seja, quando os fluxos de caixa, somados, igualam-se ao capital investido, sinal de que o investimento foi recuperado. O critério de decisão sobre um investimento, defendem Gitman e Zutter (2015), é de se aceitar o projeto quando o *payback* for inferior ao período máximo de retorno aceito pelo investidor, e de se rejeitá-lo quando for superior.

A análise da viabilidade do aproveitamento energético por meio do esgoto foi possibilitada pela análise conjunta das técnicas supracitadas, aliadas à interpretação qualitativa das informações colhidas, e seu resultado serve de base à tomada de decisão sobre a viabilidade – ou não – da implementação de sistemas de aproveitamento energético semelhantes nas ETEs brasileiras. Importante esclarecer que considerou-se que os valores despendidos pelas empresas com os projetos provieram de capital próprio, e não de terceiros.

Damodaran (2015) entende que o consenso geral, pelo menos entre os teóricos de finanças corporativas, é que o objetivo na tomada de decisões em um negócio é maximizar o valor (das ações ou da própria organização). Tal decisão diz respeito à realização de um investimento, um ativo em que recursos financeiros podem ser alocados, com a expectativa de que se obterá um rendimento positivo (um retorno, ou recompensa) e/ou que se aumentará seu valor (SMART; GITMAN; JOEHNK, 2017). Para Rossetti et al. (2008, p. 321), as decisões de investimento nas organizações envolvem a “coleta de dados relevantes, avaliação e escolha de propostas de desembolso de capital, efetuadas com o objetivo de gerar resultados positivos aos proprietários dos recursos a longo prazo.”

A tomada de decisão sobre a escolha de um investimento (um desembolso não ligado à operação da empresa, como a aquisição de novas máquinas ou instalações) se faz necessária porquanto os recursos disponíveis numa organização são insuficientes para atender a todas as oportunidades, motivo pelo qual os gestores veem-se obrigados a promover à alocação ótima de referidos recursos (ROSSETTI et al., 2008).

Como se tratam de projetos de saneamento básico, integrantes do grupo de obras de infraestrutura, eles têm características específicas e particulares que precisam ser consideradas, como o elevado volume de recursos necessário à sua implementação e o geralmente elevado tempo de maturação, o que demanda análise diferenciada daquelas aplicadas a investimentos financeiros puros, ou ainda aqueles realizados nos setores de serviços ou industriais, por exemplo.

Dessa forma, optou-se, ao invés de tachar um projeto de viável ou inviável, por analisar seus resultados financeiros ao longo do tempo e por classificá-lo como de curto, médio ou longo prazo, conforme a expectativa de *payback* calculada. Estabeleceu-se, portanto: como **curto prazo** os projetos com ponto de equilíbrio⁴ financeiro (ou *breakeven point*) de até dois anos; como **médio prazo** aqueles com retorno entre dois e cinco anos; como **longo prazo**, projetos com retorno previsto entre cinco e dez anos; como **muito longo prazo**, investimentos com ponto de equilíbrio superior a dez anos.

De posse dessas informações, será possível que eventuais gestores, ao analisarem futuros projetos, possam tomar por base os achados do presente trabalho como forma de suporte à tomada de decisão. Mas somente poderão decidir pela viabilidade ou inviabilidade de seus projetos a cada caso concreto que se apresente, já que as restrições ao endividamento de suas empresas são questões subjetivas e pontuais. Isso porque investimentos com perfil de retorno longo dependem de endividamento, o que influencia no grau de acesso ao crédito de terceiros pela empresa, motivo pelo qual acionistas e credores relutam em financiar projetos de *payback* longos, como bem lembrado por Rossetti et al. (2008). Afinal, quanto mais tempo a empresa levar para reaver seu investimento, maiores as possibilidades de uma calamidade ou acidente de percurso, o que implica em maior exposição da empresa a riscos (GITMAN; ZUTTER, 2015).

⁴ Ponto em que o custo e a receita tornam-se iguais, não havendo lucro ou prejuízo.

Ao fornecer cenários prováveis de *payback*, o presente trabalho contribui para a tomada de decisão em investimentos que tais.

4 RESULTADOS

O presente tópico engloba os resultados produzidos pela pesquisa, bem como a discussão, com base na pesquisa de campo e no referencial teórico.

4.1 Panorama do uso do biogás de esgoto no mundo

A fim de se traçar um panorama do aproveitamento energético do biogás de esgoto, para efeitos de comparação com a realidade nacional, buscaram-se dados em organismos internacionais que consolidassem números do setor em diferentes países relativamente à produção de biogás bruto, de biometano e de energia elétrica provenientes do esgoto.

As plantas que geram biogás por meio do esgoto são as segundas mais numerosas em relação ao total de plantas de biogás da Europa, atrás apenas das que utilizam resíduos agrícolas como substrato, e sua relevância é demonstrada pela **Tabela 6**, que compila dados de 2016 da European Biogas Association.

Tabela 6: Participação do esgoto, como substrato, na produção de biogás europeia.

Item	Todos os substratos	Esgoto	Percentual do total
Capacidade instalada de produção de biogás	62.704GWh	3.295GWh	5,26%
Capacidade instalada de geração de energia via biogás	9.985MW	821MW	8,23%
Plantas de biogás	17.662	2.838	16,07%
Plantas de biometano	503	73	14,51%

Fonte: adaptado de EBA (2017).

Na **Tabela 7** encontra-se compilada a relação de geração de biogás bruto, por DA do lodo do esgoto, em países integrantes da União Europeia, conforme dados do Eurostat, o Gabinete de Estatísticas da União Europeia.

Tabela 7: Produção bruta de biogás de esgoto em países-membros da União Europeia.

País	TJ de biogás
Alemanha	19.439
Reino Unido	14.459
Polônia	5.014
Suécia	3.165
França	3.015
Espanha	2.601
Holanda	2.410
Itália	2.223
República Checa	1.739
Bélgica	1.096
Dinamarca	1.051
Hungria	972
Grécia	694
Finlândia	632
Áustria	553
Eslováquia	444
Irlanda	355
Lituânia	316
Estônia	148
Croácia	146
Portugal	113
Letônia	107
Luxemburgo	96
Eslovênia	92
Chipre	27
Bulgária	8

Fonte: elaboração própria com dados de Eurostat (2019).

Outra importante organização internacional do setor, a CEDIGAZ, associação internacional sem fins lucrativos criada em 1961, que reúne informações sobre o setor do gás, forneceu dados acerca do biometano gerado⁵. A CEDIGAZ registra 133 plantas em operação atualmente, produzindo 42.516m³/h de biometano proveniente de esgoto (ou da combinação de esgoto com outros substratos), distribuídas conforme a **Tabela 8**.

⁵ Dados fornecidos pela CEDIGAZ ao pesquisador, via e-mail.

Tabela 8: Relação das plantas ativas que produzem biometano de esgoto⁶.

País	Capacidade de produção (m³/h)	Plantas em operação
Alemanha	1300	2
Áustria	710	4
Brasil	70	1
Canadá	440	1
Chile	2100	1
China	1315	5
Coreia do Sul	1680	7
Dinamarca	1050	2
Espanha	N/d	1
Estados Unidos	5505	10
Finlândia	1340	5
França	1170	7
Holanda	1090	6
Hungria	50	1
Índia	495	2
Itália	N/d	1
Japão	950	4
Liechtenstein	50	1
Noruega	3795	7
Reino Unido	6870	9
Suécia	9455	36
Suíça	3081	20
Total	42516	133

Fonte: elaboração própria com dados coletados de CEDIGAZ.

Dados levantados pela IEA Bioenergy, uma organização criada em 1978 pela Agência Internacional de Energia (International Energy Agency – IEA), entidade que congrega 24 países mais a Comissão Europeia, mostram cenário relativo às plantas de tratamento de esgoto que geram energia, num total de 2.281 unidades com capacidade instalada de 5.738GWh, como detalhado na **Tabela 9**.

⁶ N/d: dados não disponíveis.

Tabela 9: Relação de unidades geradoras de energia por meio do esgoto, por país⁷.

País	Potencial de geração anual (GWh)	Número estimado de plantas
Alemanha	1.440	1.258
Austrália	381	52
Brasil	210	10
Coreia do Sul	1.234	49
Dinamarca	281	52
Finlândia	152	16
França	41	88
Holanda	206	80
Irlanda	n/d	15
Noruega	223	24
Reino Unido	950	162
Suíça	620	475
Total	5.738	2.281

Fonte: adaptado de IEA Bioenergy (2017).

A título de triangulação, com a finalidade de obterem-se diferentes fontes acerca dos mesmos dados, buscou-se colher informações diretamente com alguns dos países que realizam o aproveitamento energético do esgoto, e os resultados são expostos a seguir.

4.1.1 Brasil

A pesquisa evidenciou que em alguns países não existe entidade que reúna dados específicos da geração via esgoto, como também identificou que, em outros lugares, embora haja registro da utilização do biogás como energia proveniente de fonte renovável, não existe a identificação de sua origem. É o caso do Brasil.

O mais recente Balanço Energético Nacional, de ano-base 2017, registra 135MW de energia gerados por usinas de biogás em operação, embora não especifique os substratos utilizados (EPE, 2018). Já a ANEEL, que mantém base de dados e de registros de geração de energia, identifica como componentes da matriz energética nacional usinas movidas a biogás proveniente de atividade agroindustrial (3 usinas, gerando 7.951kW), de resíduos animais (14 usinas, 4.481kW) e de resíduos sólidos urbanos (21 aterros, gerando 137.735kW), mas não faz menção ao biogás proveniente do esgoto (ANEEL, 2019). A central geradora da empresa Ambient - Soluções Ambientais de Ribeirão Preto (Ambient), por exemplo, embora se utilize de

⁷ N/d: dados não disponíveis.

combustível obtido via DA de esgoto, está registrada na ANEEL como movida a biogás proveniente de resíduo sólido urbano (ANEEL, 2019b).

4.1.2 Alemanha

Atualmente, parte do biometano produzido no país é adicionada ao GNV e serve ao abastecimento veicular. Os 20% de biometano comumente acrescentados ao GNV comercializado são suficientes para reduzir as emissões de CO₂ em até 39%, ao passo em que a utilização do biometano puro é capaz de reduzir em até 97% as emissões de GEE (GERMAN ENERGY AGENCY GMBH, 2010).

Segundo a Agência Alemã de Energia (DENA)⁸, em 2015 o país investiu € 2,78 bilhões em saneamento básico, dos quais € 1,57 bilhão em coleta e tratamento de resíduos. Investimentos em esgoto responderam por 29% do orçamento alemão de proteção ambiental de 2016, ano em que se atingiu o índice de 96,5% de tratamento de todo o esgoto gerado no país.

Estatísticas oficiais de 2018, fornecidas pela DENA, registram capacidade instalada de geração de energia elétrica de 256MW em plantas de biogás de esgoto, com produção bruta anual de 1.490GWh, correspondente a 0,2% da matriz energética renovável daquele país. O aproveitamento do biogás é responsável por evitar a emissão, na atmosfera, de 947.000 tCO₂eq.

Dados históricos da DENA, tabulados no **Gráfico 2**, permitem acompanhar a evolução de geração de energia do setor.

⁸ Os dados do item 4.1.2, que não possuem citação informada, foram fornecidos pela DENA ao pesquisador, via e-mail.

Gráfico 2: Evolução da geração de energia via biogás de esgoto entre 1990 e 2018 na Alemanha.

Fonte: elaboração própria com dados coletados na pesquisa.

4.1.3 Austrália

Também na Austrália não existe registro específico de esgoto como fonte primária de energia renovável⁹. Lá os resíduos sólidos municipais, os aterros e o esgoto são considerados fonte de biomassa, e sob este rótulo são contabilizados. Porém, em relatório específico do setor, realizado em novembro de 2015, a Agência Australiana de Energias Renováveis registrava 34MW de energia elétrica produzida em ETEs, por meio do biogás de esgoto (BECA CONSULTANTS, 2015).

As plantas de geração de energia renovável australianas podem se cadastrar para participar de um programa de energia renovável de larga escala, em que recebem acreditação do órgão regulador de energia limpa (Clean Energy Regulator). São acreditadas pelo programa 361 plantas, 5 das quais de biomassa.

Por meio do fundo de redução de emissões do governo, essas plantas têm a possibilidade de receber créditos de carbono australianos (Australian Carbon Credit Units – ACCUs), a cada tonelada de CO₂ equivalente que evitam lançar na atmosfera.

4.1.4 Chile

Há poucas e incompletas informações acerca do aproveitamento energético realizado em ETEs chilenas¹⁰.

⁹ Os dados constantes do item 4.1.3, que não possuem fonte mencionada, foram fornecidos diretamente ao pesquisador pelo Clean Energy Regulator Contact Centre.

¹⁰ Dados fornecidos ao pesquisador pela Atención Ciudadana, do Ministério de Energia chileno.

Dados atualizados até dezembro de 2017, do Ministério de Energia do Chile, registram a existência de 7 ETEs em operação. Dessas, de três não se possuem dados precisos, enquanto as quatro restantes gerariam, juntas, 7.476,9m³ de biogás por hora e teriam capacidade instalada de geração de energia de 32.694,3kW.

4.1.5 Dinamarca

É dinamarquês o caso-paradigma abordado mais adiante, que é apenas o expoente de um sistema bastante difundido de aproveitamento energético.

Em 2017, a Agência Dinamarquesa de Energia, braço do Ministério Dinamarquês de Energia, Utilidades e Clima, registrou 54 plantas produzindo biogás da digestão anaeróbia do esgoto que, juntas, produziram 1.102 TJ de biogás. Delas, 51 utilizaram o biogás para a produção conjunta entre calor e eletricidade, e 3 delas utilizaram o combustível para a produção de biometano, que foi utilizado para a alimentação do grid de GNV de cada localidade.

Com eficiência média de 36%, essas 51 plantas produziram aproximadamente 110GWh em 2017.

4.1.6 Espanha

Em 2008, foram produzidos, na Espanha, 203,2ktep (toneladas equivalentes de petróleo) de biogás, dos quais 49,1ktep (24,16%) provieram da DA do esgoto (IDAE, 2011). No mesmo período, o biogás espanhol foi responsável pela geração de 584,5GWh de energia, dos quais 35,7GWh – 3,1ktep – vieram da digestão do esgoto (IDAE, 2011).

Dados do Instituto para a Diversificação e Economia de Energia (IDAE)¹¹, do Ministério de Transição Ecológica da Espanha apontam como tendência do mercado a implantação de sistemas de geração de Ciclo Rankine Orgânico (CRO) para otimizar aproveitamento energético do biogás. Isso porque a demanda de calor dos digestores é inferior ao calor disponível nos processos tradicionais de cogeração de biogás, e o sistema de CRO, por aproveitar o calor dos gases de combustão, mostra-se mais eficiente também em aquecimento. Plantas existentes de CRO operam com rendimento em torno de 01 a 20% e em faixas de 160 a 1500KWe, embora estejam chegando ao mercado unidades comerciais de 3 a 15KWe.

¹¹ Tais dados, sem referência explícita, foram fornecidos pelo IDAE ao pesquisador.

4.1.7 Estados Unidos

Levantamento de 2011 nos EUA apontava apenas 104 ETEs com sistemas combinados de geração de calor e energia movidos a biogás produzido nas próprias plantas, espalhadas por 30 estados e totalizando 190MW de capacidade instalada (EPA, 2011).

A matriz energética dos EUA provém de combustíveis fósseis (63%), fontes nucleares (20%) e apenas 17% de fontes renováveis; em 2018, 3.433.620TW foram gerados por meio dessas fontes (EIA, 2019). Não há dados globais atuais de geração de energia específicos para a produção via aproveitamento do esgoto, e esta modalidade está contida na fonte chamada “outras biomassas de resíduos”, que compreende resíduos sólidos, aterros, lodo de esgoto e resíduos da agricultura. Essa categoria (outras biomassas de resíduos) foi responsável pela geração de 3TWh, equivalente a 0,1% da matriz energética norte-americana (EIA, 2019).

Pesquisas recentes mostram que muitas ETEs norte-americanas já dispõem de digestores anaeróbios para tratamento do lodo, separado da porção líquida do esgoto que recebem (TANIGAWA, 2017). Entretanto, muitas não têm os equipamentos necessários para aproveitamento do biogás, e acabam queimando-o em *flares* (ACEEE; CANTWELL, 2016). Das 1.269 ETEs que fazem, atualmente, uso de digestores anaeróbios, apenas cerca de 860 aproveitam seu biogás (AMERICAN BIOGAS COUNCIL, 2017).

Acredita-se que, se todas as ETEs que realizam digestão anaeróbia, ao tratarem seu volume de mais de 19 milhões de litros de esgoto diário, aproveitassem seu biogás, os EUA seriam capazes de reduzir suas emissões de CO₂ em 2,3 milhões de toneladas, o equivalente à emissão de 430 mil veículos de passeio (NACWA, 2010). Estimativas do governo americano acreditam que aproximadamente 30,4 milhões de MMBtu por ano poderiam ser produzidos de biogás pelas ETE, ao custo equivalente ao do GN (MURRAY; GALIK; VEGH, 2014).

4.1.8 México

Há, no México, há cerca de 2.500 ETEs municipais ativas, das quais destacam-se 27 grandes geradoras de biogás (76,2Mm³ produzidos por ano, evitando o lançamento de 50,896TCO₂eq anuais), embora somente 9 o aproveitem para um fim específico e apenas uma gere energia elétrica, a ETE Atotonilco (GUTIERREZ, 2018).

Estima-se que o elevado consumo de energia elétrica das ETEs poderia ser reduzido, em média, em até 70% caso houvesse aproveitamento do biogás para geração de eletricidade, especialmente com relação às cerca de 60 plantas que têm capacidade de tratamento de esgoto superior a 300 litros por segundo (GUTIERREZ, 2018). Porém, destaca Gutierrez (2018), as plantas são públicas e os altos custos de implementação e operação dos sistemas de aproveitamento energético inviabilizam os projetos, que só são possíveis mediante a celebração de parcerias público-privadas.

A Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) do governo Mexicano compartilhou detalhes da ETE Atotonilco, considerada a maior estação monofásica do mundo (ORTEGA, 2017) e a terceira maior em capacidade de tratamento¹².

Localizada na municipalidade de Atotonilco de Tula, estado de Hidalgo, a ETE começou a ser construída em 2010, entrou em funcionamento em 2016 e consumiu € 560 milhões, tendo sido desenvolvida para tratar 60% do esgoto proveniente do Vale do México, recebendo efluentes de 700 mil pessoas do Vale Mezquital. Tem capacidade de tratar de 35 a 50m³ de esgoto por segundo (períodos seco e chuvoso). Segundo Ortega (2017), as características de sustentabilidade da ETE Atotonilco renderam-na o prêmio Infrastructure 360° Awards, oferecido pelo Banco Interamericano de Desenvolvimento.

A ETE submete os lodos primário e secundário a processo de espessamento por gravidade e por flotação. Antes do processo de estabilização, o lodo espessado é misturado em tanques de homogeneização, e segue até 30 digestores anaeróbios mesofílicos (com capacidade unitária de 13.000 m³ cada) em que permanecem de 16 a 39 dias a 36°C.

O lodo estabilizado é desidratado (umidade final $\leq 28\%$) para, finalmente, ser levado a um aterro dentro das instalações da própria planta. Por ano, 837.408 toneladas de lodo são produzidas e utilizadas como adubo, enquanto os efluentes tratados servem à irrigação de cerca de 80.000 hectares de terras agricultáveis (ORTEGA, 2017).

O biogás gerado pelo sistema é submetido a limpeza e filtragem que, por meio de resfriamento, condensação e adsorção em carbono ativado, removem vapor d'água, H₂S e siloxanos, transformando-o em biometano. Este combustível é

¹² Os dados do item 4.1.8, que não possuem referência explícita sobre a fonte, foram fornecidos pela CONAGUA ao pesquisador.

armazenado em sete gasômetros de 8.500m³ de capacidade cada, que são destinados à geração de energia e ao aquecimento do lodo.

A geração de energia ocorre por meio de 12 conjuntos geradores com motores adaptados a essa funcionalidade, de 2.717 kW cada, o que representa uma capacidade de geração instalada de 32.604kW a 4,16kV. O volume de energia gerado na ETE supre 80% de sua demanda energética, sendo o restante contratado de companhia energética.

Detalhes dos dados da planta estão dispostos na **Tabela 10**.

Tabela 10: Dados de geração de energia da ETE Atotonilco.

	Período seco (TC)	Período seco ¹³ (TC + TQ)	Período chuvoso (TC + TQ)	Cogeração (kWh/ano)
Duração do período (dias)	99	113	153	
Energia gerada (kWh/d)	372.507,39	496.676,52	682.930,22	
Energia gerada (kWh/período)	36.878.232	56.124.447	104.488.323	194.491.002
Consumo anual estimado (kW/ano)				246.000.000
Consumo proveniente da cogeração				80%

Fonte: elaborada pelo autor com dados colhidos na pesquisa.

4.1.9 Reino Unido

O departamento de águas da Irlanda do Norte não registra qualquer ETE gerando e aproveitando biogás, embora informe existirem algumas plantas gerando energia com biogás proveniente de aterros de resíduos sólidos municipais¹⁴.

Já a Anaerobic Digestion and Bioresources Association (ADBA) registra, espalhadas por Inglaterra, Escócia e País de Gales, 162 ETEs que realizam o aproveitamento do biogás via geração de energia elétrica; dessas, 9 também produzem biometano (ADBA, 2019).

Juntas, as 162 plantas têm capacidade instalada de 202,73MWe e geram 7.920m³ de biometano por hora (ADBA, 2019).

¹³ TC: tratamento convencional. TQ: tratamento químico.

¹⁴ Dados fornecidos diretamente pela Northern Ireland Water ao pesquisador.

4.1.10 Suécia

Dados da Agência Sueca de Energia¹⁵ registram aumento de 2,5% na produção de biogás no país em 2017, cujas principais aplicações se dão para abastecimento veicular (por meio da purificação e transformação em biometano) e geração de calor (HARRYSSON, 2018).

O maior aumento de produção ocorreu justamente nas ETE: o biogás de esgoto é responsável pela geração de 753GWh de energia, 36% de todo o biogás produzido no país. Em 2017 havia 138 plantas em operação, produzindo 345.010m³ de biogás com teor médio de 62,2% de CH₄.

Como a Suécia não é autossuficiente na produção de biogás, faz-se necessária a importação desse combustível da Dinamarca, que recebe incentivos fiscais e produtivos, o que torna competitivo o preço do combustível importado (HARRYSSON, 2018).

4.1.11 Suíça

A Suíça mantém anos de históricos detalhados e pormenorizados sobre o aproveitamento energético de estações de tratamento de resíduos, inclusive tais dados são separados entre plantas de efluentes industriais e unidades de tratamento de esgoto sanitário¹⁶.

A principal fonte de produção de biogás em ETEs suíças provém da digestão do lodo de esgoto, utilizado para geração de energia e aquecimento, com excedente comercializado ao grid de GN daquele país. Em 2017, a energia advinda do esgoto chegou a 1.471J, o equivalente a 0,17% de toda matriz energética renovável suíça, superando a energia eólica (que foi de 441TJ).

Na **Tabela 11** há um resumo de dados sobre o aproveitamento energético de ETEs suíças.

¹⁵ Os dados do presente subitem, que não têm informação sobre a fonte, foram fornecidos diretamente pela Energimyndigheten (Agência Sueca de Energia).

¹⁶ Os dados deste item foram fornecidos diretamente pelo Schweizerische Eidgenossenschaft (Escritório Federal do Meio Ambiente Suíço) ao pesquisador.

Tabela 11: Indicadores suíços do aproveitamento energético de ETEs.

Indicador	Valor
Biogás gerado	2.233TJ
Calor produzido	809 TJ
Elettricidade gerada	421 TJ
Plantas em operação	274
Consumo de energias renováveis pelas ETE	457,1 GWh
Energia renovável gerada	117,0 GWh
Calor renovável usado	224,8 GWh
Taxa de utilização anual de energia renovável (produzida x consumida)	74,8%
Comercialização de biogás excedente	163,2 GWh

Fonte: elaborada pelo autor com dados de 2017, colhidos na pesquisa.

4.2 Caso-paradigma de aproveitamento de biogás

Como mencionado, a ETE Marselisborg, na cidade dinamarquesa de Aarhus¹⁷, é autossuficiente em energia elétrica e inclusive gera excedente, utilizado no tratamento de água do município, situação que tem atraído a curiosidade de pesquisadores no mundo (KARÁTH, 2016; STATE OF GREEN, 2018), vindos de lugares como Sérvia, China e África do Sul, em busca de compreender como a Aarhus Vand A/S (Aarhus Water S/A), uma empresa pública municipal de tratamento, transformou o esgoto numa valiosa fonte de energia (MIS, 2017). A **Figura 2** ilustra a planta da ETE Marselisborg.

Figura 2: Vista aérea da ETE de Aarhus.

Fonte: arte própria com dados coletados na pesquisa, sobre imagem de Google (2019).

¹⁷ Todos os dados não citados no item 4.2 foram fornecidos pela Aarhus Vand A/S, via e-mail, ao pesquisador.

Esse projeto trouxe novas perspectivas sobre a finalidade de uma ETE, transformando o conceito de uma unidade consumidora de energia para uma unidade produtora, ou, como a própria empresa afirma, de estação de tratamento de esgoto para biorrefinaria. Em virtude desse novo *mindset*, que se coaduna com um dos objetivos da presente pesquisa, passa-se a detalhar o funcionamento da ETE Marselisborg, tomando-a como paradigma para *benchmarking* com os resultados obtidos em instalações brasileiras. Os dados foram gentilmente cedidos pela empresa, em resposta à presente pesquisa.

A ETE em análise foi projetada para as vazões médias diárias de 26.498m³ e 121.134m³ nos períodos seco e chuvoso, respectivamente, e suas capacidade e média de utilização, no ano de 2016, são transcritas na **Tabela 12**.

Tabela 12: Capacidade operacional projetada da ETE Marselisborg e utilização média no ano de 2016.

Capacidades projetadas		Média de utilização em 2016	% utilizado
Pessoas-equivalentes ¹⁸	200.000	194.269	97
Vazão (m ³ /dia)	25.800	30.503	118
DBO (kg/dia)	12.000	11.656	97
N total (kg/dia)	1.550	1.828	118
P total (kg/dia)	428	264	62

Fonte: elaboração própria com dados colhidos na pesquisa.

O esgoto recebido passa por pré-tratamento, tratamento primário, secundário e terciário, e os efluentes da planta são lançados na baía de Aarhus, entre o Mar do Norte e o Oceano Báltico. O diagrama esquemático da planta é ilustrado pela **Figura 3**.

¹⁸ A medida pessoa-equivalente considera a geração de 60g de DBO por dia por pessoa.

Figura 3: Diagrama esquemático dos sistemas da ETE Marselisborg.

Fonte: traduzido pelo autor de dados coletados na pesquisa.

As receitas da empresa provêm das cobranças das taxas de água e esgoto (76%), de impostos recebidos (11%) e de taxa de conexão e demais receitas (13%). O orçamento é rateado entre as despesas na seguinte proporção: investimento em bens de capital (62%), custos operacionais (36%) e custos financeiros (2%).

O preço do metro cúbico de água em Aarhus é de DKK 46,41 (coroas dinamarquesas), o equivalente a R\$ 27,08 (cotação de 08/04/2019), e é composto por: DKK 8,14 (R\$ 4,75) de produção de água, DKK 22,62 (R\$ 13,20) para tratamento de esgoto, DKK 6,37 (R\$ 3,72) de taxa governamental e DKK 9,28 (R\$ 5,41) a título de imposto sobre valor agregado.

Ao detalhar a transformação havida em seu modelo de negócio, a empresa dividiu em três os passos que foram seguidos:

- 1) Otimização do processo: consistente na remoção biológica de N e P, no controle de clarificação (aumento da capacidade hidráulica durante período chuvoso) e no monitoramento das operações por meio da adoção de *software*, sensores e medidores de vazão.

- 2) Otimização dos equipamentos: foram substituídos turbo soprador, centrífuga e conjuntos geradores a biogás.
- 3) Adoção de novos processos: passou-se a realizar nitrificação e desnitrificação simultâneas, desamonificação lateral e derivação de nitrito.

A otimização dos processos buscou melhorar a eficiência e a capacidade da ETE, simultaneamente à redução dos valores dos efluentes, visando a maior economia possível de investimentos. Os processos foram otimizados por meio do aumento do controle e estabilidade dos sistemas, por meio de alto grau de automação e redução de uso de recursos. Os sistemas operam automaticamente e há funcionários apenas no horário comercial de expediente. Foram automatizados a alternância de fases (com medidores de amônio e fosfato), o funcionamento do soprador (de acordo com a carga de amônio), o tempo de retenção (ao mínimo necessário a sustentar a nitrificação) e o controle de clarificação (conforme taxa de retorno de lodo e distribuição entre os clarificadores). Essa otimização consumiu € 270.000,00, durou dois anos, teve *payback* aproximado de um ano e economizou em torno de 700.000kWh anuais de energia.

Já a otimização dos equipamentos teve os seguintes detalhes:

- a) Substituição de 2 conjuntos geradores de 250kW cada, com eficiência de 38 a 39%, eficiência térmica entre 50 e 55% e eficiência total de 88 a 94%. O investimento neste item foi de € 1.050.000, durou dois anos para ser implementado, aumentou a produção energética em aproximadamente 1.000.000kWh por ano e reduziu as emissões de CO₂ em 426 ton/ano, e tinha *payback* estimado de 10 anos.
- b) Troca do turbo soprador para equipamento de 350KW de potência, 430mbar de pressão e 4m de coluna d'água. O investimento foi de € 195.000,00, levou um ano para ser implementado e resultou na redução do consumo de 300.000kWh e de emissão de CO₂ de 153ton por ano. O *payback* desse item foi estimado em 7 anos.
- c) Aumento da capacidade de geração, com aquisição de unidade geradora de 355kW e eficiência energética de 40%, resultando no aumento de produção de 900.000kWh por ano. O investimento, com *payback* previsto entre 3 e 4 anos, totalizou € 482.000,00 e resultou na redução da emissão de 376ton de CO₂ por ano.

- d) Implementação do sistema de distribuição de calor ao *grid* térmico da cidade, que teve investimento de € 186.000,00, resultou em receitas anuais de € 37.000,00 (pela comercialização do calor fornecido), aumentou a produção de calor em 2,5GWh por ano e reduziu as emissões de CO₂ em 322 toneladas anuais. O *payback* deste item foi estimado em 5 anos.
- e) Aquisição de nova centrífuga de desidratação, ao custo de € 242.000, reduzindo o custo operacional em € 53.000 ao ano e em 60.000kWh o consumo de energia ao ano, com *payback* previsto para 4 anos.

Por fim, os novos processos adotados (nitrificação e desnitrificação simultâneas, desamonificação lateral e derivação de nitrito), sumarizados na **Figura 4**, exigiram investimentos da ordem de € 448.000, removeram 480.000kg de N total (em 2016), reduziram o consumo de eletricidade em 50.000kWh (diminuição entre 0,7 e 0,9kWh por quilo de N total removido) ao ano e diminuiram a carga de impostos em € 95.000 ao ano, correspondentes às taxas incidentes sobre atividades que geram poluição na Dinamarca. Essa etapa tem previsão de *payback* de 5 anos.

Figura 4: Novos processos implementados na ETE Marselisborg.

Fonte: adaptado pelo autor com dados colhidos na pesquisa.

Os resultados obtidos após a implementação das mudanças supracitadas foram os seguintes:

- a) Redução de 26% do consumo energético da planta, de 4,2GWh para 3,1GWh ao ano, com economia real final de 34%;
- b) Aumento de 66% na produção de eletricidade, de 2,9GWh para 4,8GWh ao ano;
- c) Criação de nova receita financeira pela venda de calor, equivalente a 2,5GWh ao ano;
- d) Aumento da autossuficiência energética de 119% para 153%, chegando a mais de 230%, caso considerado o calor excedente gerado;
- e) Redução do custo operacional anual em US\$ 744.000,00, em virtude da comercialização dos excedentes (energia e calor), da redução da taxaço incidente sobre atividades poluidoras, da diminuição do custo com polímeros e da redução dos custos de disposição do lodo final;
- f) *Payback* dos investimentos variando de 2 a 10 anos, com média global aproximada de 3,9 anos.

Desta forma, o *upgrade* de cerca de € 3 milhões posicionou Aarhus como a primeira cidade do mundo a prover água limpa a todos cidadãos, utilizando-se apenas da energia recuperada no tratamento de esgoto (MIS, 2017). Os excedentes energéticos (eletricidade e calor) equivalem ao consumo de 500 residências, e são comercializados e distribuídos ao *grid* local, proporcionando receita adicional (MIS, 2017). A ETE tornou-se autossuficiente ao investir em novas tecnologias e aumentar a eficiência dos equipamentos e, como consequência, reduziu vazamentos, a emissão de GEE, o consumo de eletricidade e os custos de manutenção (MIS, 2017). O histórico de autossuficiência da planta é representado pela **Gráfico 3**.

Gráfico 3: Histórico de produção, consumo e autossuficiência energética da planta.

Fonte: traduzido pelo autor com dados coletados na pesquisa.

Mis (2017) argumenta que os engenheiros dinamarqueses que analisaram o projeto acreditam que sistemas semelhantes sejam viáveis a ETEs que atendam população superior a 100mil habitantes.

A despeito de toda essa mudança, a inovação na empresa Aarhus Vand não para por aí. Ela está construindo uma nova planta de tratamento, na mesma região, com previsão de conclusão para 2026. Trata-se de um novo conceito, o projeto denominado Aarhus ReWater, que adotará o conceito de economia circular para água de reúso, com emissão zero de CO₂. O plano, iniciado em 2017, prevê a construção da ETE mais eficiente do mundo, que permitirá a produção de nutrientes, proteínas, alimentos, químicos e suprimentos para a indústria da saúde.

É importante observar, entretanto, que a inovação trazida pela Aarhus Vand não é uma iniciativa isolada naquele município, mas parte de um cenário maior de consciência sustentável desenvolvido pela municipalidade.

De fato, fundada por volta do ano 770, a "cidade dos sorrisos" ocupa a 22ª posição no Global Destination Sustainability Index e tem, como características: 450 bicicletas emprestadas gratuitamente à população e visitantes; 5% dos veículos

elétricos da Dinamarca, 25% dos quais utilizados por empregados da municipalidade; iluminação pública substituída por LED; gestão inteligente de sistemas públicos de iluminação e trânsito (no conceito *smart city*); mais de 2000 quartos de hotéis, 83% dos quais eco-certificados (SUSTAIN EUROPE, 2019). A cidade contempla, inclusive, projetos de gestão de resíduos marítimos (GDS, 2017).

O processo do modelo de sustentabilidade da cidade (Aarhus Sustainability Model – ASM) vem sendo trabalhado e discutido desde 2011 e revisto anualmente desde então, com objetivos de curto, médio e longo prazo (AARHUS 2017, 2017). O processo do ASM, que contempla os 17 ODS, engloba planejamento, envolvimento, pensamento, compreensão e ação, sempre com intensa participação da comunidade, e está dividido em quatro seções: operações diárias e mobilidade; alimentos e bebidas; arquitetura e estrutura física; comunicação e comportamento (AARHUS 2017, 2017).

O ASM também ainda é responsável por: meta de neutralização na emissão de CO₂ até 2030; 80% de energia proveniente de fontes renováveis, 80% das quais de origem de biomassa, eólica e solar; apenas 1,3% de resíduos sólidos descartados em aterro sanitário; reciclagem de 59,7% dos resíduos sólidos; 909ha de área verde por 100 mil habitantes (cinco vezes e meia a média da capital de São Paulo, por exemplo, de acordo com Rede Social Brasileira por Cidades Justas e Sustentáveis (2019)); 50 estações públicas de recarga de veículos elétricos (GDS, 2018).

4.3 Casos nacionais com operação esporádica

A seguir estão relacionados projetos de aproveitamento energético de biogás, proveniente do esgoto ou do lodo de esgoto, que operam esporadicamente.

4.3.1 ETE Jacuípe II (EMBASA)

A Empresa Baiana de Águas e Saneamento S.A. (EMBASA) é responsável pelo tratamento de esgoto de 103 municípios, cuja população estimada é de 8.643.333 habitantes¹⁹.

Atualmente, há apenas uma planta aproveitando biogás para geração de energia. Trata-se da ETE Jacuípe II, localizada no município de Feira de Santana, BA.

¹⁹ Salvo citação expressa, os dados estampados no item 4.3.1 foram colhidos diretamente pelo pesquisador junto à empresa.

Gerando energia elétrica desde 14/09/2016, a ETE Jacuípe II trata o biogás, gerado em sistema UASB seguido de lodos ativados (tanque de aeração e decantador secundário), por meio da biodessulfurização, desumidificação e filtração, enviando o biometano a um motor-gerador a gás Ciclo Otto, que gera a energia.

O investimento total realizado na construção do sistema de geração de biogás foi de R\$ 2.415.877,49, sendo que o investimento relativo à captação, acumulação e purificação do biogás atingiu R\$ 4,16 milhões, dos quais R\$ 3,5 milhões consistiram em investimento da Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia (COELBA), com contrapartida de R\$ 660 mil da EMBASA.

Há perda de 20% do biogás gerado, cuja concentração de CH₄ atinge 78% e capacidade máxima de geração de 14.964 m³ de CH₄ ao ano. Para até 9 horas diárias de operação, o sistema instalado produz 1.284 kW/dia, 39.069 kW/mês e 468.832 kW/ano, o equivalente a 37,78% da demanda energética da planta (cujo consumo mensal é de 103.403 kWh).

As receitas provenientes da utilização da energia gerada na planta são, atualmente, de R\$ 25 mil, com potencial de chegarem a R\$ 379.919,62 ao ano. Na prática, o sistema só gerou energia por 21 dias, produzindo 38,31 kWh, sempre nos horários de ponta, isso porque a empresa está em busca de uma forma de operacionalizar a geração com a redução dos custos, já que, no cenário atual, mostra-se inviável a geração de energia.

Para a EMBASA, não há previsão de *payback*, vez que o custo operacional estimado ao ano está sendo superior ao retorno de geração de energia (déficit anual de R\$ 21.058,01). O setor responsável da empresa está levantando alternativas para operar o sistema sem gerar prejuízos financeiros.

Na **Tabela 13** estão consolidados os dados coletados na ETE Jacuípe II.

Tabela 13: Resumo dos dados coletados na ETE Jacuípe II.

Parâmetro	Valor
Sede da ETE	Feira de Santana
Municípios atendidos	Apenas Feira de Santana
População atendida	129.600 habitantes
Vazão de esgoto tratado	488.160 m ³ por mês
DBO de entrada	317,7 mg/L
DBO de saída	25,9 mg/L
DQO de entrada	870,1 mg/L
DQO de saída	125,5 mg/L
Tratamentos realizados	Primário e secundário (UASB + lodos)
Características do sistema	Purificação do biogás para geração de energia em motor Ciclo Otto
Início de geração de biogás	05/09/2016
Início de geração de energia	14/09/2016
Investimento no sistema de geração de biogás	R\$ 2.415.877,59
Investimento em captação, acumulação e distribuição do biogás	R\$ 4.160.000,00
Investimento no sistema de geração de energia	Incluso no item anterior
Custo de operação e manutenção do sistema	R\$ 300.977,63 ao ano (previstos)
Biogás coletado atualmente	282.528 m ³ por ano
Energia elétrica gerada atualmente por biogás	38,31 kWh por ano
Qtd. máxima de biometano passível de produção	14.694 m ³ por ano
Energia elétrica total capaz de ser gerada	468.832 kWh por ano
Energia elétrica consumida pela ETE	103.403 kWh por mês
Receita estimada da utilização da energia gerada	R\$ 25.000,00 por mês
Expectativa de <i>payback</i> do investimento	Não há

Fonte: elaboração própria com dados coletados na pesquisa.

4.3.2 ETE Ouro Verde (SANEPAR)

Contatada, a Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR) informou que a única planta sob sua administração que atualmente realiza o aproveitamento do biogás é a ETE Ouro Verde, um sistema piloto construído para fins de pesquisa, em meados de 2009, que não opera continuamente e serve à demanda da Gerência de Pesquisas da empresa²⁰.

Questionada sobre a ETE Belém, identificada em levantamento prévio como unidade geradora de energia administrada pela SANEPAR, a empresa limitou-se a dizer que trata-se de uma sociedade de propósito específico operada pela CS Bioenergia. A empresa CS Bioenergia SA é uma empresa de capital fechado cujas ações são 60% de propriedade da empresa Cattalini Bioenergia, ao passo que 40% são de titularidade da SANEPAR (CS BIOENERGIA, 2019), ou seja, a empresa é composta por capital público. Todavia, embora contatada por diversas vezes, inclusive

²⁰ No item 4.3.2, os dados sem menção à fonte foram fornecidos diretamente pela SANEPAR ao pesquisador, via e-mail e telefone.

via seu Diretor Técnico, diretamente e por meio de sua secretária, a CSBioenergia não forneceu os dados solicitados.

Relativamente à ETE Ouro Verde, a SANEPAR informa que sua média de produção de biogás é de 50m³ por dia, com teor de CH₄ entre 55% e 65%, ao passo em que o H₂S do gás varia entre 100 e 800ppm. O sistema de purificação contém coletores de condensados e remoção de H₂S via limalha de aço.

Em virtude de tratar-se de projeto experimental, a SANEPAR alega que não são considerados indicadores financeiros nem é feita análise de viabilidade de instalação de novos sistemas.

A SANEPAR forneceu, diretamente, apenas os dados transcritos acima, e sugeriu que, à complementação da pesquisa, fossem analisadas três obras, disponíveis na biblioteca da Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, um artigo da revista DAE e a série histórica do SNIS. Dessa feita, a fim de enriquecer a pesquisa, são trazidos dados complementares da ETE Ouro Verde, retirados do material indicado e também de revisão bibliográfica.

A ETE Ouro Verde entrou em operação em 1997, com capacidade de tratamento de até 70 L/s e atendimento de até 35.000 habitantes, realizando remoção de sólidos grosseiros, desarenação e degradação biológica via Reator Anaeróbio de Lodo Fluidizado (RALF), atingindo eficiência de cerca de 75% na remoção de matéria orgânica (BRASIL, 2017b). Em meados de 2006 começou a gerar energia, tendo sido a primeira ETE no país a aderir ao sistema de compensação de energia elétrica, na qualidade de unidade microgeradora, sendo contemplada, em 2009, em contrato de venda de energia elétrica para a Copel de três anos (BRASIL, 2017b; GOVERNO DO ESTADO DO PARANÁ, 2009).

O biogás gerado no processo anaeróbio da planta (cerca de 50Nm³ dia), é captado em tubulação de PVC e submetido a um filtro à base de limalha de ferro, onde é dessulfurizado, e em seguida é guiado até um gasômetro cilíndrico horizontal, constituído por manta de PVC e válvula de alívio hídrica, com capacidade para 50m³ (BRASIL, 2017b). Do gasômetro o biogás pode ser queimado em *flare* ou então conduzido até um grupo motogerador de 30 kW, equipado com sistema de proteção e seccionamento (responsável por isolar o sistema elétrico da ETE durante problema na rede de distribuição ou na geração local) e sistema de monitoramento, controle e proteção (que garante o atendimento dos critérios necessários à conexão da planta ao *grid* de distribuição energético da Copel) (BRASIL, 2017b).

O consumo mensal médio de energia elétrica da ETE é de 812kWh e estima-se que a capacidade máxima de geração distribuída atinja 3.600kWh/mês, um excedente de cerca de 2.788 kWh/mês (BRASIL, 2017b). Porém, o sistema opera em regime de batelada, a fim de atender às demandas de P&D, funcionando aproximadamente 2 horas diárias (BRASIL, 2017b).

Outro subproduto da ETE são as cerca de 20 toneladas de lodo, que são higienizadas e distribuídas a agricultores da região, para utilização como fertilizante (BRASIL, 2017b).

São monitorados, via sistema informatizado, a qualidade e a quantidade do esgoto que chega à ETE e do biogás gerado, bem como os processos de geração de energia e de conexão ao *grid*, o que permite a análise de eficiência do processo e fornece subsídios de dados para futuras implantações em outras ETEs (BRASIL, 2017b).

Na **Tabela 14** estão condensados os dados da ETE Ouro Verde.

Tabela 14: Resumo dos dados da ETE Ouro Verde.

Parâmetro	Valor
Sede da ETE	Foz do Iguaçu
Municípios atendidos	Foz do Iguaçu (percentual)
População atendida	35.000 Habitantes
Vazão de esgoto tratado	70 L/s
DBO de entrada	91 mg/L
DBO de saída	27 mg/L
DQO de entrada	Dado não fornecido
DQO de saída	Dado não fornecido
Tratamentos realizados	Remoção de sólidos; desarenação; biodigestão
Características do sistema	Reator Anaeróbio de Lodo Fluidizado (RALF)
Início de geração de biogás	1997
Início de geração de energia	2006
Investimento no sistema de geração de biogás	Dado não fornecido
Investimento em captação, acumulação e distribuição do biogás	Dado não fornecido
Investimento no sistema de geração de energia	Dado não fornecido
Custo de operação e manutenção do sistema	Dado não fornecido
Biogás coletado atualmente	50m ³ por dia
Energia elétrica gerada atualmente por biogás	Dado não fornecido
Qtd. máxima de biogás passível de ser coletada	50m ³ por dia
Energia elétrica total capaz de ser gerada	3.600kWh por mês
Energia elétrica consumida pela ETE	812kWh por mês
Receita estimada da utilização da energia gerada	Dado não fornecido
Receita da comercialização da energia	Dado não fornecido
Expectativa de <i>payback</i> do investimento	Não é calculado

Fonte: elaborada pelo autor com dados coletados da empresa e adaptados de Brasil (2017b).

4.3.3 Unidade de Demonstração de Itaipu

Por meio de intervenção da Ouvidoria da Itaipu Binacional foi possível a obtenção dos dados da Unidade de Demonstração de Itaipu (UD Itaipu), que são tratados adiante²¹. Como se observará a seguir, o esgoto não é o único ou mesmo o principal substrato utilizado pela UD Itaipu, motivo pelo qual este projeto foi inserido no tópico de casos com operação esporádica.

4.3.3.1 O projeto

A Itaipu Binacional é uma empresa criada via tratado internacional com capital social composto 50% de titularidade da Eletrobrás e 50% da Administración Nacional de Electricidad, do Paraguai (ITAIPU BINACIONAL, 2019).

O Centro Internacional de Energias Renováveis – Biogás (CIBiogás) é uma associação sem fins lucrativos de cunho científico, tecnológico e de inovação, formado por 27 instituições que apoiam projetos relacionados a energias renováveis, incluindo organizações internacionais, empresas públicas, governos estaduais e municipais, instituições de pesquisa e empresas privadas (CIBIOGÁS, 2019).

A partir de 2015, fomentada pela Itaipu, a CIBiogás começou a desenvolver o projeto da UD Itaipu, que foi inaugurado em junho de 2017 e que, desde agosto desse ano, opera em caráter experimental.

Trata-se de uma planta de biogás e biometano localizada em Foz do Iguaçu, PR, dentro do complexo da Itaipu Binacional, cujo objetivo é realizar P&D de sistemas de produção de biogás e biometano. A concepção da planta prevê a experimentação de diferentes resíduos orgânicos para, em co-digestão, produzirem biogás, e os primeiros testes foram realizados com poda de grama misturada ao esgoto.

4.3.3.2 Substratos utilizados

Atualmente, o processo utiliza como matéria-prima 500kg diários de resíduos sólidos, provenientes de 6 restaurantes localizados dentro do complexo Itaipu (5 do lado brasileiro e 1 do lado paraguaio). Em 2018, a quantidade máxima de resíduos tratados foi de 13.000kg por mês, bem abaixo da capacidade máxima, que é de

²¹ Os dados desacompanhados de referências, no item 4.3.3, foram fornecidos pela CIBiogás e pela Itaipu Binacional, em resposta a questionamento formulado pelo pesquisador.

6.000Kg de resíduos por dia (180.000kg por mês), com a operação dos dois biorreatores em paralelo.

Durante o dimensionamento do projeto previu-se a utilização de 1.200kg de poda de grama por dia, mas no período experimental verificou-se que esse material precisaria passar por pré-tratamento, chegando-se a conclusão de que a melhor solução seria a trituração desse substrato em micropartículas, processo que ainda se encontra em implantação.

Eventualmente a planta recebe resíduos diversos, objetos de apreensões da Polícia Federal, Polícia Rodoviária Federal e Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, como fumo, óleo vegetal, feijão, salsicha, carnes e cerveja, e utiliza-os em bateladas-teste. A dieta do reator é adequada conforme a disponibilidade das matérias-primas, e a proporção dos resíduos é calculada, diariamente, com base na Carga Orgânica Volumétrica (COV [kg MOS/m³]), parâmetro que pode variar entre 0,5 a 2,5, dependendo da quantidade de substrato disponível e do biogás que se deseja produzir, e que se refere à quantidade diária de material orgânico fornecido às bactérias. O teor de sólidos no reator pode variar de 2% a 6%.

4.3.3.3 Utilização do esgoto

Também foi prevista, no projeto, a utilização de 10m³ de esgoto por dia como substrato, gerado por aproximadamente 100 pessoas das instalações da Itaipu. Entretanto, constatou-se que havia necessidade de pré-tratamento térmico para a eliminação de patógenos. Além disso, foi identificada grande quantidade de água naquele resíduo, o que demonstrou ser inviável a utilização do esgoto como substrato na co-digestão.

Atualmente, o sistema só se utiliza do esgoto quando se faz necessária a diluição de algum outro substrato. Quando não utilizado na digestão, o esgoto é remetido a tratamento em ETE.

4.3.3.4 Processo de geração de biogás

Em março de 2017 foi feito o *startup* da planta, por meio da utilização de dejetos bovinos para inoculação, ocupando cerca de 50% do reator. A geração de biogás iniciou-se aproximadamente 3 dias após a inoculação e a alimentação com substratos foi iniciada 10 dias após.

Os resíduos orgânicos que servem de substrato são triturados, misturados e bombeados para dois biorreatores do tipo *Continuous Stirred Tank Reactor* (CSTR), ou reator de agitação contínua. Construídos em fibra de vidro modular, cada digestor tem altura de 5m, diâmetro de 10m e volume de 350m³.

A fim de que não haja mudança na rotina das bactérias (e consequente alteração na produção de biogás), alimentação é feita por bateladas, uma vez ao dia, no mesmo horário e com a mesma quantidade de sólidos e líquidos.

Nas paredes internas dos biorreatores circula água quente por serpentinas, a fim de manter a biomassa a 37°C, temperatura ideal à fase mesofílica, em que as bactérias se reproduzem e formam biogás. Também é realizada a agitação hidráulica (pela recirculação entre biorreator e caixa de mistura) e mecânica (via agitador de hélices) da biomassa, para que seja aumentada a área de contato entre as bactérias e a biomassa, otimizando-se a produção do biogás.

Com os dois biorreatores trabalhando em série, o tempo de retenção hidráulica (TRH) fica em torno de 80 dias. Trabalhando em paralelo, o TRH cai para cerca de 30 dias para cada reator.

O biogás produzido é armazenado em dois gasômetros de 250m³ de capacidade cada, e tem a seguinte composição: 62% de CH₄, 38% de CO₂, 240ppm de H₂S, 1.780ppm de H₂ e 0,4ppm de O₂.

O efluente do sistema de DA, chamado de digestato, é composto basicamente por água, P, N e potássio (K). Parte dele é reenviada aos biorreatores, para auxiliar a homogeneização e incrementar a produção de biogás, e o restante é utilizado na fertirrigação das áreas verdes da usina Itaipu. A produção média de digestato, em 2018, foi de 4.000 litros por mês, mas há capacidade para produção de 10.000 litros mensais.

4.3.3.5 Purificação do biogás

O biogás é submetido a um compressor que o envia à torre de resfriamento, onde vai de 80°C para 30°C. Em seguida, o biogás passa pela torre que contém carvão ativado, onde há a adsorção do H₂S.

O gás é então direcionado à torre de absorção de CO₂, onde passa por lavagem em água (*water scrubbing*). Nesse processo, o gás entra a alta pressão pela parte inferior da torre, enquanto a água é aspergida na parte superior. Em contato com o gás, a água absorve CO₂ e, quanto menor sua temperatura, maior a absorção de CO₂.

e CH₄, por isso há necessidade de se controlar esse processo, a fim de que a absorção de CH₄ não seja alta.

A água utilizada no *water scrubbing* é armazenada e flui para a torre de absorção de CO₂ paralelamente com o biogás. Essa solução (água e CO₂) é encaminhada à torre de dessorção, onde a solução é despressurizada e o CO₂, dessorvido (desprendido da água), é lançado para a atmosfera. Concluída essa etapa, a água é bombeada novamente ao reservatório.

Para que o produto final possa atender às exigências da ANP como biometano, há necessidade de remover-se a umidade do biogás. Isto é feito por meio de um sistema de Adsorção com Modulação de Pressão (PSA), que retém a umidade no material adsorvente.

O biometano final é composto por 92% de CH₄, 0,6% de CO₂, 0ppm de H₂S e 0,3ppm de O₂, o que atende às exigências da ANP (ANP, 2017) (mínimo de 90% de CH₄ e máximos de 3% de CO₂, 7ppm de H₂S e 0,8ppm de O₂). O combustível é então comprimido e armazenado nos cilindros, de onde sai para ser utilizado no abastecimento de parte da frota da própria usina de Itaipu. Em 2018, os veículos percorreram 210 mil quilômetros com biometano (AMBIENTE ENERGIA, 2019).

São gerados, atualmente, cerca de 1.130m³ de biometano por mês e a capacidade máxima do sistema é de aproximadamente 13.500m³ mensais.

4.3.3.6 Investimentos realizados e resultados

A implantação do projeto teve o custo total de R\$ 2.200.000,00. O custo mensal de operação e manutenção do sistema gira em torno de R\$ 30.000,00 por mês.

O custo de produção do biometano varia conforme a demanda e a produção de gás, e atualmente fica em torno de R\$ 15,00 o metro cúbico, aí considerados o tratamento dos resíduos, a produção de biogás e o refino para biometano. O custo apenas da produção de biometano foi de, aproximadamente, R\$ 3,78 o metro cúbico, e pode chegar a R\$ 2,25 na utilização da capacidade máxima da planta.

Em 2018 foram gerados 17.000m³ de biometano, o equivalente a 22.667 litros de etanol. Considerando o preço médio do etanol na região (R\$ 2,90 por litro), pode-se dizer que a economia com combustível foi de R\$ 65.734,30. Em substituição à gasolina, o valor economizado seria de aproximadamente R\$ 71.400,00. Utilizando-se a capacidade máxima da planta, essa economia chegaria a R\$ 626.400,00, em substituição ao etanol, e R\$ 680.400,00, em substituição à gasolina.

Como trata-se de um projeto de P&D, a organização não calcula seu *payback*.

A propósito, importante observar que, se o etanol hidratado pode ser substituído à razão de 1/1 pelo biometano (1 litro de etanol equivalendo a 1m³ de biometano), de início a operação já se mostraria desvantajosa, vez que o custo atual do biometano (R\$ 3,78), supera o valor do etanol (R\$ 2,90). O projeto somente aparentaria viabilidade no caso da utilização da capacidade máxima da planta, em que o custo do metro cúbico do biometano cairia para R\$ 2,25.

4.3.3.7 Replicação do sistema desenvolvido

O sistema é tecnicamente replicável e isto, inclusive, é o principal objetivo do estudo. Os custos de aquisição e implementação em outros projetos depende de diversos fatores, como localização geográfica, tipos de substratos disponíveis, escala de produção, modelo de negócio etc. e, sem tais definições, não é possível precificar uma versão comercial.

A CIBiogás e a Itaipu promovem a divulgação do estudo por meio de publicações, parcerias com universidades, visitas técnicas e apresentações em eventos, como congressos, além da divulgação em meios de comunicação de diferentes mídias.

4.4 Casos nacionais em operação contínua

Os dados coletados na amostra permitiram identificar apenas quatro empreendimentos, atualmente ativos e operando continuamente, que procedem ao aproveitamento energético do biogás proveniente da DA do esgoto, conforme demonstra o **Quadro 1**.

Quadro 1: Relação dos empreendimentos nacionais, em atividade, de aproveitamento de biogás proveniente de esgoto.

Empresa	Projeto	Município sede	População atendida	Utilização do biogás
COPASA	ETE Arrudas	Belo Horizonte, MG	977.212	Geração de energia
Ambient	ETE Ribeirão Preto	Ribeirão Preto, SP	555.628	Geração de energia e aquecimento de lodo
SABESP	ETE de Franca	Franca, SP	294.336	Abastecimento veicular
COPASA	ETE Ibitité	Ibitité, MG	63.183	Geração de energia e secagem de lodo

Fonte: elaborado pelo autor com dados coletados na pesquisa.

As iniciativas de aproveitamento energético do biogás em operação foram localizadas em apenas quatro municípios, atendendo a aproximadamente 2.006.191 habitantes, o que representa tão-somente 0,18% dos municípios da amostra, e apenas 0,962% da população brasileira, conforme detalhado no **Apêndice A**.

Na sequência são detalhadas as características de cada projeto em atividade.

4.4.1 ETE Ribeirão Preto (Ambient)

As informações colhidas da ETE Ribeirão Preto, administrada pela Ambient, encontram-se a seguir²². Foi realizada visita técnica à referida planta em data de 04/01/2019, oportunidade na qual também foi realizada entrevista com o Sr. Carlos Roberto Ferreira, Diretor de Operações da GS Inima Brasil. A **Figura 5** representa a vista aérea da planta. Há que se registrar que todos os envolvidos na GS Inima Brasil foram solícitos e colaboraram gentilmente com a pesquisa.

Figura 5: Vista aérea da ETE Ribeirão Preto.

Fonte: Google (2019).

²² Os dados cujas fontes não são mencionadas, no item 4.4.1, foram colhidos via e-mail, em visita técnica e por meio de entrevista realizada com representante da Ambient.

4.4.1.1 A empresa

O tratamento de esgoto de Ribeirão Preto, SP, é de responsabilidade da empresa Ambient Serviços Ambientais de Ribeirão Preto S.A., concessionária dos serviços públicos de tratamento que integra a holding GS Inima Brasil, uma subsidiária do grupo GS Inima.

O grupo GS Inima, sediado em Madrid, originou-se da empresa espanhola Inima, fundada em 1955, especializada em atividades de meio ambiente, que atua com design, tecnologia, construção, operação e manutenção em plantas de dessalinização, tratamento de águas residuárias urbanas e industriais, água de reuso, secagem de lodo e geração de energia (GS INIMA, 2019a). A Inima é reconhecida como a mais antiga empresa espanhola a realizar dessalinização de água salobra por osmose reversa, o que faz desde 1969 (GS INIMA, 2019a).

A Inima foi privatizada no final dos anos 90 e, a partir de 2012, então denominada GS Inima, passou a ser controlada pelo GS Group, o quinto maior conglomerado da Coreia do Sul, com receita de US\$ 93,5 bilhões (em 2014), que atua em refino e distribuição de petróleo, engenharia e construção, supermercados, vendas on-line, energia elétrica, energias renováveis, cimento e esportes (GS INIMA, 2019b). A GS Inima é vinculada ao departamento de engenharia e construção (GS E&C), a maior empresa de engenharia e construção sul-coreana (GS INIMA, 2019b).

A GS Inima é a empresa espanhola que mais administra plantas no exterior em regime de concessão (GS INIMA, 2019a) e, além da Espanha, se faz presente em países como Argélia, Brasil, Chile, Colômbia, Emirados Árabes Unidos, Estados Unidos, Índia, Marrocos, México, Peru, Portugal e Tunísia (GS INIMA, 2019c, 2019d).

A operação da GS Inima Brasil teve início em 1995, quando foram assinados os contratos de concessão do tratamento de esgoto nos municípios de Limeira e Ribeirão Preto (GS INIMA, 2019e). O grupo atua em 8 municípios, por meio de diferentes empresas: Ambient Serviços Ambientais de Ribeirão Preto S.A., em Ribeirão Preto, SP; Soluções Ambientais de Araçatuba S.A. (SAMAR), em Araçatuba, SP; Serviços de Saneamento de Mogi Mirim S.A. (SESAMM), em Mogi Mirim, SP; Araucária Saneamento S.A., em Campos do Jordão, SP; Saneamento Vale do Paraíba S.A. (SANEVAP), em São José dos Campos, SP; Saneamento Alta Maceió S.A. (SANAMA), em Maceió, AL; Companhia de Água Santa Rita S.A. (COMASA), em

Santa Rita do Passa Quatro, SP; Companhia de Água e Esgoto de Paraibuna S.A. (CAEPA) em Paraibuna, SP (GS INIMA, 2019e).

Em 2016 a GS Inima faturou € 157,6 bilhões globalmente, enquanto a subsidiária brasileira – que responde por 45% da receita das operações de saneamento do grupo – faturou R\$ 310 milhões, com lucro de R\$ 33 milhões (ROCHA, 2019).

A Ambient, em Ribeirão Preto, é o maior negócio da empresa no país (ROCHA, 2019) e faz a gestão de duas ETEs, Caiçara e Ribeirão Preto.

A ETE Caiçara trata, diariamente, 18.000 m³ de esgoto proveniente de cerca de 120.000 habitantes da zona leste de Ribeirão Preto, situados na bacia do córrego Palmeiras. Nessa estação, o pré-tratamento compreende a remoção de sólidos (gradeamentos grosso e fino) e de areia e gordura (por sistema de ponte móvel com bomba vertical e separadores). O resíduo do pré-tratamento é disposto em aterro sanitário.

Isento de sólidos, areia e gordura, o esgoto segue para reator biológico aeróbio. A maior parte dos lodos ativados, separados dos efluentes, é desidratada e disposta como adubo orgânico, enquanto o restante é retroalimentado ao reator biológico.

Em havendo epidemias de doenças na região, o esgoto já tratado será desinfetado em câmara de cloração, com posterior lançamento ao rio Pardo.

O processo remove 96% da carga orgânica do esgoto.

4.4.1.2 ETE Ribeirão Preto

A Estação de Tratamento de Esgotos Ribeirão Preto, objeto da visita técnica, trata diariamente 110.000 m³ de esgoto sanitário de cerca de 560.000 habitantes dos bairros situados nas bacias do ribeirão Preto e dos córregos Retiro Saudoso, Tanquinho, Laureano, Antártica, Campos e Catetos.

Coletado na cidade, o esgoto é levado por gravidade, por meio de interceptores, até a unidade de gradeamento grosseiro da ETE, onde os sólidos grosseiros são removidos e descartados em contêiner. Os efluentes são então bombeados até o pré-tratamento, que possui gradeamento intermediário e fino, e desarenador e desengordurador, por meio de ponte móvel com bomba vertical e separadores. Os sólidos grosseiros, intermediários e finos são enviados a aterro sanitário.

O esgoto é então enviado a decantador primário, onde há separação de sólidos sedimentáveis e dissolvidos. O lodo sedimentado é enviado a digestores anaeróbios, enquanto a porção líquida segue para o decantador secundário e, posteriormente, a

reatores biológicos que, por meio de aeração, procedem à deterioração e estabilização da carga orgânica. O lodo secundário é também enviado aos digestores anaeróbios.

Nos biodigestores anaeróbios é produzido um biogás composto com teor de, aproximadamente, 60% de CH_4 . O lodo resultante da digestão é desidratado e utilizado como adubo orgânico. O esgoto tratado é lançado diretamente no Ribeirão Preto com remoção de 96% de carga orgânica e, em caso de necessidade de saúde pública, pode ser desinfetado em câmara de cloração, para eliminação de agentes patógenos.

4.4.1.3 Aproveitamento do biogás

A ETE Ribeirão Preto é a única, de todas as unidades da GS Inima Brasil, que possui biodigestão com aproveitamento de biogás.

Nesta planta, o biogás é gerado por meio dos digestores anaeróbios, em que o lodo de esgoto é digerido, produzindo o biogás. A opção por este tipo de biodigestor se deu em virtude do aproveitamento da expertise da matriz espanhola nesta tecnologia, aliado à sua facilidade de operação e manutenção (se comparado a outros sistemas de difícil operação, como o UASB).

No ano de 2010 teve início o projeto de implementação da tecnologia de aproveitamento energético. A coleta de biogás começou em 2011 e as primeiras experiências na geração de energia ocorreram a partir de 2012.

O biogás gerado pelos biodigestores é armazenado em um gasômetro de membrana e, em seguida, utilizado para geração de energia elétrica por meio de dois conjuntos geradores, como ilustra a **Figura 6**. A água utilizada no arrefecimento do sistema gerador é utilizada para aquecer o lodo e acelerar o processo de biodigestão.

Figura 6: Sistemas de aquecimento de lodo, conjuntos geradores e gasômetro.

Fonte: registro próprio.

Submetido à análise pela empresa White Martins, o biogás gerado na planta apresentou teor de CH_4 de 64,4% e H_2S de 260ppm, dentre outras características, dispostas na **Tabela 15**.

Tabela 15: Composição do biogás gerado na planta.

Componente	Valor na saída dos digestores	Valor na entrada nos geradores
O_2	1,5%	0,08%
N_2	7,2%	0,5%
CO_2	28,5%	31,6%
CH_4	58,6%	64,4%
H_2S	27ppm	26ppm
H_2O	4,3%	3,3%

Fonte: elaborada pelo autor com dados colhidos na pesquisa, relativos a 18/06/2014.

Embora o teor de H_2S presente no biogás seja considerado pela empresa como dentro dos parâmetros normais de projetos semelhantes, houve grande preocupação em encontrar um conjunto gerador compatível com a substância, que mostrasse durabilidade e desempenho satisfatórios. O H_2S é substância altamente corrosiva ao aço, o que inviabiliza sua utilização por motores comuns.

Por conta dessa característica em particular, aliada à necessidade de constante manutenção preditiva e preventiva do sistema, a Ambient escolheu como fornecedora

a indústria espanhola Guascor. Além dos conjuntos geradores escolhidos possuírem tratamento resistente à corrosão, a Guascor mantém representação no Brasil, com equipes locais de manutenção, obrigadas contratualmente a realizar reparos em até 24h após acionadas.

Estão instalados dois conjuntos geradores Guascor, compostos por um motor de combustão interna Ciclo Otto de oito cilindros cada, com capacidade de geração de 500kWh, como representado pela **Figuras 7 e 8**.

Figuras 7 e 8: Detalhes do conjunto gerador Guascor, instalado em contêiner.

Fonte: registro próprio.

Um conjunto trabalha cerca de 17h por dia, enquanto o outro funciona cerca de 7h diárias. Os dois operam diariamente, embora sempre de forma alternada, ou seja, enquanto um opera o outro repousa. Isso facilita a manutenção dos motores e oferta maior disponibilidade de energia. Na eventualidade de parada dos dois conjuntos o biogás excedente é queimado em *flares*.

Atualmente a energia gerada por meio do biogás na ETE Ribeirão responde por cerca de 55 a 60% do total consumido diariamente, e o restante é adquirido da Companhia Paulista de Força e Luz (CPFL), via demanda contratada.

Como não existe autossuficiência na geração de energia, na hipótese de queda de energia da rede da CPFL a ETE se vê obrigada a desligar seus sistemas de tratamento, quando os efluentes necessitam ser extravasados diretamente para o rio. Isso se dá porque ainda não existe um sistema automatizado capaz de distribuir e priorizar a energia dos geradores a equipamentos vitais, necessários à operação mínima da ETE.

4.4.1.4 Investimentos realizados

A Ambient não permitiu a divulgação do investimento realizado na implementação do sistema de aproveitamento de biogás, mas forneceu algumas informações a respeito do processo.

Como a construção da planta ocorreu bem antes da instalação do sistema de aproveitamento de biogás (inauguração no ano de 2002) – e, inclusive, antes da Ambient assumir a administração da planta – seu custo não foi computado pela empresa no cálculo do investimento e de demais indicadores. Também não foram computados ao investimento os custos de instalação do sistema de digestão anaeróbia, que é contemporâneo à construção da planta da ETE (anteriormente o biogás gerado era queimado em *flares*). Assim, os investimentos realizados para o aproveitamento do combustível resumem-se à instalação de conjunto gerador de energia, que se alimenta do biogás proveniente do biodigestor sem purificação, apenas desidratado por sistema simples de remoção de umidade.

A época do desenvolvimento do projeto de geração de energia, segundo a empresa, o valor internacional de mercado utilizado como parâmetro para instalação de projetos semelhantes girava em torno de US\$ 1 milhão a cada megawatt instalado. Entretanto, a empresa afirma ter conseguido significativa redução desse valor para a instalação de seus 1,5 megawatts.

O custo mensal de operação e manutenção exclusivos do sistema de aproveitamento do biogás não é conhecido, já que não é destacado dos demais custos fixos e variáveis da planta.

O *payback* do projeto da Ambient realizado em Ribeirão preto foi estimado entre 6,5 e 7 anos.

4.4.1.5 Resultados obtidos

A empresa deixa claro que seu *core business* é o tratamento de esgoto, e não a geração de energia, por isso os investimentos feitos em aproveitamento do biogás têm por objetivo reduzir o custo operacional da planta, o que tem conseguido alcançar.

Como mencionado, o sistema de biogás responde por cerca de 50 a 60% da energia consumida pela planta, o que significa redução nos custos da aquisição de energia de terceiros. De fato, a Ambient possui demanda contratada da CPFL e

eventual excedente sujeita a unidade consumidora a elevada multa, por isso a importância do correto dimensionamento e funcionamento do sistema²³.

Não havendo autossuficiência, a energia é gerada em sistema de “ilha”, ou seja, sem conexão com o *grid* energético da CPFL. Ademais, não havendo excedente energético, não existe a venda da eletricidade gerada. Todavia, a infraestrutura existente possibilita essa atividade, caso seja feito um futuro aumento da capacidade de geração.

Isso porque, como a Ambient procedeu ao registro de sua central energética na ANEEL (Registro ANEEL UTE.RU.SP.030472-1.01, com potência outorgada de 1,5 MW (ANEEL, 2019b) , a CPFL teve que realizar incrementos na linha transmissora, a fim de possibilitar o recebimento de possível futura geração de energia proveniente da Ambient.

Considerando que o consumo mensal de energia da ETE é de 1.021.117 kWh mensais, e que a autogeração diária corresponde a algo em torno de 55% (conforme dados informados pela Ambient), pode-se concluir que deixam de ser adquiridos da fornecedora de energia cerca 561.614,35 kWh mensais. Em simulação realizada no site da CPFL para empresas (CPFL EMPRESAS, 2019), verifica-se que o valor médio do MWh da demanda contratada (tarifa azul, bandeira verde, valor médio de R\$ 422,39 MWh) para serviços de água e esgoto (que possuem um desconto de 15%) corresponde a R\$ 359,04 que, com tributos (18% de ICMS, 0,86% PIS e 3,97% de COFINS), alcança R\$ 440,99 por MWh. Dessarte, a economia mensal gerada pela produção de energia corresponde ao valor estimado de R\$ 247.664,39 (561,61 MWh x R\$ 440,99/MWh).

A empresa está desenvolvendo estudos para realizar a cogeração de energia, por meio da instalação de painéis fotovoltaicos em suas ETEs (LIMA, 2019). Essa experiência está sendo implementada na SESAMM, unidade de Mogi Mirim do grupo GS Inima. Se esse projeto piloto obtiver sucesso, a empresa estuda a possibilidade de sua implantação também na ETE Ribeirão.

²³ Demanda contratada, segundo a ANEEL (2010, Art. 2º, XXI), é “a demanda de potência ativa a ser obrigatória e continuamente disponibilizada pela distribuidora, no ponto de entrega, conforme valor e período de vigência fixados em contrato, e que deve ser integralmente paga, seja ou não utilizada durante o período de faturamento.”

4.4.1.6 Síntese dos dados coletados

Na **Tabela 16** estão consolidados os dados coletados na ETE Ribeirão Preto.

Tabela 16: Resumo dos dados coletados na ETE Ribeirão Preto.

Parâmetro	Valor
Sede da ETE	Ribeirão Preto
Municípios atendidos	Ribeirão Preto (80%)
População atendida	~ 555.628 habitantes
Vazão de esgoto tratado	4.031.685 m ³ por mês
DBO de entrada	210 mg/L
DBO de saída	12,5 mg/L
DQO de entrada	420 mg/L
DQO de saída	25,3 mg/L
Tratamentos realizados	Primário; secundário; cloração eventual
Características do sistema	Lodos ativados
Início de geração de biogás	02/2011
Início de geração de energia	2012
Investimentos em geração, captação, acumulação de biogás e geração de energia	Não divulgados
Custo de operação e manutenção do sistema	Não há individualização
Biogás coletado atualmente	2.895.784 m ³ por ano
Energia elétrica gerada atualmente por biogás	4.551.616 kWh por ano
Qtd. máxima de biogás passível de ser coletada	3.240.000 m ³ por ano
Energia elétrica total capaz de ser gerada	7.128.000 kWh por ano
Energia elétrica consumida pela ETE	1.021.117 kWh por mês
Receita estimada da utilização da energia gerada	R\$ 247.664,39 por mês
Receita da comercialização da energia	Não há
Expectativa de <i>payback</i> do investimento	6,5 a 7 anos

Fonte: elaborada pelo autor com dados coletados em visita técnica à ETE.

4.4.2 ETE de Franca (SABESP)

A visita técnica e a entrevista realizadas para colher os dados da ETE de Franca, de responsabilidade da SABESP, ocorreram no dia 22 de fevereiro de 2019²⁴. A visita foi guiada pelo Sr. Alexandro Alcuten de Melo, Técnico de Sistema de Saneamento da planta, que mostrou as instalações da estação e explicou os processos. Durante a visita ao sistema de armazenamento e purificação do biogás, o Sr. Marcos Cason, Engenheiro Eletricista e de Manutenção, se fez presente e auxiliou nas explicações. Por fim, foi realizada entrevista com o Sr. Luciano Reami, Gerente de Setor de Tratamento de Esgoto da ETE de Franca. A vista aérea da planta da ETE de Franca é ilustrada na **Figura 9**.

²⁴ Os dados do item 4.4.2 que não possuem menção expressa à fonte foram colhidos pelo pesquisador por e-mail, visita técnica e entrevista realizada com representante da SABESP.

Figura 9: Vista aérea da planta da ETE de Franca.

Fonte: Google (2019)

Os representantes da empresa, em Franca, assim como os funcionários da empresa, de outras localidades, prestaram gentilmente as informações necessárias e esforçaram-se em colaborar com a pesquisa. Os dados, coletados, são trazidos nos itens seguintes.

4.4.2.1 A empresa

Fundada em 1973, a SABESP é uma sociedade anônima de economia mista cujo capital social – composto integralmente por ações ordinárias – é 50,3% de propriedade do Governo do Estado de São Paulo, enquanto 31,4% são negociados no Novo Mercado da Bolsa de Valores, Mercadorias e Futuros de São Paulo (código SBSP3) e 18,3% são negociados, na forma de *American Depositary Receipts*, na Bolsa de Valores de Nova York (código SBS) (SABESP, 2019a, 2019b).

Considerada a maior empresa distribuidora de água e de tratamento de esgoto nacional, e a quarta maior do mundo (PINESSENT MASON, 2010), a companhia é

hoje responsável pelo fornecimento de água, coleta e tratamento de esgotos de 371 municípios do Estado de São Paulo. A SABESP responde, sozinha, por cerca de 30% do investimento em saneamento básico feito no Brasil e, no período 2018-2022, planeja investir R\$ 17,3 bilhões na ampliação da disponibilidade e segurança hídrica (SABESP, 2019a).

A empresa abastece 27,9 milhões de pessoas com água potável, distribuindo 119 mil litros de água por segundo, produzidos por suas 240 estações de tratamento, a 8,9 milhões de ligações, através de 73,4 mil quilômetros de redes e adutoras (SABESP, 2019a).

O esgoto é coletado pela companhia em 7,4 milhões de ligações cadastradas e transportado por 49,2 mil quilômetros de redes e 2,2 mil quilômetros de coletores, emissários e interceptores, até as 565 ETE de sua responsabilidade (SABESP, 2019c). Seus números, acerca da universalização da distribuição de água tratada (desde 1998) e da coleta e tratamento de esgoto, posicionam-na no mesmo patamar que países do primeiro mundo, como Bélgica, Itália e Reino Unido (SABESP, 2019c).

A SABESP atua ainda nos segmentos de água de reúso (como sócia do Aquapolo Ambiental, que abastece o Polo Petroquímico de Capuava), de esgotos não sanitários (por meio da sociedade na empresa Attend Ambiental), de geração de energia elétrica (como sócia da Paulista Geradora de Energia S.A.) e de serviços e consultoria no Panamá (em parceria com a Latin Consult) (SABESP, 2019c).

4.4.2.2 ETE de Franca

O município de Franca, cuja população é estimada em 350.400 habitantes (IBGE, 2018), é destaque nacional em relação a saneamento. Em ranking de 2018, do Instituto Trata Brasil, foi considerado o melhor do país em dados consolidados, apresentando 100% de índice de atendimento urbano de água (primeiro lugar nesse quesito), 99,62% de índice total de esgoto (oitavo colocado nesse indicador), 100% em índice urbano de esgoto (primeiro lugar nacional) e 98,03% de esgoto tratado relativamente à água consumida (INSTITUTO TRATA BRASIL, 2018). Também foi objeto de destaque no ranking da Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES) de 2018: Franca estava entre os 29 municípios de grande porte do país em universalização do saneamento, obtendo pontuação máxima em tratamento de esgoto e ocupando a nona colocação considerados o abastecimento de água, a

coleta e tratamento de esgoto e a coleta e destinação de resíduos sólidos (ABES, 2019).

Em 02/03/1998 era inaugurada a ETE de Franca, considerada, à época, a mais moderna da América Latina. O livro de registro da solenidade de inauguração afirma que, com população em torno de 300 mil habitantes, Franca era uma das primeiras cidades desse porte a ter 100% de esgoto coletado e tratado. Além da ETE de Franca, o município é atendido por mais oito ETEs.

Embora aparente as marcas do tempo e da falta de manutenção em boa parte das instalações expostas ao ar livre (deterioração esta causada por conta da ausência de dotação orçamentária específica para manutenção), a ETE de Franca foi concebida para ser uma estação-modelo, e nela foi empregado material de construção de primeira qualidade. Detalhes como pastilhas hidráulicas, mirantes, passarelas, torres de observação, guarda-corpos em profusão e ausência de espaços confinados deixam clara a vocação da planta como local propício para visitaço e pesquisa.

Embora a maior parte do esgoto chegue por gravidade, há 40 estações elevatórias no município, que servem também às outras 8 ETEs. A ETE de Franca opera com folga, já que sua capacidade projetada é para 750 L/s e, atualmente, recebe em torno de 500 L/s.

O tratamento inicia-se pelo gradeamento de sólidos grosseiros via braço mecânico automático e esteira coletora, sendo os resíduos encaminhados a aterro. Daí o efluente segue para os tanques de decantação, onde ocorre a separação do lodo; este segue para os dois biodigestores anaeróbios de altura aproximada de 8 andares cada (dois dos quais localizados abaixo do nível do solo), ilustrados pela **Figura 10**, enquanto a porção líquida é remetida aos tanques de aeração (um tanque atende à vazão atual, enquanto o outro fica de reserva) e aos decantadores secundários. A estação também recebe chorume proveniente de aterro sanitário, que é misturado em partes à porção líquida, logo em seguida esta passar pela aeração.

Figura 10: Vista lateral dos biodigestores.

Fonte: registro próprio.

O lodo, adensado e degradado pelos biodigestores, segue para um sistema de secagem, onde é prensado por roletes e segue em esteiras com peneiras vibratórias que removem o excesso de água, conduzindo-o finalmente a um galpão, por meio de outra esteira, onde uma pá-carregadeira o amontoa e o coloca em caminhões, que o transportarão até o aterro sanitário para disposição final. A planta conta com uma estufa experimental, que está sendo objeto de reforma, com a finalidade de diminuir mais ainda massa do lodo, por meio da remoção de umidade, fazendo com que se diminuam os custos de transporte final do lodo (que é cobrado por peso) e permitindo a utilização do resíduo final como adubo orgânico.

Os efluentes, já tratados, são, em parte, armazenados para utilização como água de reúso na própria planta, especialmente para a realização de limpeza de equipamentos e de piso. O restante é lançado num córrego que passa nos fundos da estação.

Dentro das instalações da ETE também há um grande e bem equipado laboratório, em que profissionais especializados realizam várias medições e controles de qualidade, como medições de DBO, DQO, oxigênio dissolvido, N, P, densidade, turbidez, sólidos etc.

A planta também possui espaço livre para a construção de sistemas adicionais, o que possibilita aumentar sua capacidade face ao futuro aumento populacional do município.

4.4.2.3 Aproveitamento do biogás

Atualmente, de todas as ETEs geridas pela SABESP, a de Franca é a única que faz o aproveitamento do biogás gerado na decomposição do esgoto, ainda que existam vários biodigestores espalhados pelo interior paulista.

Grande parte das ETEs de cidades menores é equipada com lagoas de estabilização, algumas das quais aeradas, e não há captação de biogás. Na ETE de Barueri há captação de biogás e, ocasionalmente, geração de energia, vez que existe conjunto gerador instalado para esta finalidade, mas apenas em caráter experimental, não havendo sistema de aproveitamento que funcione ininterruptamente.

A planta de Franca passou a aproveitar o biogás gerado em seus biodigestores recentemente, graças a um Acordo de Cooperação Técnica Internacional entre Brasil e Alemanha, firmado entre a SABESP e o Instituto Fraunhofer (Fraunhofer IGB), financiado pela iniciativa internacional de proteção ao clima, do Ministério Alemão do Meio Ambiente, via créditos de carbono, com contrapartida financeira da SABESP.

O acordo, assinado em 2015, previa a instalação de uma planta de beneficiamento de biogás (com reservatório e posto de combustível), a realização das obras de infraestrutura necessárias, a interligação do projeto às instalações existentes de biogás e as adequações necessárias exigidas pelos órgãos reguladores (MIKI, 2018).

Eis como funciona o sistema: os digestores anaeróbios produzem cerca de 120 Nm³ de biogás por hora, com teor de CH₄ de 65%, CO₂ de 30%, 4% de H₂O, 0,8% de N₂ e 0,2% de O₂, para produzir biometano com teor de CH₄ em torno de 97% (MIKI, 2018).

O biogás coletado nos digestores é soprado para um gasômetro de dupla membrana (com capacidade para 1.040m³ a 28mbar), de onde é coletado e enviado

ao beneficiamento, sendo posteriormente comprimido e armazenado à alta pressão em cilindros, conectados a bomba de abastecimento veicular.

A unidade de beneficiamento, principal componente do processo, foi exatamente a parte doada pelo Instituto Fraunhofer, que veio totalmente montada e instalada dentro de um contêiner, que foi recebido pela SABESP, fixado em base de concreto e conectado às instalações hidráulicas e elétricas. O próprio contêiner é a instalação de purificação, como detalham as **Figuras 11 e 12**.

Figuras 11 e 12: Vistas externa e interna do contêiner onde é realizado o beneficiamento do biogás.

Fonte: registro próprio.

O processo de beneficiamento do biogás, que é todo automatizado, é explicado por Waelkens et al. (2018): a) o biogás proveniente do gasômetro é comprimido a 5bar e resfriado a 5°C, quando ocorre a remoção do vapor d'água; b) o gás é reaquecido a temperatura ambiente e passa por filtro de carvão ativado, onde o H_2S é removido via adsorção, e reage para enxofre elementar; c) na sequência, o biogás segue por quatro colunas onde passa por um processo por adsorção por oscilação de pressão, em que o CO_2 é adsorvido por uma peneira molecular de carbono; d) cada coluna possui ciclos alternados de adsorção e regeneração, a fim de permitir o fluxo contínuo de CH_4 ; e) caso o biometano final não esteja de acordo com as especificações técnicas, ele

retorna ao início do processo, até que as atinja; f) o biometano, até então inodoro, recebe injeção de mercaptano, para que tenha odor e possa ser percebido em caso de vazamento; g) ao final, o combustível é comprimido a 280 bar e armazenado em reservatório de alta pressão, composto por conjunto de cilindros que podem ser expandidos; h) o reservatório é conectado via tubulação subterrânea ao *dispenser*, uma bomba de combustíveis que possui o sistema de abastecimento veicular. Apenas um funcionário da planta está autorizado a realizar os abastecimentos. Além de treinamento específico, esse funcionário percebe adicional de periculosidade.

Quando o reservatório de biometano e o gasômetro estão cheios, ou quando há necessidade de manutenção no sistema, o excesso de biogás da planta é queimado em dois *flares*, o que ocorre com frequência, já que o consumo atual de biometano é bem inferior à capacidade produtiva da planta. A **Figura 13** ilustra o posto de abastecimento e o gasômetro.

Figura 13: Posto de abastecimento de biometano e gasômetro, à direita.

Fonte: registro próprio.

Atualmente há 19 veículos leves e utilitários leves (carros de passeio e *pick-ups*) rodando com biometano exclusivamente para a SABESP, todos alugados por meio de contrato específico com locadora, que já forneceu os automóveis com o kit GNV instalado. Todavia, a planta tem capacidade para abastecer até 200 veículos com

biometano, e a empresa continuará a substituir sua frota, gradualmente, por novos veículos adaptados. A **Figura 14** ilustra um dos veículos sendo abastecido.

Figura 14: Veículo da frota da SABESP sendo abastecido com biometano.

Fonte: registro próprio.

O consumo mensal de insumos do sistema é pequeno. Além de energia elétrica, são consumidos três gases de calibração mais o odorizador, cujos cilindros custam entre R\$ 1.000,00 e R\$ 4.000,00 e duram vários meses.

No processo de purificação é liberado um *off-gas* em quantidade suficiente para aumentar a concentração de CH₄ do biogás de cerca de 65% para acima de 97%. Esse *off-gas*, rico em CO₂, é eliminado para a atmosfera, mas há possibilidade futura de seu aproveitamento para fins industriais (WAEKENS et al., 2018). As emissões de GEE são reduzidas através da redução das emissões de CH₄, face à queima incompleta em *flare* aberto e ante a não utilização de combustíveis fósseis (WAEKENS et al., 2018).

4.4.2.4 Investimentos realizados

À época em que foi concebido (2015), o projeto totalizava R\$ 7.377.639,46, dos quais R\$ 4.116.690,00 (55,80%) provieram do Instituto Fraunhofer, representados pela doação de equipamentos de beneficiamento do biogás e de assistência técnica especializada para o projeto, enquanto R\$ 3.260.949,46 (44,20%) foram a contrapartida da SABESP, destinados às obras civis e da linha de biogás, do sistema elétrico, da adaptação de veículos para GNV e para o pagamento de taxas, impostos e licenças (MIKI, 2018).

4.4.2.5 Resultados obtidos

Em 2018 foram produzidos 16.030m³ de biometano e foram feitos 1.772 abastecimentos veiculares. Como a empresa registrou detalhadamente o consumo dos veículos no período, já é possível ter-se uma ideia dos resultados preliminares do projeto, o que é apresentado na **Tabela 17**, onde percebe-se a economia obtida pelo abastecimento de veículos a biometano versus o abastecimento do equivalente a etanol (para rodar a mesma distância). Considerou-se a autonomia dos veículos abastecidos com biometano como sendo de 200km a cada 15m³ de biocombustível (que é a capacidade máxima do cilindro do veículo), dado comprovado pela prática.

Tabela 17: Comparação entre quantidade de biometano utilizada e quantidade correspondente de etanol para abastecimento da frota.

Mês	Quantidade de biometano efetivamente utilizado no abastecimento da frota		Quantidade de etanol equivalente		Economia
	Biometano qtd. (m3)	Biometano custo (R\$)	Etanol qtd. (L)	Etanol custo (R\$)	
Abr	1.378,88	3.847,08	2.298,13	6.159,00	37,54%
Mai	1.704,49	4.755,53	2.840,82	7.613,39	37,54%
Jun	1.905,79	5.317,15	3.176,32	8.512,53	37,54%
Jul	2.030,10	5.663,98	3.383,50	8.221,91	31,11%
Ago	1.707,87	4.764,96	2.846,45	6.916,87	31,11%
Set	1.752,38	4.889,14	2.920,63	7.097,14	31,11%
Out	1.453,42	4.055,04	2.422,37	5.934,80	31,67%
Total	11.932,93	33.292,87	19.888,22	50.455,63	34,02%

Fonte: elaboração própria com dados colhidos na pesquisa, relativos ao ano de 2018.

Pelos cálculos da SABESP, o custo do metro cúbico do biometano produzido na planta foi de R\$ 2,79, contra os R\$ 3,37 praticados na região (como não há oferta de GNV em postos de Franca, tomou-se por base o preço do metro cúbico do GNV

cotado em posto Petrobrás de Ribeirão Preto, localizado na Rua Capitão Salomão, 2.340, em data de 21/02/2019). Portanto, o custo do biometano produzido por meio do esgoto foi 17,21% menor que o preço de mercado do GNV.

A redução do consumo mensal global dos centros de custo em que a ETE está inserida vem mitigar suas despesas de operação, que são elevadas. O custo mensal de operação do setor todo, que engloba a ETE de Franca, mais 8 outras ETEs e 40 estações elevatórias, atingiu R\$ 1.687.050,36 no mês de setembro de 2018. Desse total, o consumo mensal de energia elétrica foi de 28,83% (R\$ 486.373,76), sendo R\$ 197.907,84 despendidos exclusivamente pela ETE de Franca.

A SABESP esclarece que, como se trata de um projeto de P&D e, portanto, experimental, o retorno do investimento não foi o item de maior relevância quando da tomada de decisão pela implementação. Considerando-se o investimento global, incluindo não apenas o sistema de purificação, abastecimento e respectivas obras de engenharia, mas também os eventuais custos para adequação da frota de veículos existentes, estimou-se o *payback* em aproximadamente 7 anos, considerado aí o abastecimento regular de uma frota de 200 veículos, que é a capacidade total da planta.

4.4.2.6 Síntese dos dados coletados

Na **Tabela 18** estão consolidados os dados coletados na ETE de Franca.

Tabela 18: Resumo dos dados coletados na ETE de Franca.

Parâmetro	Valor
Sede da ETE	Franca
Municípios atendidos	84% do esgoto de Franca
População atendida	~ 294.336 habitantes
Capacidade de vazão média de esgoto	750 L/s
Vazão média de esgoto tratado	500 L/s
DBO de entrada	350 mg/L
DBO de saída	15 – 20 mg/L
Tratamentos realizados	Primário e secundário
Características do sistema	Lodo ativado convencional
Início de geração de biogás	Desde 1998
Início de geração de biometano	04/2018
Investimento no sistema de geração de biogás	Já havia sistema desde a construção da planta
Investimento em captação, acumulação, distribuição, purificação, armazenamento e abastecimento de biometano (contrapartida SABESP)	R\$ 3.260.949,46
Investimento em captação, acumulação, distribuição, purificação, armazenamento e abastecimento de biometano (parcela doada pelo Instituto Fraunhofer)	R\$ 4.116.690,00
Custo de operação e manutenção de todo o setor (o sistema de aproveitamento não está individualizado)	R\$ 1.687.050,36 ao mês
Biogás coletado atualmente	120 Nm ³ por hora
Qtd. máxima de biogás passível de ser armazenada	1.040m ³ a 28mbar
Biometano total capaz de ser gerado	3.000 a 3.500 Nm ³ por dia
Energia elétrica consumida pela ETE	R\$ 486.373,76 mensais
Economia atual pela utilização do biometano (abastecimento dos 19 veículos existentes)	R\$ 29.421,88 ao ano
Economia máxima projetada pelo uso do biometano (abastecimento de 200 veículos)	R\$ 309.704,00 ao ano
Receita da comercialização da energia	Não há
Expectativa de <i>payback</i> do investimento	Aproximadamente 7 anos, funcionando em capacidade total

Fonte: elaborada pelo autor com dados coletados em visita técnica à ETE e fornecidos pela empresa.

4.4.3 ETE Arrudas (COPASA)

A Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA) forneceu voluntariamente alguns dados relativos à planta da ETE de Arrudas²⁵. No entanto, foram negados dados financeiros (sob a argumentação de que estariam revestidos de sigilo bancário, estratégico, comercial ou industrial), assim como também foram negados outros dados públicos e abertos (como existência de outras ETEs produzindo energia). O pesquisador fez pedido de informações via Sistema de Informação ao Cidadão (e-SIC), que foi negado e objeto de recursos em primeira e segunda instâncias, também negados. Somente após recurso à Controladoria Geral do Estado

²⁵ Os dados que não possuem menção expressa à fonte, no item 4.4.3, foram colhidos pelo pesquisador via e-mail, diretamente com a COPASA e seus representantes.

de Minas Gerais é que os dados foram fornecidos, e encontram-se a seguir e no subitem seguinte.

Presente em 629 municípios (entre serviços de água e esgoto) (COPASA, 2019), a COPASA tem concessão de esgoto em 307 municípios, dos quais 49 ainda não possuem operação, em 85 fazem apenas a coleta e em 173 realizam o tratamento de esgoto.

Atualmente, quatro ETEs da companhia realizam o aproveitamento do biogás: a ETE Arrudas realiza a geração de energia elétrica e, com a energia térmica resultante dos gases de escape das microturbinas geradoras, aquece o lodo nos biodigestores; a ETE Ibirité utiliza o biogás para gerar energia e secar o lodo que, desidratado, é também queimado, para auxiliar na secagem do lodo úmido; nas ETEs Betim Central e Vieiras/Montes Claros o biogás é queimado para a secagem do lodo.

Localizada em Belo Horizonte, a ETE Arrudas utiliza o sistema de lodos ativados (convencional), com estabilização anaeróbia de lodos, que produz biogás com teor aproximado de 65% de CH₄, armazenado em dois reservatórios com capacidade de 3.200m³ cada. Dos gasômetros o biogás é processado em duas unidades com capacidade de processamento de 600m³ cada, onde é realizada sua compressão, secagem e remoção de siloxanos por adsorção em filtro de carvão ativado.

Na presença de oxigênio, o biogás purificado é queimado em uma central termoelétrica e os gases resultantes dessa combustão passam por turbinas, que produzem eletricidade. Na saída das turbinas os gases atingem temperatura de 280°C e são utilizados para o aquecimento da água que serve de fluído térmico para aquecimento do lodo dos digestores, ocorrendo, por conseguinte, a cogeração. O sistema compreende 3 conjuntos C800 Capstone, de 4 microturbinas de 200kW cada, totalizando 12 turbinas com potência instalada de 2,4MW.

As obras de construção da ETE Arrudas envolveram três contratos distintos (complementação da Etapa III da ETE do Rio Arrudas, fornecimento de equipamentos para o tratamento primário e execução de obras de ampliação para elevação do volume tratado para 3, 375m³/s em nível secundário).

Não há informações específicas sobre os investimentos realizados nos contratos 1 e 2, mas o terceiro e mais recente, de 2011, consumiu R\$ 16.920.000,00 (referência de 10/2010), utilizados para a construção dos digestores.

Já o sistema de aproveitamento energético para geração de energia consumiu R\$ 50.000.000,00, com payback previsto de 7,9 anos e TIR de 20,9%. Referido investimento (R\$ 50.000.000,00 em 2008), corrigido pelo IGP-M até abril de 2019, totaliza R\$ 88.518.535,00.

A energia gerada é utilizada integralmente pela própria ETE e mitiga seus custos operacionais. Em 2017 a ETE gerou 4.892.696kWh e consumiu 9.251.640 kWh, ou seja, 52,88% da energia consumida foi produzida na planta, tendo o restante sido adquirido da Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG). Os coeficientes de geração de eletricidade, em 2017, foram de 0,07kWh por m³ de esgoto tratado, 0,345kWh/kg de DBO removida e 5,119kWh por habitante ao ano.

Considerando a tarifa industrial vigente (CEMIG, 2019), a autogeração representa uma economia anual de cerca de R\$ 3.688.156,38, não contabilizados os benefícios advindos da cogeração que aquece o lodo, reduzindo o tempo de retenção hidráulica dos digestores e otimizando o processo.

Na **Tabela 19** estão consolidados os dados coletados na ETE Arrudas.

Tabela 19: Resumo dos dados da ETE Arrudas.

Parâmetro	Valor
Sede da ETE	Belo Horizonte
Municípios atendidos	Belo Horizonte (percentual)
População atendida	977.212 habitantes
Vazão de esgoto tratado	5.752.080m ³ ao mês (2017)
DBO de entrada	272 mg/L
DBO de saída	58 mg/L
DQO de entrada	598 mg/L
DQO de saída	171 mg/L
Tratamentos realizados	Lodos ativados (convencional)
Características do sistema	Microturbinas
Início de geração de biogás	2000
Início de geração de energia	2014
Investimento no sistema de geração de biogás	R\$ 16.920.000,00 (2010)
Investimento nos sistemas de captação, acumulação, purificação, distribuição de biogás e geração de energia	R\$ 50.000.000,00 (2008)
Custo de operação e manutenção do sistema	N/d
Biogás gerado atualmente	4.199.040m ³ ao ano (2017)
Energia elétrica gerada atualmente por biogás	4.892.696 kWh por ano (2017)
Qtd. de biogás passível de ser armazenada	6.400m ³
Capacidade instalada	2,4MW
Energia elétrica consumida pela ETE	9.251.640 kWh por ano (2017)
Economia estimada pela energia gerada	R\$ 3.688.156,38 ao ano
Receita da comercialização da energia	Não há comercialização
Expectativa de <i>payback</i> do investimento	7,9 anos

Fonte: elaboração própria com dados coletados na pesquisa.

4.4.4 ETE Ibitaré (COPASA)

Localizada no município mineiro homônimo, a ETE Ibitaré utiliza o biogás gerado na DA tanto para geração de energia elétrica quanto para secagem de lodo que, já seco, é comburido para a geração de energia térmica, que também é aproveitada na secagem do lodo²⁶.

A ETE realiza os tratamentos primário, secundário e terciário, por meio de digestores anaeróbios de lodo, responsáveis pela estabilização do lodo primário e secundário, e por digestores de lodo terciário. Desde 07/2015 a planta produz biogás e, a partir de 02/2017, começou a gerar energia elétrica.

A construção dos digestores primário e secundário consumiu R\$ 3.750.000,00 (valores base 05/2011), e os sistemas de captação, acumulação, purificação e distribuição do biogás e geração de energia consumiram mais R\$ 8.900.000,00 (em 05/2011) que, atualizados para valor presente (04/2019) via IGP-M, atingem R\$ 14.014.117,11.

Segundo a companhia, foram realizados estudos que, considerando a economia na aquisição de energia elétrica e no transporte de lodo, apontaram *payback* descontado de 12,85 anos e TIR de 14.83% para o projeto.

Embora o sistema colete atualmente 148.361 m³ de biogás anualmente, sua capacidade projetada é para até 1.071.640 m³ ao ano. O custo médio mensal de tratamento dos efluentes, em 2018, foi de R\$ 204.794,00.

A planta tem capacidade instalada de geração de 184MW de energia elétrica ao ano e, em 2018, gerou 103.994kWh, ou seja, cerca de 6,7% do total de 1.550.894 kWh que consumiu no mesmo período. A economia com a autogeração de energia, segundo parâmetros informados pela empresa, é de aproximadamente R\$ 46.648,02 anuais (o custo médio anual do kWh de energia elétrica da planta, em 2018, foi de aproximadamente R\$ 0,4485), mas tem capacidade para chegar a R\$ 82.524,00, caso a planta opere em sua capacidade máxima de geração de energia.

A **Tabela 20** apresenta o resumo dos dados da estação de tratamento.

²⁶ Os dados do item 4.4.4 que não possuem menção à fonte foram colhidos pelo autor na pesquisa.

Tabela 20: Resumo dos dados da ETE Ibirité.

Parâmetro	Valor
Sede da ETE	Ibirité
Municípios atendidos	Ibirité
População atendida	63.183 habitantes
Vazão de esgoto tratado	2.083.899 m ³ ao ano (2018)
DBO de entrada	295,2 mg/L
DBO de saída	8,5 mg/L
DQO de entrada	809,8 mg/L
DQO de saída	33,1 mg/L
Tratamentos realizados	De primário a terciário
Características do sistema	Digestores anaeróbios de lodo e lodo terciário
Início de geração de biogás	07/2015
Início de geração de energia	02/2017
Investimento em digestores primário e secundário	R\$ 3.750.000,00
Investimento em captação, acumulação e distribuição do biogás e geração de energia	R\$ 8.900.000,00 (05/2011)
Custo de operação e manutenção do sistema	R\$ 204.794,00 ao mês
Biogás gerado atualmente	148.361m ³ ao ano (2018)
Energia elétrica gerada atualmente por biogás	103.994kWh (2018)
Qtd. de biogás passível de ser gerada	1.071.640m ³ ao ano
Energia elétrica total capaz de ser gerada	184MWh ao ano
Energia elétrica total consumida pela ETE	1.550.894 kWh ao ano (2018)
Economia estimada pela energia gerada	R\$ 46.648,02
Receita da comercialização da energia	Não há comercialização
Expectativa de <i>payback</i> do investimento	12,85 anos

Fonte: elaboração própria com dados coletados na pesquisa.

4.5 Projetos em estudo

Além dos empreendimentos já em atividade, foram identificados em algumas organizações estudos de implantação de sistemas de aproveitamento energético do biogás proveniente da DA do esgoto. Os projetos que foram compartilhados pelas empresas estão relacionados no presente tópico, a fim de se ampliarem os horizontes da análise.

4.5.1 Embasa

Além da planta já em funcionamento, em Feira de Santana, a EMBASA possui em andamento um estudo de projeto básico de ampliação do sistema de esgotamento sanitário de Camaçari e de Dias d'Ávila, com a construção da ETE Norte, que fará o aproveitamento energético do biogás²⁷. Referido estudo é desenvolvido em parceria com o Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura (IICA), organização que prestou as informações trazidas à presente pesquisa.

²⁷ Os dados constantes do item 4.5.1, desprovidos de citação, foram fornecidos pela EMBASA e pelo IICA diretamente ao pesquisador.

Segundo o IICA, o projeto está em fase inicial, e contemplará a remoção de nutrientes e o aproveitamento energético do biogás. Com horizonte de 30 anos, o sistema será projetado para uma população estimada de 316 mil pessoas, com vazão de 470 L/s (em 2031), com previsão de ampliação para 480 mil habitantes e vazão de 694 L/s (em 2046).

A ETE planejada terá dois estágios de tratamento biológico e será associada a planta de geração de energia e tratamento de lodo e atenderá aos parâmetros ambientais exigidos pelo CONAMA, especialmente com relação à redução de CO₂ equivalente.

O projeto da ETE será dividido em 3 fases: líquida, sólida e gasosa:

- a) Fase líquida: o efluente final apresentará características que permitam sua disposição em corpo receptor de água doce Classe 2, obedecendo a normas e diretrizes ambientais brasileiras, especialmente às Resoluções Conama 357/430 (CONAMA, 2005, 2011) e à NBR 12.209 (ABNT, 1992), tendo como objetivos a remoção de DBO, DQO e nutrientes (N e P), além da desinfecção do efluente final. Para tratamento secundário serão considerados reatores UASB (ou variantes) mais lodos ativados, enquanto para tratamento terciário serão consideradas, além dos sistemas convencionais de desinfecção (cloro gás, hipoclorito, dióxido de cloro etc.) alternativas com menor efeito colateral à saúde e ao meio ambiente, como radiação ultravioleta, membranas etc.
- b) Fase sólida: o manejo do lodo biológico preverá os estágios de geração, estabilização, desidratação e disposição final, valorizando a utilização de tecnologias que maximizem a utilização agrícola e energética do lodo, com segurança sanitária e ambiental, atendendo à resolução Conama 375/2006 (CONAMA, 2006), que define critérios para o uso agrícola de lodos de esgoto. Os dispositivos para secagem e/ou desidratação do lodo serão escolhidos priorizando o menor consumo energético.
- c) Fase gasosa: o tratamento considerará captação, armazenamento e purificação do biogás gerado em processo biológico anaeróbio, destinado à geração de energia elétrica e à geração de calor para secagem do biossólido. O projeto preverá o detalhamento dos sistemas de monitoramento, transporte, armazenamento, tratamento, utilização para geração de energia (via conjuntos geradores) e queima do biogás.

O planejamento global para elaboração dos projetos contratados com o IICA (coleta e transporte de esgoto, ETE, redução de emissão de GEE, licenciamento ambiental e gestão integrada dos projetos) será desenvolvido em cinco fases distintas e complementares (estudos básicos, estudos de concepção e viabilidade, projetos arquitetônico, hidráulico e civil, projeto básico e edição final do projeto básico).

Está em tramitação, na Assembleia Legislativa da Bahia, projeto de lei autorizando a Embasa a contrair empréstimo junto ao banco alemão KfW Entwicklungsbank, a fim de dar andamento a este projeto (ARRAZ; FERREIRA, 2019). Esse mesmo banco já havia feito, em 2018, doação de cerca de R\$ 17 milhões à EMBASA destinados ao Programa de Saneamento Metropolitano de Camaçari e Dias D'Ávila (CAMAÇARI NOTÍCIAS, 2018).

4.5.2 CAGECE

Embora a Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE) ainda não realize o aproveitamento energético do biogás em qualquer de suas ETEs, foi identificado um projeto, nesse sentido, conduzido pela Gerência de Pesquisa (GEPED) da companhia²⁸. O estudo técnico está sendo realizado em parceria com o Laboratório de Combustão e Energias Renováveis do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Ceará.

O estudo ainda é incipiente, e não se obtiveram maiores detalhes acerca de seu andamento.

4.5.3 CAESB

A Gerência de Gestão Energética da Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB) contratou, em 2017, um consórcio de empresas para o desenvolvimento de 6 projetos de eficiência energética, dentre os quais se encontra o projeto 6, “Projeto Básico para Aproveitamento Energético do Biogás”²⁹.

Este projeto prevê as seguintes melhorias: geração de energia elétrica em 4 ETEs (Brasília Sul, Brasília Norte, Gama e Melchior); recuperação dos reatores UASB (nas ETE Gama, Samambaia e Melchior); recuperação de digestores primários (nas

²⁸ As informações do item 4.5.2 foram prestadas pela CAGECE e pela Universidade Federal do Ceará.

²⁹ Os dados do item 4.5.3 que não estão acompanhados de referências foram fornecidos diretamente pela CAESB ao pesquisador.

ETE Brasília Sul e Brasília Norte); secagem térmica de lodo (ETEs Brasília Sul, Brasília Norte e Melchior).

No estudo estão compreendidos também o reparo de estruturas de captação e produção de biogás, como tubulações, válvulas, queimadores, reatores UASB e biodigestores.

Até o momento a companhia recebeu do consórcio estudos de avaliação da capacidade de produção de biogás em 5 ETEs (Sul, Norte, Gama, Melchior e Samambaia), estudo de concepção, proposição de reparos em reatores UASB e proposição de reparos no reator biológico da ETE Samambaia. O estudo também já compreendeu um levantamento topográfico realizado com o auxílio de *drones*.

Não há, por enquanto, avaliação financeira completa do projeto.

Em 2018, o Ministério Público Federal, tendo identificado que desde 2009 o sistema de coleta e queima de biogás não estaria funcionando na ETE Melchior, recomendou à CAESB e ao Instituto Brasília Ambiental que tomassem urgentes medidas para reduzir a emissão de GEE da planta, especialmente o CH₄, que estava sendo lançado sem qualquer tratamento à atmosfera (MPDFT, 2018).

4.5.4 ETE Rio Preto (SeMAE São José do Rio Preto)

Em setembro de 2011, o Serviço Municipal Autônomo de Água e Esgoto de São José do Rio Preto (SeMAE), por meio de um grupo de trabalho composto por 6 engenheiros e um químico, realizou um estudo técnico de viabilidade para a cogeração de energia a partir de biogás e de lodo proveniente dos reatores anaeróbios da ETE Rio Preto³⁰.

No relatório de 42 páginas os pesquisadores identificaram que a disposição do lodo e a energia elétrica (necessidade diária de 24.406kWh) representavam, respectivamente, 20,93% e 22,83% dos custos operacionais mensais da planta à época, montando a R\$ 420.348,99. Também foram objeto da justificativa do projeto várias oscilações e interrupções de energia não programadas (42 eventos entre 2010 e 2011), que causaram danos e transtornos ao funcionamento da ETE e resultaram em extravasamentos de esgoto *in natura* para o rio.

³⁰ Os dados e informações constantes no item 4.5.4 foram fornecidos ao pesquisador diretamente pela SeMAE São José do Rio Preto.

O histórico da ETE apontava produção média de biogás de 7.800Nm^3 (média diária de 325Nm^3 por hora), com teor de 79% de CH_4 , totalmente queimado em *flares*, e geração de 50t de lodo desidratado por dia (75% de umidade).

Foram analisadas, no estudo, as tecnologias de geração de energia via turbina a gás (ciclo Brayton), motor de combustão interna (Ciclo Otto) e turbina à vapor (ciclo Rankine). O estudo descartou a opção de turbina a gás por conta de seu custo, e fez duas estimativas: a) conjuntos de motores a Ciclo Otto seriam capazes de gerar 22.032,62kWh diários de eletricidade (94% da necessidade da planta); b) uma turbina a vapor ciclo Rankine geraria 74% da necessidade diária de energia da ETE, ou 17.386,61kWh por dia.

A conclusão foi de que a opção econômica e ambientalmente mais viável seria a instalação de conjunto gerador com dois motores Ciclo Otto, alimentados por biogás, além da implantação de um conjunto de aplicações, composto pela utilização das estufas agrícolas dotadas de secadores automatizados, secador térmico reutilizando os gases de escape dos moto-geradores e mais um conjunto composto por caldeira-turbina a vapor (ciclo Rankine) convencional.

O valor orçado do projeto de cogeração alcançou R\$ 17.685.687,80, assim distribuídos:

- a) Sistema de geração de energia elétrica a biogás (grupo gerador de 788kWe, gasômetro de 3005m^3 , adequação do sistema de coleta do biogás, filtragem e compressão do biogás, software de gerenciamento, instalações hidromecânicas e elétricas e obras civis): R\$ 5.088.997,00;
- b) Sistema de desidratação, secagem solar e térmica de lodo (realocação da casa de desidratação, instalações, obras civis, mecanização da estufa, sistemas auxiliares, secador térmico de lodo): R\$ 5.521.840,00;
- c) Sistema de geração de energia elétrica com caldeira de biomassa e turbo gerador de condensação de 1.000kW (caldeira, gerador, turbo gerador, obras civis): R\$ 5.250.020,00;
- d) Sistema elétrico 440V e 13,8kV (transformador, cabeamento, instalação, licenciamento): R\$ 1.116.826,00;
- e) Gerenciamento da implantação: R\$ 707.970,80.

A análise da viabilidade do projeto de cogeração considerou o horizonte de 2012 a 2034 e previu a economia total de R\$ 4.510.283,75 ao ano, aí inclusas a economia

anual de energia (R\$ 2.640.429,11) e a de redução na logística da disposição do lodo, de R\$ 149 a tonelada (totalizando R\$ 1.869.854,64 anuais).

Os pesquisadores testaram a viabilidade considerando diferentes financiamentos, como Proesco, do BNDES (juros de 6,52% a.a.), Caixa Econômica Federal (juros de 8% a.a.) e dois financiadores hipotéticos (taxas de 10% e 12% a.a.). Concluíram, por fim, que em todas as hipóteses o projeto seria viável, sendo que o VPL seria maior na primeira (BNDES), atingindo R\$ 67.542.322,01, com payback de 5 anos.

À época, não foi dado prosseguimento à iniciativa de geração de energia e, atualmente, o SeMAE informa que está conduzindo o projeto do secador de lodos por meio de estufa que, em breve, deverá receber piso em concreto armado e, em seguida, serão instalados os revolvedores.

Informa ainda que os recursos financeiros da organização estão atualmente direcionados à ampliação da ETE, da capacidade de 1.005L/s para 1.350L/s, com previsão para atendimento de até 600 mil pessoas (população projetada para 2030) (SERVIÇO MUNICIPAL AUTÔNOMO DE ÁGUA E ESGOTO DE SÃO JOSÉ DO RIO PRETO (SEMAE), 2018). A obra, no valor de R\$ 28.125.496,35, está prevista para ser entregue no final do primeiro semestre de 2019 (SERVIÇO MUNICIPAL AUTÔNOMO DE ÁGUA E ESGOTO DE SÃO JOSÉ DO RIO PRETO (SEMAE), 2018).

4.5.5 ETE Vargem Limpa (DAE Bauru)

O Departamento de Água e Esgoto de Bauru (DAE Bauru) conta, atualmente, com duas ETEs (Tibiriçá e Candeia) e possui projeto, em andamento, de construção de nova ETE (Vargem Limpa), que atenderá cerca de 90% da população e que prevê a instalação de biodigestores e sistema de aproveitamento energético para geração de energia³¹.

A alternativa estudada no projeto é a de instalação de três reatores UASB seguidos por tratamento secundário e terciário em reatores biológicos do tipo lodos ativados convencional, com nitrificação e pré-desnitrificação.

Após tratamento preliminar (gradeamento, peneiramento e desarenação) o esgoto será conduzido aos UASB e, em seguida, aos reatores biológicos, onde

³¹ O DAE Bauru forneceu diretamente ao pesquisador os dados constantes do item 4.5.5, à exceção das informações que possuem menção expressa a outras referências.

ocorrerá a remoção da matéria orgânica e nitrogenada. Parte do esgoto bruto pré-tratado será desviada para a entrada da câmara anóxica, a fim de proporcionar a fonte de carbono necessária à efetiva desnitrificação.

Na segunda etapa será removido P por meio da adição de sais metálicos (cloreto férrico), logo na entrada dos decantadores secundários.

Os estudos realizados no projeto da planta preveem sua adequação à evolução do município durante três décadas, conforme detalhes expostos na **Tabela 21**.

Tabela 21: Dimensionamento da ETE Vargem Limpa conforme projeção de crescimento do município.

	2010	2020	2030
População (habitantes)	366.000	477.337	587.601
Vazão afluyente (L/s)	1.018	1.329	1.635
Cargas orgânicas (kg DBO/dia)	34.697	45.251	55.704

Fonte: elaboração própria com dados colhidos na pesquisa.

O projeto será composto por compressores, válvulas corta-chama, eliminadores de espuma e escuma, purificadores para remoção de H_2S , medidores de vazão, gasômetros, selos hidráulicos e queimadores ou *flares*. O sistema tem previsão de coletar $9.935Nm^3$ de biogás por dia, com possível composição de 0,2% de N_2O_2 e H_2S , 50 a 65% de CH_4 e 35 a 50% de CO_2 .

O custo atualizado da instalação dos três reatores UASB, mais a construção e implantação do sistema de geração é de R\$ 23.181.392,52. O sistema de captação, acumulação, purificação e distribuição do biogás está orçado em R\$ 1.165.976,26.

O projeto é de 2010 e deveria ter ficado pronto em 2016, mas a obra sofreu atrasos e apresentou vários problemas técnicos na execução, que postergaram sua conclusão para 2020 e resultaram em investigação pelo Ministério Público Federal (G1 BAURU E MARÍLIA, 2018, 2019). O valor original previsto era de cerca de R\$ 130 milhões, mas falhas no projeto resultaram em oito termos de aditamento, que acrescentaram R\$ 15,6 milhões às contas, e outros dois aditamentos, de cerca de R\$ 2,5 milhões, estão sob análise, o que leva a obra à condição de segunda obra atrasada mais cara do Estado (G1 BAURU E MARÍLIA, 2019; NAVARRO, 2019). Recentemente, em audiência pública realizada na Câmara de Vereadores do município, ficou decidido que a execução das obras contará com o apoio de uma equipe da Fundação de Incentivo à Pesquisa da Universidade de São Paulo de São Carlos (G1 BAURU E MARÍLIA, 2019).

4.6 Experiências nacionais na utilização de biometano veicular

Vislumbrando o potencial de produção de biometano como forma de abastecimento veicular, algumas montadoras têm realizado testes com o combustível proveniente do esgoto no país, e a presente pesquisa identificou exemplos de testes de veículo de passeio, de veículo pesado de transporte público e de máquina agrícola.

4.6.1 Veículo leve (Audi)

A Audi importou da Alemanha seu modelo A5 g-tron, um sedã de luxo com motor 2.0 TFSI de 170cv, câmbio automático de dupla embreagem, sete marchas e tração dianteira (OLIVEIRA, 2018), e o colocou em testes no Brasil³².

O engenheiro responsável pelos testes do veículo da montadora no país informou que o veículo tem dois tanques, um para 25 litros de gasolina e outro composto por 4 cilindros que armazenam 22m³ de GNV comprimido, projetados sob o eixo traseiro, o que não retira espaço do porta-malas como um cilindro de kit de adaptação comum. Para funcionar corretamente com GNV, informa a montadora, houve poucas mudanças pontuais: o motor teve um leve aumento em sua taxa de compressão, foram instalados dois sistemas de injeção (um dedicado ao gás e, o outro, à gasolina) e o sistema de distribuição do combustível (“flauta”) do sistema de gás é de metal (e não de plástico).

Este mesmo modelo já é comercializado na Europa, onde já realizou testes de performance e autonomia com diferentes fontes de GNV e biometano. No Brasil, o veículo permaneceu de março de 2018 a janeiro de 2019, oportunidade na qual foi submetido a vários testes e foi abastecido tanto com GNV como com biometano proveniente de diversas fontes. Em meados de setembro de 2018 o sedã rodou com biometano proveniente do projeto Itaipu CIBiogás, de DA de esgoto (AUTOMOTIVE BUSINESS, 2018), e em dezembro esteve em Franca para testar o combustível fornecido pela ETE da SABESP (CARRO.BLOG.BR, 2018).

Por aqui o A5 rodou cerca de 16.000 km e apresentou performance, autonomia e demais características muito semelhantes às obtidas na Europa. Em teste realizado pela revista Auto Esporte, foram apuradas as médias de consumo de 15,4 km/L com gasolina e 17 km/m³ de GNV, que resultam em autonomia de cerca de 742km com

³² Os dados do item 4.6.1 que não estão acompanhados de referências foram fornecidos diretamente pela Audi do Brasil Indústria e Comércio de Veículos Ltda.

ambos os tanques cheios, com uma significativa diferença para o preço entre os abastecimentos: R\$ 50 para encher o tanque de gás e R\$ 105 para completar de gasolina (OLIVEIRA, 2018).

A Audi informa que continuará comercializando para os países europeus os modelos A3 Sportback, A4 Avant e A5 Sportback, todos com este tipo de motorização, mas que, para o Brasil, ainda não há definição sobre a comercialização desta tecnologia. Aqui, estima-se, o A5 teria preço de venda inicial de R\$ 216.000,00 (OLIVEIRA, 2018).

4.6.2 Veículo pesado (Scania)

Desde os anos 1990 a montadora sueca Scania tem veículos rodando a GNV e biometano em diversas cidades, como Brisbane (Brisbane) Austrália, Tartu (Estônia), Estocolmo (Suécia), Copenhague (Dinamarca), Jakarta (Indonésia) e Bogotá (Colômbia)³³.

Engenheiros da marca explicaram que o motor a gás Scania é um motor Ciclo Otto que possui controle eletrônico de ignição e de suprimento de gás, com duas unidades de comando do motor que trabalham em interação. O veículo emite 70% menos poluentes que um similar à diesel e atende à normativa Euro 6 de redução de emissão de gases poluentes e de redução de ruídos que, embora obrigatória na Europa desde 2013, passará a vigor no Brasil apenas a partir de 2023, consolidada pela oitava fase do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (Proconve) (ESTRADÃO, 2018).

De 2014 a 2015 foram realizados testes com essa tecnologia em diversas cidades no Brasil, utilizando-se de um veículo (ônibus) de demonstração sueco, o primeiro ônibus movido a biometano da história da indústria no país (que podia ser abastecido com GNV, biometano ou com uma combinação entre os dois combustíveis). Esta unidade de ônibus urbano modelo Citywide possuía 15 metros de comprimento, dois eixos direcionais e capacidade para até 120 passageiros, rodou 5.000km e o custo por quilômetro via biometano foi 28% menor que a de um veículo similar a diesel. Antes de chegar ao Brasil, esse veículo rodou no México e na Colômbia.

³³ A Scania Brasil forneceu diretamente ao pesquisador os dados do item 4.6.2 que não possuem menção específica à fonte.

Em 2016 foi construído um novo ônibus, desta vez com chassi e carroceria brasileiros, que foi testado em diversas cidades nacionais, incluindo São Paulo, Sorocaba, Campinas, Franca, Brasília, Recife e que, atualmente, encontra-se rodando em Curitiba (RAMOS, 2019). Mais um ônibus está sendo preparado e, a partir de julho de 2019, ele se unirá ao anterior para rodar a biometano em Curitiba, PR. Em Franca o ônibus rodou com biometano proveniente da ETE da SABESP (REDE ABERJE, 2018).

Embora ainda não tenha sido feita nenhuma venda no país, a montadora informa que continuará desenvolvendo seu plano de disseminação da tecnologia GNV/biometano no Brasil por acreditar no sucesso desta opção sustentável de transporte, no benefício ambiental proporcionado, de redução da poluição, e na melhoria dos indicadores de saúde da população das grandes cidades. Seu projeto envolve demonstrações a clientes e órgãos gestores, fomentos a associações, universidades, sindicatos e demais interessados. Paralelamente a isso, a empresa também desenvolve parcerias com produtores de biometano, como a Granja Haack (PR), a Naturovos (RS) e a SABESP, em Franca (SP), distribuidoras de GNV, como a Comgás, e associações, como a Abegas e a Abiogás.

No mundo, a frota circulante de veículos Scania equipados com esta tecnologia é composta por 1.868 caminhões e 1.549 ônibus, 313 desses últimos rodando na Espanha.

4.6.3 Máquina agrícola (New Holland)

Há mais de uma década a New Holland Agriculture trabalha para desenvolver soluções de energia limpa, o que faz por meio da iniciativa Clean Energy Leader, que já resultou no lançamento da primeira máquina 100% compatível com biodiesel (2006), do primeiro trator movido a hidrogênio (2009), do primeiro protótipo movido a propano (2012) e da primeira linha de tratores movidos a CH₄, a família T6 (2013)³⁴.

O modelo T6.140 é um expoente dessa iniciativa e tem sido testado com biometano. Trata-se de um trator padrão equipado com um motor de quatro cilindros e três litros, produzido pela FPT Industrial, com potência máxima de 135CV e torque de 620Nm. Ele conta com nove tanques com capacidade para armazenar 50kg de

³⁴ Os dados expostos no item 4.6.3, que não possuem menção específica à fonte, foram fornecidos diretamente ao pesquisador por Rede Comunicação de Resultado e New Holland Agriculture.

biometano, mais um tanque de combustível adicional de 15 litros, como *backup*. O catalisador de três vias instalado no escape do veículo garante a conformidade com a legislação atual para motores eletrônicos.

O projeto do trator teve início na Itália, em 2013 e, atualmente, há unidades em funcionamento nos Estados Unidos, França, Espanha, Reino Unido e Brasil. Na Itália, o modelo T6.180 movido a biometano foi usado pela empresa Maccarese, próximo a Roma, para a rolagem de terra antes e depois da semeadura. Na Espanha, o trator trabalhou nas vinhas e olivais da empresa Bodegas Torres. No Reino Unido, o protótipo foi testado com sucesso pela empresa Wyke Farms, de Somerset, um dos maiores produtores de queijo cheddar do país, acumulando mais de 100 horas de operação em atividades como cultivo, transporte rodoviário e trabalho com o carregador frontal.

Os testes com o novo modelo mostraram o mesmo desempenho que um trator equipado com um motor a diesel convencional, embora com redução de 10% na emissão de CO₂ e de 80% no total de emissões, além de redução de custos entre 25% e 40%.

Na América Latina, o primeiro país a receber o novo trator-conceito foi o Brasil. O modelo chegou em 2017 e desde então está em avaliações práticas no campo, como na Chácara Marujo, em Castro, PR, e em outras propriedades que utilizam a tecnologia de biodigestão de seus resíduos agrícolas (SILVA, 2018). Os testes no país apresentaram resultados muito semelhantes aos realizados no exterior.

Em 2020 está prevista a chegada de um novo protótipo ao país, para testes em lavouras produtivas, e estima-se que num prazo de 3 a 5 anos a versão comercial do trator chegue ao mercado.

Além do aspecto ambiental, a iniciativa da New Holland de desenvolver uma máquina agrícola movida a biometano visa diminuir os custos produtivos das lavouras, já que é cada vez mais comum existirem sistemas de biodigestão de resíduos agrícolas para a produção de biogás nas lavouras, fato que torna os agricultores mais independentes na geração da energia necessária ao seu processo produtivo. Como combustível sustentável, o biometano é particularmente adequado a propriedades rurais porque elas dispõem das matérias-primas e do espaço necessários para a instalação de biodigestores.

4.7 Análises de viabilidade

Coligidos os dados, passa-se ao cálculo dos indicadores financeiros de cada projeto, quando possibilitado face aos dados fornecidos pelas organizações pesquisadas. Os projetos, cuja viabilidade é analisada, são tão-somente aqueles que operam ininterruptamente, vez que projetos de operação esporádica ou experimental se mostrariam em desequilíbrio, se comparados àqueles.

Importante destacar que, nos projetos, não foram considerados os custos de operação das plantas nem os custos de construção ou instalação dos digestores, vez que nem todas as companhias conseguiram fornecer tais informações. Com relação à ETE Marselisborg, insta ressaltar que os custos são os relativos à atualização da planta, que já possuía estrutura em funcionamento.

Para fins de cálculo dos demais indicadores, adotou-se como parâmetro TMA de 16,50%, composta por custo de oportunidade de 6,50%, com base na SELIC atual (BACEN, 2019), mais 5,00% de risco do negócio e 5,00% de liquidez, como prática usual de mercado.

O *payback* foi calculado já descontado, considerando a TMA como taxa de desconto. A análise do *payback* como forma de se decidir pela viabilidade do projeto é algo não sujeito a parâmetros objetivos idênticos a todos os projetos. Todavia, sabe-se que, se o *payback* descontado for inferior à expectativa de vida útil do projeto, em algum momento o investimento criará valor econômico superior ao montante despendido, e esta medida implicará diretamente no risco do projeto: quanto mais rápido o retorno do investimento, menores serão os riscos envolvidos (CLEMENTE; SOUZA, 2008). Como visto anteriormente, os projetos foram classificados em de curto prazo, de médio prazo, de longo prazo e de muito longo prazo, conforme sua expectativa de *payback*.

Como tratado alhures, parte dos projetos analisados foi realizada com a finalidade maior de P&D e, nesses casos, não se pode julgar sua viabilidade pura e simplesmente face aos seus indicadores financeiros, e nem há de ser idêntica a expectativa de *payback* de diferentes projetos. Os números, portanto, não de ser cotejados com indicadores específicos de cada caso concreto.

Passando-se à análise dos indicadores das empresas pesquisadas, têm-se:

4.7.1 ETE Ribeirão Preto

Relativamente à ETE administrada pela Ambient, só é possível calcularem-se os fluxos de retorno dos próximos anos, e não os demais indicadores, já que não se tem o investimento inicial. Os fluxos foram calculados com base no correspondente financeiro à produção energética atual da ETE (4.551.616kWh gerados ao ano), reajustado em 16%, considerado o aumento médio anual no preço da energia elétrica industrial (PEREIRA, 2017). Não foram considerados os valores dos custos operacionais, já que não se os tem individualizados. Esta simulação consta da **Tabela 22**.

Tabela 22: Cálculo dos fluxos descontados da ETE Ribeirão Preto.

Ano	Parcela	Valor	Descontado	Saldo
0	Investimento	?		
1	Fluxo	R\$ 247.664,39	R\$ 212.587,46	?
2	Fluxo	R\$ 287.290,69	R\$ 211.675,07	?
3	Fluxo	R\$ 333.257,20	R\$ 210.766,59	?
4	Fluxo	R\$ 386.578,36	R\$ 209.862,01	?
5	Fluxo	R\$ 448.430,89	R\$ 208.961,32	?

Fonte: elaboração própria.

Se tomar-se como parâmetro de investimento o valor médio de mercado para projetos semelhantes, praticado no mercado internacional, de US\$ 1 milhão por megawatt instalado, conforme informado pela Ambient quando da coleta de dados, ter-se-ia um investimento inicial de US\$ 1,5 milhão pela instalação dos 1,5MW da planta de geração da ETE Ribeirão. Em valores de 18/04/2019 (dólar a R\$ 3,9230), isso corresponderia a R\$ 5.884.500,00 (BACEN, 2019b). Considerando-se a capacidade máxima de geração de energia elétrica da planta, de 7.128.000kWh ao ano (em oposição aos 4.551.616kWh atualmente gerados), pode-se afirmar que a economia anual com energia elétrica atingiria R\$ 387.851,65 ao mês (contra os atuais R\$ 247.664,39). Corrigindo-se esses valores, utilizando-os como fluxo e considerando o investimento hipotético, é possível traçar-se um cenário em que o projeto apresentaria TIR e VPL positivos (TIR: 16,90%; VPL: R\$ 202.487,35) no muito longo prazo, com *payback* descontado de 18,34 anos, como apresentado pela **Tabela 23**.

Tabela 23: Análise de viabilidade hipotética da ETE Ribeirão Preto, considerando-se o valor médio de investimento de mercado e a capacidade máxima de produção de energia da planta.

Ano	Parcela	Valor	Descontado	Saldo
0	Investimento	-R\$ 5.884.500,00	-R\$ 5.884.500,00	-R\$ 5.884.500,00
1	Fluxo	R\$ 387.851,65	R\$ 332.919,87	-R\$ 5.551.580,13
2	Fluxo	R\$ 449.907,91	R\$ 331.491,03	-R\$ 5.220.089,10
3	Fluxo	R\$ 521.893,18	R\$ 330.068,32	-R\$ 4.890.020,78
4	Fluxo	R\$ 605.396,09	R\$ 328.651,72	-R\$ 4.561.369,06
5	Fluxo	R\$ 702.259,46	R\$ 327.241,20	-R\$ 4.234.127,86
6	Fluxo	R\$ 814.620,98	R\$ 325.836,73	-R\$ 3.908.291,13
7	Fluxo	R\$ 944.960,33	R\$ 324.438,29	-R\$ 3.583.852,84
8	Fluxo	R\$ 1.096.153,99	R\$ 323.045,85	-R\$ 3.260.806,99
9	Fluxo	R\$ 1.271.538,63	R\$ 321.659,39	-R\$ 2.939.147,61
10	Fluxo	R\$ 1.474.984,81	R\$ 320.278,87	-R\$ 2.618.868,73
11	Fluxo	R\$ 1.710.982,37	R\$ 318.904,29	-R\$ 2.299.964,45
12	Fluxo	R\$ 1.984.739,55	R\$ 317.535,60	-R\$ 1.982.428,85
13	Fluxo	R\$ 2.302.297,88	R\$ 316.172,78	-R\$ 1.666.256,06
14	Fluxo	R\$ 2.670.665,54	R\$ 314.815,82	-R\$ 1.351.440,24
15	Fluxo	R\$ 3.097.972,03	R\$ 313.464,68	-R\$ 1.037.975,56
16	Fluxo	R\$ 3.593.647,56	R\$ 312.119,34	-R\$ 725.856,23
17	Fluxo	R\$ 4.168.631,16	R\$ 310.779,77	-R\$ 415.076,46
18	Fluxo	R\$ 4.835.612,15	R\$ 309.445,95	-R\$ 105.630,51
19	Fluxo	R\$ 5.609.310,10	R\$ 308.117,86	R\$ 202.487,35

Fonte: elaboração própria.

4.7.2 ETE de Franca

Para a análise do projeto da ETE administrada pela SABESP foram considerados quatro cenários: investimento total (doação Fraunhofer mais contrapartida SABESP) e abastecimento parcial (atuais 19 veículos); investimento total e abastecimento em capacidade total (200 veículos); investimento parcial (apenas contrapartida SABESP) e abastecimento parcial; investimento parcial e abastecimento em capacidade total.

Os valores dos investimentos foram atualizados desde seu dispêndio até a data presente, pelo Índice Geral de Preços do Mercado (IGP-M), medido pela Fundação Getúlio Vargas (FGV) (IBRE-FGV, 2019). As receitas utilizadas nos fluxos de rendimento do investimento tomaram por base a economia gerada pela utilização de abastecimento a biogás, ao invés do etanol hidratado, e foram atualizadas anualmente em 8,12%, replicando-se o aumento médio³⁵ havido no preço do etanol dos últimos seis anos (ANP, 2019).

³⁵ Segundo dados de ANP (2019), o preço do etanol hidratado médio nas bombas do país teve os seguintes aumentos anuais: 2013-2014: 4,97%; 2014-2015: 7,87%; 2015-2016: 18,93%; 2016-2017: 1,45%; 2017-2018: 7,39%.

Dessa forma, a contrapartida da SABESP de R\$ 3.260.949,46, atualizada pelo IGP-M desde 2015, atinge, em abril de 2019, R\$ 4.139.322,60. O montante total do investimento, de R\$ 7.377.639,46, atualizado desde 2015 pelo IGP-M alcança R\$ 9.554.262,61. Como não foi possível a obtenção de dados específicos relativos ao custo do sistema de produção e aproveitamento de biogás (que estão imiscuídos nos custos totais da planta), os mesmos não foram considerados.

Considerando-se o considerado pior cenário, com investimento total (parcela SABESP + parcela Frauhofer), para o abastecimento parcial (de 19 carros, como realizado atualmente), mesmo num horizonte de vinte anos, o investimento apresentou TIR e VPL negativos (-12,43% e -R\$ 9.282.057,40, respectivamente) e *payback* a perder de vista, face à mínima amortização anual do valor investido, como detalhado na **Tabela 24**.

Tabela 24: Análise de viabilidade da ETE de Franca em cenário de investimento total e abastecimento parcial.

Ano	Parcela	Valor	Descontado	Saldo
0	Investimento	-R\$ 9.554.262,61	-R\$ 9.554.262,61	-R\$ 9.554.262,61
1	Fluxo	R\$ 29.421,88	R\$ 25.254,83	-R\$ 9.529.007,78
2	Fluxo	R\$ 31.810,94	R\$ 23.438,22	-R\$ 9.505.569,56
3	Fluxo	R\$ 34.393,98	R\$ 21.752,28	-R\$ 9.483.817,28
4	Fluxo	R\$ 37.186,78	R\$ 20.187,61	-R\$ 9.463.629,68
5	Fluxo	R\$ 40.206,34	R\$ 18.735,49	-R\$ 9.444.894,19
6	Fluxo	R\$ 43.471,10	R\$ 17.387,82	-R\$ 9.427.506,37
7	Fluxo	R\$ 47.000,95	R\$ 16.137,09	-R\$ 9.411.369,29
8	Fluxo	R\$ 50.817,43	R\$ 14.976,33	-R\$ 9.396.392,96
9	Fluxo	R\$ 54.943,80	R\$ 13.899,06	-R\$ 9.382.493,90
10	Fluxo	R\$ 59.405,24	R\$ 12.899,28	-R\$ 9.369.594,62
11	Fluxo	R\$ 64.228,95	R\$ 11.971,42	-R\$ 9.357.623,20
12	Fluxo	R\$ 69.444,34	R\$ 11.110,30	-R\$ 9.346.512,90
13	Fluxo	R\$ 75.083,22	R\$ 10.311,12	-R\$ 9.336.201,78
14	Fluxo	R\$ 81.179,97	R\$ 9.569,43	-R\$ 9.326.632,36
15	Fluxo	R\$ 87.771,79	R\$ 8.881,09	-R\$ 9.317.751,27
16	Fluxo	R\$ 94.898,86	R\$ 8.242,26	-R\$ 9.309.509,01
17	Fluxo	R\$ 102.604,64	R\$ 7.649,38	-R\$ 9.301.859,63
18	Fluxo	R\$ 110.936,14	R\$ 7.099,15	-R\$ 9.294.760,48
19	Fluxo	R\$ 119.944,15	R\$ 6.588,50	-R\$ 9.288.171,98
20	Fluxo	R\$ 129.683,62	R\$ 6.114,58	-R\$ 9.282.057,40

Fonte: elaboração própria.

O melhor cenário, evidentemente, foi o que apresentou menor valor inicial de investimento (considerando-se única e exclusivamente a parcela investida pela SABESP), aliado ao maior valor de fluxo anual (considerando-se a utilização da capacidade máxima, de abastecimento de 200 veículos mensalmente). Mesmo assim, como detalha a **Tabela 25**, o *payback* ficaria relegado a muito longo prazo, sem

horizonte próximo, também face à pouca relevância do fluxo frente ao montante do débito. Em vinte anos, a TIR de 11,71% não superaria a TMA, restando VPL negativo de R\$ 1.274.004,63.

Tabela 25: Análise de viabilidade da ETE de Franca em cenário de investimento parcial e abastecimento total.

Ano	Parcela	Valor	Descontado	Saldo
0	Investimento	-R\$ 4.139.322,60	-R\$ 4.139.322,60	-R\$ 4.139.322,60
1	Fluxo	R\$ 309.704,00	R\$ 265.840,34	-R\$ 3.873.482,26
2	Fluxo	R\$ 334.851,96	R\$ 246.718,09	-R\$ 3.626.764,16
3	Fluxo	R\$ 362.041,94	R\$ 228.971,33	-R\$ 3.397.792,83
4	Fluxo	R\$ 391.439,75	R\$ 212.501,12	-R\$ 3.185.291,71
5	Fluxo	R\$ 423.224,66	R\$ 197.215,63	-R\$ 2.988.076,08
6	Fluxo	R\$ 457.590,50	R\$ 183.029,65	-R\$ 2.805.046,43
7	Fluxo	R\$ 494.746,85	R\$ 169.864,08	-R\$ 2.635.182,35
8	Fluxo	R\$ 534.920,29	R\$ 157.645,53	-R\$ 2.477.536,81
9	Fluxo	R\$ 578.355,82	R\$ 146.305,88	-R\$ 2.331.230,93
10	Fluxo	R\$ 625.318,31	R\$ 135.781,90	-R\$ 2.195.449,03
11	Fluxo	R\$ 676.094,16	R\$ 126.014,93	-R\$ 2.069.434,10
12	Fluxo	R\$ 730.993,01	R\$ 116.950,51	-R\$ 1.952.483,59
13	Fluxo	R\$ 790.349,64	R\$ 108.538,10	-R\$ 1.843.945,48
14	Fluxo	R\$ 854.526,03	R\$ 100.730,81	-R\$ 1.743.214,67
15	Fluxo	R\$ 923.913,54	R\$ 93.485,11	-R\$ 1.649.729,56
16	Fluxo	R\$ 998.935,32	R\$ 86.760,60	-R\$ 1.562.968,95
17	Fluxo	R\$ 1.080.048,87	R\$ 80.519,80	-R\$ 1.482.449,16
18	Fluxo	R\$ 1.167.748,84	R\$ 74.727,90	-R\$ 1.407.721,25
19	Fluxo	R\$ 1.262.570,04	R\$ 69.352,62	-R\$ 1.338.368,63
20	Fluxo	R\$ 1.365.090,73	R\$ 64.364,00	-R\$ 1.274.004,63

Fonte: elaboração própria.

4.7.3 ETE Arrudas

A análise do presente projeto indica que o investimento, no valor atualizado de R\$ 88.518.535,00, levaria 29,72 anos para ser compensado (muito longo prazo), período no qual o VPL atingiria R\$ 775.096,65, com TIR de 16,57%, conforme demonstrado na **Tabela 26**.

Tabela 26: Análise de viabilidade da ETE Arrudas.

Ano	Parcela	Valor	Descontado	Saldo
0	Investimento	-R\$ 88.518.535,00	-R\$ 88.518.535,00	-R\$ 88.518.535,00
1	Fluxo	R\$ 3.688.156,38	R\$ 3.165.799,47	-R\$ 85.352.735,53
2	Fluxo	R\$ 4.278.261,40	R\$ 3.152.212,35	-R\$ 82.200.523,19
3	Fluxo	R\$ 4.962.783,22	R\$ 3.138.683,54	-R\$ 79.061.839,65
4	Fluxo	R\$ 5.756.828,54	R\$ 3.125.212,79	-R\$ 75.936.626,86
5	Fluxo	R\$ 6.677.921,11	R\$ 3.111.799,86	-R\$ 72.824.826,99
6	Fluxo	R\$ 7.746.388,48	R\$ 3.098.444,50	-R\$ 69.726.382,50
7	Fluxo	R\$ 8.985.810,64	R\$ 3.085.146,45	-R\$ 66.641.236,04
8	Fluxo	R\$ 10.423.540,34	R\$ 3.071.905,48	-R\$ 63.569.330,56
9	Fluxo	R\$ 12.091.306,80	R\$ 3.058.721,34	-R\$ 60.510.609,23
10	Fluxo	R\$ 14.025.915,89	R\$ 3.045.593,78	-R\$ 57.465.015,45
11	Fluxo	R\$ 16.270.062,43	R\$ 3.032.522,56	-R\$ 54.432.492,89
12	Fluxo	R\$ 18.873.272,42	R\$ 3.019.507,44	-R\$ 51.412.985,45
13	Fluxo	R\$ 21.892.996,01	R\$ 3.006.548,18	-R\$ 48.406.437,26
14	Fluxo	R\$ 25.395.875,37	R\$ 2.993.644,54	-R\$ 45.412.792,72
15	Fluxo	R\$ 29.459.215,43	R\$ 2.980.796,28	-R\$ 42.431.996,44
16	Fluxo	R\$ 34.172.689,89	R\$ 2.968.003,16	-R\$ 39.463.993,28
17	Fluxo	R\$ 39.640.320,28	R\$ 2.955.264,95	-R\$ 36.508.728,32
18	Fluxo	R\$ 45.982.771,52	R\$ 2.942.581,41	-R\$ 33.566.146,91
19	Fluxo	R\$ 53.340.014,96	R\$ 2.929.952,31	-R\$ 30.636.194,60
20	Fluxo	R\$ 61.874.417,36	R\$ 2.917.377,41	-R\$ 27.718.817,19
21	Fluxo	R\$ 71.774.324,14	R\$ 2.904.856,47	-R\$ 24.813.960,72
22	Fluxo	R\$ 83.258.216,00	R\$ 2.892.389,28	-R\$ 21.921.571,44
23	Fluxo	R\$ 96.579.530,56	R\$ 2.879.975,59	-R\$ 19.041.595,85
24	Fluxo	R\$ 112.032.255,45	R\$ 2.867.615,18	-R\$ 16.173.980,67
25	Fluxo	R\$ 129.957.416,32	R\$ 2.855.307,82	-R\$ 13.318.672,86
26	Fluxo	R\$ 150.750.602,93	R\$ 2.843.053,28	-R\$ 10.475.619,58
27	Fluxo	R\$ 174.870.699,40	R\$ 2.830.851,33	-R\$ 7.644.768,24
28	Fluxo	R\$ 202.850.011,30	R\$ 2.818.701,76	-R\$ 4.826.066,49
29	Fluxo	R\$ 235.306.013,11	R\$ 2.806.604,32	-R\$ 2.019.462,16
30	Fluxo	R\$ 272.954.975,21	R\$ 2.794.558,81	R\$ 775.096,65

Fonte: elaboração própria.

Neste cálculo os fluxos também foram corrigidos em 16%, conforme aumento médio no preço da energia, já mencionado.

4.7.4 ETE Ibitaré

O cálculo de viabilidade da planta de Ibitaré, mesmo considerando-se a capacidade máxima de geração de energia, apresenta *payback* em muito longo prazo, a perder de vista, na realidade. A **Tabela 27** dá conta de que, mesmo num cenário projetado para trinta anos, com correção dos fluxos em 16%, relativos à economia de energia, corrigida pelo aumento médio do setor, o VPL se apresentaria negativo (-R\$ 12.016.135,76), com TIR de 5,05%. A receita gerada pela autogeração de energia é ínfima, perto do tamanho do investimento realizado, e nem se considerou o custo operacional da planta, a exemplo do que foi feito nos demais casos.

Tabela 27: Análise de viabilidade da ETE Ibitité.

Ano	Parcela	Valor	Descontado	Saldo
0	Investimento	-R\$ 14.014.117,11	-R\$ 14.014.117,11	-R\$ 14.014.117,11
1	Fluxo	R\$ 82.524,00	R\$ 70.836,05	-R\$ 13.943.281,06
2	Fluxo	R\$ 95.727,84	R\$ 70.532,03	-R\$ 13.872.749,02
3	Fluxo	R\$ 111.044,29	R\$ 70.229,32	-R\$ 13.802.519,70
4	Fluxo	R\$ 128.811,38	R\$ 69.927,91	-R\$ 13.732.591,79
5	Fluxo	R\$ 149.421,20	R\$ 69.627,79	-R\$ 13.662.964,01
6	Fluxo	R\$ 173.328,59	R\$ 69.328,96	-R\$ 13.593.635,05
7	Fluxo	R\$ 201.061,17	R\$ 69.031,41	-R\$ 13.524.603,64
8	Fluxo	R\$ 233.230,96	R\$ 68.735,14	-R\$ 13.455.868,51
9	Fluxo	R\$ 270.547,91	R\$ 68.440,13	-R\$ 13.387.428,37
10	Fluxo	R\$ 313.835,58	R\$ 68.146,40	-R\$ 13.319.281,97
11	Fluxo	R\$ 364.049,27	R\$ 67.853,93	-R\$ 13.251.428,05
12	Fluxo	R\$ 422.297,15	R\$ 67.562,71	-R\$ 13.183.865,34
13	Fluxo	R\$ 489.864,70	R\$ 67.272,74	-R\$ 13.116.592,60
14	Fluxo	R\$ 568.243,05	R\$ 66.984,01	-R\$ 13.049.608,58
15	Fluxo	R\$ 659.161,93	R\$ 66.696,53	-R\$ 12.982.912,05
16	Fluxo	R\$ 764.627,84	R\$ 66.410,28	-R\$ 12.916.501,77
17	Fluxo	R\$ 886.968,30	R\$ 66.125,26	-R\$ 12.850.376,52
18	Fluxo	R\$ 1.028.883,23	R\$ 65.841,46	-R\$ 12.784.535,06
19	Fluxo	R\$ 1.193.504,54	R\$ 65.558,88	-R\$ 12.718.976,19
20	Fluxo	R\$ 1.384.465,27	R\$ 65.277,51	-R\$ 12.653.698,68
21	Fluxo	R\$ 1.605.979,71	R\$ 64.997,35	-R\$ 12.588.701,33
22	Fluxo	R\$ 1.862.936,47	R\$ 64.718,39	-R\$ 12.523.982,95
23	Fluxo	R\$ 2.161.006,30	R\$ 64.440,63	-R\$ 12.459.542,32
24	Fluxo	R\$ 2.506.767,31	R\$ 64.164,06	-R\$ 12.395.378,26
25	Fluxo	R\$ 2.907.850,08	R\$ 63.888,67	-R\$ 12.331.489,59
26	Fluxo	R\$ 3.373.106,09	R\$ 63.614,47	-R\$ 12.267.875,12
27	Fluxo	R\$ 3.912.803,07	R\$ 63.341,45	-R\$ 12.204.533,67
28	Fluxo	R\$ 4.538.851,56	R\$ 63.069,60	-R\$ 12.141.464,07
29	Fluxo	R\$ 5.265.067,81	R\$ 62.798,91	-R\$ 12.078.665,15
30	Fluxo	R\$ 6.107.478,66	R\$ 62.529,39	-R\$ 12.016.135,76

Fonte: elaboração própria.

4.7.5 ETE Marselisborg

Para fins de comparação, entende-se oportuno analisar financeiramente o projeto-paradigma, detalhado anteriormente no presente estudo. Na ETE Marselisborg foram investidos cerca de € 3 milhões e, embora não se tenham dados precisos de todos os fluxos anuais, relativos à economia real gerada pelo aproveitamento energético da planta, sabe-se que a expectativa de *payback* global do projeto monta a aproximadamente 3,9 anos. É evidente que não se tem ideia da TMA do mercado dinamarquês mas, com base nos dados de que se dispõe, é possível fazer uma comparação com os investimentos nacionais identificados na presente pesquisa e uma projeção dos fluxos.

Utilizando-se os dados sabidos (valor total do investimento e *payback*), e aplicando-se a tais valores a mesma TMA utilizada no cálculo dos projetos brasileiros, num horizonte de cinco anos, chega-se a fluxos anuais de € 1.105.000,00 (sem

correção), à TIR de 17,53% (contra 16,50% da TMA) e VPL de € 61.381,94, em apenas 3,9 anos. Tais resultados, estampados na **Tabela 28**, demonstram a diferença de viabilidade do projeto de Aarhus com relação aos similares nacionais.

Tabela 28: Análise hipotética de viabilidade do projeto da ETE Marselisborg em comparação aos projetos nacionais.

Ano	Parcela	Valor	Descontado	Saldo
0	Investimento	-€ 3.000.000,00	-€ 3.000.000,00	-€ 3.000.000,00
1	Fluxo	€ 1.105.000,00	€ 948.497,85	-€ 2.051.502,15
2	Fluxo	€ 1.105.000,00	€ 814.161,25	-€ 1.237.340,90
3	Fluxo	€ 1.105.000,00	€ 698.850,86	-€ 538.490,04
4	Fluxo	€ 1.105.000,00	€ 599.871,98	€ 61.381,94

Fonte: elaboração própria.

5 DISCUSSÃO

O presente estudo descortinou realidades do setor de saneamento público e forneceu subsídios para que se pudesse chegar a algumas conclusões, que a seguir são esmiuçadas e cotejadas com a literatura revisada.

5.1 Potencial inexplorado

Proporcionalmente ao tamanho da amostra analisada, foi encontrado pequeno número de casos de aproveitamento energético do biogás de esgoto. Embora a DA mostre-se mais eficiente na geração de biogás a temperaturas mais elevadas, típicas de climas tropicais, como reconhecido em trabalhos anteriores (ARUNDEL, 2000; BASSANI; KOUGIAS; ANGELIDAKI, 2016; LIU et al., 2015), é do hemisfério norte que vêm a maior quantidade de projetos de aproveitamento: apenas na Europa, 9,4% dos 155,8TWh de biogás produzidos em 2017 provieram de ETEs (VAN GRINSVEN; LEGUIJT; TALLAT-KELPSAITE, 2017).

As principais dificuldades na adoção desses projetos, reveladas pela presente pesquisa e que já haviam sido detectadas em estudos anteriores, podem ser atribuídas a: a) elevados custo de implementação, conforme identificado por Chae et al. (2015), Drinan e Spellman (2013), McCarty, Bae e Kim (2011) e Venkatesh e Brattebø (2011); b) elevado custo operacional e de disposição final do lodo, como levantado por Brasil (2017b); c) à escassez de conhecimento técnico (BASRAWI et al., 2017; KIM et al., 2015; VASCO-CORREA et al., 2018); d) às barreiras burocráticas e regulatórias do setor, que não é guarnecido por políticas públicas duradouras e sustentáveis, como reconhecido por Bursztyn e Bursztyn (2012) e Leoneti, Prado e Oliveira (2011). Tudo isso, aliado à falta de eficiência de muitas plantas (como salientado por Lizama et al. (2017) e Veijanen e Rintala (2007)), resulta na inviabilidade, tanto técnica quanto financeira, dos projetos.

A par disso, estudo anterior já havia detectado que, a depender do volume de biogás gerado na ETE, o investimento (frequentemente realizado em equipamentos importados, sem similares nacionais) torna-se muito elevado, a ponto de inviabilizar o projeto (PNUD; MMA, 2010).

Ouviu-se, quando da coleta dos dados, relatos de empresas que já realizaram pesquisas e estudos sobre o aproveitamento energético do esgoto em suas plantas, e que acabaram por não encontrar viabilidade financeira, motivo pelo qual não deram

continuidade a seus planos. Ouviu-se, ainda, de um diretor de uma grande empresa, que manifestou-se sob a condição de anonimato, que todo o investimento em P&D para a produção de biogás não seria mais vantajoso do que pagar os menos de R\$ 100,00 de frete por tonelada, por viagem, para disposição do lodo de suas ETEs em aterros sanitários.

E, assim, centenas de reatores anaeróbios instalados em ETEs brasileiras, como identificado por Chernicharo et al. (2018), continuam sem aproveitar o biogás que já geram, sequer para aquecerem o lodo, o que pelo menos otimizaria seu processo de digestão.

5.2 Carência de dados

Quando se comparam empreendimentos e setores da indústria brasileira com seus congêneres internacionais percebe-se a pobreza de dados, pesquisas e detalhes de informações.

Inexiste, no cenário nacional, banco de dados completo e confiável que detalhe a realidade do setor de saneamento básico. O SNIS, como já mencionado, é uma iniciativa de extrema importância na busca da convergência das informações das diferentes organizações responsáveis por tratamento de água e esgoto a um único banco de dados, mas não reflete toda a realidade. Primeiro porque há prestadores que não alimentam o sistema e, em segundo lugar, porque os dados ali inseridos não são validados nem auditados, o que pode mascarar qual, de fato, o verdadeiro cenário nacional.

Também são dignos de nota relevantes trabalhos científicos que buscam traçar panoramas do setor, identificando as estruturas de ETEs, seus equipamentos e sistemas de tratamento, mas tais estudos não são capazes de abarcar toda a gama de possíveis variáveis que impactam a eficiência dos tratamentos existentes. Diz-se isso porque, a fim de que se possa realizar uma correta análise da capacidade de geração de biogás de esgoto no Brasil, seriam imprescindíveis dados sólidos e constantemente atualizados sobre os sistemas de digestão anaeróbia existentes pelas ETEs país afora. Sem isso, como mencionado anteriormente, têm-se apenas estimativas, baseadas em estudos de amostras do setor.

Outra deficiência, encontrada na amostra analisada no presente estudo, foi a falta de individualização dos custos de produção de biogás, biometano ou energia elétrica. Nos casos analisados mostrou-se comum a inexistência dados financeiros

específicos relativos aos custos de geração e beneficiamento do biogás nas ETEs, o que impede o correto cálculo do custo dos sistemas de aproveitamento energético, e isso dificulta a precisa análise de viabilidade dos investimentos. A propósito, a carência de informações consistentes nos projetos nacionais, agregada à ineficiência dos projetos de saneamento, especialmente no setor público, já haviam sido tratadas em trabalhos anteriores (DUTRA et al., 2016; PINHEIRO; SAVOIA; ANGELO, 2016).

Dessa forma, torna-se impossível afirmar-se, com precisão, qual o custo do quilowatt de energia gerado ou do metro cúbico do biometano de esgoto em determinado projeto.

5.3 Importância dos projetos realizados

A despeito das barreiras de acesso à tecnologia, da aparente baixa eficiência do esgoto na produção do biogás e do alto valor dos investimentos iniciais, os casos de aproveitamento energético do resíduo, identificados no presente trabalho, foram concluídos e estão funcionando.

Esse caráter empreendedor das organizações analisadas, de superarem as dificuldades para produzirem P&D e inovação é louvável, e espera-se que, num futuro próximo, as condições regulatórias do país convirjam para permitir que mais iniciativas como essas floresçam. A propósito, mais adiante são sugeridas algumas das medidas que podem tornar esse setor menos árido, a fim de proporcionar atratividade a investimentos em projetos de aproveitamento energético.

5.4 As lições do caso-paradigma

Quando se analisa o case da ETE Marselisborg, algumas questões vêm à mente: por que seu projeto de investimento é significativamente mais viável que os exemplos nacionais estudados? O que torna aquele projeto tão mais vantajoso? Ao se confrontá-lo com as iniciativas nacionais, surgem algumas hipóteses.

A primeira é que, ao mudar seu conceito, de uma unidade de consumo de recursos para uma planta geradora de valor, todo o *mindset* da corporação foi transformado. Com isso em mente, procurou-se primeiramente diminuir ao máximo o consumo da planta. Dessa forma, relevantes investimentos iniciais foram direcionados à aquisição de novos equipamentos e sistemas que fossem mais eficientes e econômicos que seus antecessores. Como resultado dessa otimização, a empresa

conquistou significativa redução no consumo energético, aliada à drástica diminuição dos custos com operação e manutenção da planta.

Conquistada a eficiência dos processos, passou-se investir no aumento da capacidade de aproveitamento energético, até então existente. Com isso, investiu-se em equipamentos que aumentaram a produção de eletricidade e calor e que garantiram a autossuficiência da planta.

Ademais, o excesso energético acabou por permitir a criação de uma nova fonte de renda (em acréscimo à cobrança dos valores pelos serviços prestados à população), proveniente da comercialização de energia elétrica e calor. Neste particular, é inquestionável que a estrutura em que a planta está inserida facilitou tal cenário, já que os *grids* térmico e elétrico existentes possibilitaram a instituição da nova fonte de renda.

Outro fator que influenciou na atratividade do investimento é o sistema regulatório dinamarquês, que fornece benefícios fiscais a empresas que diminuam sua pegada ambiental (*ecological footprint*), especificamente por conta da redução na emissão dos GEE. Esse incentivo, presente em diversos países europeus, é uma grande contribuição ao desenvolvimento dessa indústria, como lembram Van Grinsven, Legujit e Tallat-Kelsaite (2017).

Por fim, verificou-se que a companhia dinamarquesa cobra mais e melhor pelo metro cúbico de água e de esgoto que as companhias brasileiras (R\$ 27,08 o m³). Tome-se por base o exemplo de Ribeirão Preto, SP, em que o metro cúbico varia atualmente de R\$ 0,70 (tarifa residencial social para consumo de 0 a 10m³) a R\$ 32,32 (tarifa residencial padrão para consumo superior a 100m³) (RIBEIRÃO PRETO, 2018). Percebe-se, portanto, a disparidade das fontes de receita entre as companhias, principalmente porque aqui, em muitas localidades, os dez primeiros metros cúbicos de água são subsidiados, além de que existem diversas faixas de consumo, algumas das quais também beneficiadas por subsídios.

Em resumo, talvez falte à realidade brasileira justamente esta consciência de transformação, de aliar eficiência não apenas ao aproveitamento energético, mas também à redução do consumo de recursos.

Por fim, este exemplo provou que é possível que uma ETE se transforme numa usina de geração de renda. Isso não é novidade, como mostra estudo de quase uma década atrás da Foundation for Applied Water Research (STOWA, 2010). É possível que um setor tradicionalmente desinteressante se torne economicamente atraente. É

possível preservar-se o meio ambiente e universalizar o saneamento, ao mesmo tempo em que se conquista vantagem econômica. E se é possível lá fora, é possível também aqui. Resta saber como fazê-lo.

5.5 Análise comparativa dos projetos analisados

Quando se fala em eficiência, importante observar que as plantas analisadas apresentaram duas diferentes características em termos de eficiência: 1) eficiência na produção de CH_4 via efluente e 2) eficiência na geração de energia via CH_4 .

Como reconhecido por Bharathiraja et al. (2016), Budzianowski (2016), Chiernicharo et al. (2015), Rasi, Veijanen e Rintala (2007) e Ruffino et al. (2015)), a eficiência da geração de biogás depende diretamente da concentração orgânica do efluente. Por isso, a fim de que se pudessem comparar projetos tão distintos e em diversas realidades (diferentes cargas orgânicas, sistemas de geração, população atendida, volume tratado etc.), chegou-se a alguns indicadores que nivelam os sistemas num mesmo patamar. São eles: DBO removida por habitante; biogás gerado por DBO removida; biogás gerado por habitante; biogás gerado por volume tratado; energia gerada por DBO removida; energia gerada por habitante atendido; energia gerada por biogás produzido; energia gerada por volume tratado.

Por meio desses indicadores foi possível analisar a eficiência das plantas, como estampado na **Tabela 29**.

Tabela 29: Comparativo de eficiência de sistemas de aproveitamento energético, considerando-se a capacidade máxima de cada planta³⁶.

Indicador ³⁷	ETE Marselisborg	ETE Ribeirão	ETE Arrudas	ETE Ibirité	ETE Franca ³⁸
DBO inicial (mg/L)	350,0	210,0	272,0	295,2	350,0
DBO final (mg/L)	1,6	12,5	58,0	8,5	17,5
DBO-R (%)	99,54	94,05	78,68	97,12	95,00
Volume tratado / ano (m ³)	11.133.595	48.380.220	69.024.960	2.083.899	15.768.000
DBO-R / litro (mg)	348,40	197,50	214,00	286,70	332,50
DBO-R / ano (t)	3.878,94	9.555,09	14.771,34	597,45	5.242,86
Habitantes beneficiados ³⁹	194.269	555.628	977.212	63.183	294.336
DBO-R / habitante (kg)	19,97	17,20	15,12	9,46	17,81
Biogás / ano (m ³)	1.979.503	3.240.000	4.199.040	1.071.640	1.260.000
Biogás / DBO-R (m ³ /t)	510,32	339,09	284,27	1.793,68	240,33
Biogás / habitante (m ³)	10,19	5,83	4,30	16,96	4,28
Biogás / vol. tratado (m ³ /m ³)	0,1778	0,0670	0,0608	0,5142	0,0799
Energia / ano (kWh)	4.815.000	7.128.000	4.892.696	184.000	-
Energia / DBO-R (kWh/kg)	1,2413	0,7460	0,331	0,308	-
Energia / habitante (kWh)	24,7852	12,8287	5,0068	2,910	-
Energia / biogás (kWh/m ³)	2,4324	2,2000	1,1652	0,1700	-
Energia/vol.tratado (kWh/m ³)	0,4325	0,1473	0,0709	0,0883	-

Fonte: elaboração própria com dados fornecidos pelas companhias à pesquisa.

Da análise da tabela podem se extrair algumas constatações:

- A carga de DBO removida por habitante na ETE Marselisborg (19,97 kg) não está muito distante daquela removida pelas ETES Franca (17,81 kg) e Ribeirão (17,20 kg), o que demonstra a eficiência das plantas na remoção de carga orgânica dos resíduos;
- A eficiência na geração de biogás pode ser determinada por meio do indicador biogás produzido por DBO removida, o que posiciona o caso-paradigma 50,5% acima do maior segundo colocado nacional: Marselisborg: 510,32 m³/t; Ribeirão: 339,09 m³/t; Arrudas: 284,27 m³/t; Franca: 240,33 m³/t;
- Já a eficiência na geração de energia de Marselisborg, por quilo de DBO removida (1,2413 kWh/kg), é 60% superior à da segunda posição (Ribeirão, com 0,7460 kWh/kg, repise-se, trabalhando em sua capacidade máxima);
- Por fim, a eficiência de geração de energia por volume de biogás não encontra tanta diferença entre primeira e segunda posições (2,4324 kWh/m³

³⁶ Foi considerada a capacidade máxima de produção de todas ETES nacionais, ainda que não atingidas atualmente.

³⁷ DBO-R: DBO removida.

³⁸ Não há dados relativos à geração de energia porque a ETE de Franca produz apenas biometano.

³⁹ Habitantes beneficiados são considerados os atualmente atendidos em cada sistema.

em Marselisborg e 2,2 kWh/m³ em Ribeirão), embora estejam muito distantes das últimas colocadas (1,4742 kWh/m³ em Arrudas e 0,1700 kWh/m³ em Ibirité). Isso demonstra a eficiência dos equipamentos de geração de energia por meio do CH₄ gerado nas plantas

- e) Destacam-se na análise alguns dos números apresentados pela ETE Ibirité. No cálculo foram consideradas as capacidades máxima de produção de biogás e de energia informadas pela companhia (como nos demais casos), mas a principal diferença talvez resida em dois indicadores: no diminuto volume de efluente tratado atualmente e na pequena população atendida. Admitindo-se como corretos os números informados pela companhia, acredita-se que talvez a capacidade máxima informada preveja um número bem maior de habitantes, aliado a um volume também bem maior de efluente tratado. Por outro lado, o fato de verificar-se pequena diferença entre a energia atualmente gerada (103.994 kWh) e a capacidade máxima (184.000 kWh), face à diferença de produção de biogás informada (atuais 148.361 m³, para o máximo de 1.071.640 m³), possa indicar que o sistema de geração de biogás trabalha com grande folga, ao passo que o sistema de geração de energia funciona próximo de seu limite.

O quadro, porém, muda completamente quando se refaz a mencionada análise utilizando-se os volumes atualmente produzidos de biogás e energia elétrica de cada planta. Considerando-se que, na prática, este é o resultado que os projetos estão obtendo em suas operações cotidianas (o que, de fato, influencia nos resultados financeiros do investimento), calha expô-lo, o que é feito na **Tabela 30**.

Tabela 29: Comparativo de eficiência de sistemas de aproveitamento energético, considerando-se os volumes atualmente produzidos.

Indicador ⁴⁰	ETE Marselisborg	ETE Ribeirão	ETE Arrudas	ETE Ibirité	ETE Franca ⁴¹
DBO inicial (mg/L)	350,0	210,0	272,0	295,2	350,0
DBO final (mg/L)	1,6	12,5	58,0	8,5	17,5
DBO-R (%)	99,54	94,05	78,68	97,12	95,00
Volume tratado / ano (m ³)	11.133.595	48.380.220	69.024.960	2.083.899	15.768.000
DBO-R / litro (mg)	348,40	197,50	214,00	286,70	332,50
DBO-R / ano (t)	3.878,94	9.555,09	14.771,34	597,45	5.242,86
Habitantes beneficiados	194.269	555.628	977.212	63.183	294.336
DBO-R / habitante (kg)	19,97	17,20	15,12	9,46	17,81
Biogás / ano (m ³)	1.979.503	2.895.784	4.199.040	148.361	16.030
Biogás / DBO-R (m ³ /t)	510,32	303,06	284,27	248,32	3,06
Biogás / habitante (m ³)	10,19	5,21	4,30	2,35	0,05
Biogás / vol. tratado (m ³ /m ³)	0,1778	0,0599	0,0608	0,0712	0,0010
Energia / ano (kWh)	4.815.000	4.551.616	4.892.696	103.994	-
Energia / DBO-R (kWh/kg)	1,2413	0,476	0,331	0,1741	-
Energia / habitante (kWh)	24,7852	8,1918	5,0068	1,6459	-
Energia / biogás (kWh/m ³)	2,4324	1,5718	1,1652	0,7010	-
Energia/vol.tratado (kWh/m ³)	0,4325	0,0941	0,0709	0,0499	-

Fonte: elaboração própria com dados fornecidos pelas companhias à pesquisa.

Outro indicador relevante, que permite a análise da eficiência dos valores investidos, é a relação de investimento realizado por habitante, beneficiado pelo sistema de tratamento de esgoto, e aproveitamento energético pela quantidade produzida de biogás e de energia elétrica, conforme mostram as **Tabelas 31 e 32**.

Tabela 31: Relação de investimentos por habitante.

ETE	Investimento total	Habitantes beneficiados ⁴²	Investimento por habitante
Ribeirão Preto ⁴³	R\$ 5.884.500,00	555.628	R\$ 10,59
Franca	R\$ 9.554.262,61	294.336	R\$ 32,46
Marselisborg ⁴⁴	R\$ 13.248.600,00	194.269	R\$ 68,20
Arrudas	R\$ 88.518.535,00	977.212	R\$ 90,58
Ibirité ⁴⁵	R\$ 14.014.117,11	63.183	R\$ 221,80

Fonte: elaboração própria.

⁴⁰ DBO-R: DBO removida.

⁴¹ Não há dados relativos à geração de energia porque a ETE de Franca produz apenas biometano.

⁴² Habitantes beneficiados são considerados os atualmente atendidos pelo sistema.

⁴³ Valores de investimento da ETE Ribeirão Preto hipotéticos, estimados com base em valor de mercado praticado à época da construção do projeto.

⁴⁴ Valores em euro, do investimento na modernização da ETE Marselisborg, convertidos à razão de R\$ 4,4162, conforme BACEN (2019b).

⁴⁵ Foi considerado apenas o investimento para aproveitamento do biogás, posto que, nos outros projetos comparados, não foi computado o investimento da construção dos biodigestores, que já existiam há vários anos.

Tabela 32: Relação de investimentos por biogás e energia produzidos.

ETE	Investimento (R\$)	Biogás ao ano (m ³)	Energia ao ano (kWh)	Investimento por biogás (R\$/m ³)	Investimento por energia (R\$/kWh)
Ribeirão Preto	5.884.500,00	3.240.000	7.128.000	R\$ 1,816	R\$ 0,825
Marselisborg	13.248.600,00	1.979.503	4.815.000	R\$ 6,692	R\$ 2,751
Franca	9.554.262,61	1.260.000	-	R\$ 7,582	-
Arrudas	88.518.535,00	4.199.041	6.190.295	R\$ 21,080	R\$ 14,299
Ibirité	14.014.117,11	1.071.640	184.000	R\$ 13,077	R\$ 76,163

Fonte: elaboração própria.

De referidos dados pode-se observar:

- a) A ETE Ribeirão está, simultaneamente, em dois extremos quando comparada às demais: da amostra, é a que menos investiu por habitante (R\$ 10,59), enquanto é a que apresentou a menor relação de real investido por biogás (R\$ 1,816) e energia gerados (R\$ 0,825). Em outras palavras, o investimento foi mais assertivo e eficientemente aplicado, já que financiaram o sistema com o biogás e a energia mais baratos dos projetos analisados;
- b) De outro lado, a ETE Ibirité também figura em dois extremos: no de maior investimento por habitante (R\$ 221,80) e no maior custo de produção de energia (R\$ 76,163) e segundo maior de biogás (R\$ 13,077) por investimento. Seu custo de geração de energia é mais de 92 vezes superior ao da ETE de Ribeirão;
- c) Embora a ETE dinamarquesa figure na terceira posição, com o maior investimento por habitante (mais de sete vezes superior ao da de Ribeirão), desponta no segundo lugar com o metro cúbico de biogás e o quilowatt-hora de energia mais baratos (R\$ 6,692 e R\$ 2,751, respectivamente), embora ainda sejam mais de três vezes superiores aos valores encontrados em Ribeirão;
- d) A ETE de Franca posiciona-se como segundo menor investimento por habitante (R\$ 32,46), e apresenta bons resultados em termos de custo de produção de biogás (R\$ 7,582), na terceira posição, apenas R\$ 0,836 a mais que a segunda colocada, ETE Marselisborg.

Algumas reflexões exsurgem do cotejamento entre as diferentes análises de eficiência realizadas:

- Será que os valores da energia elétrica e do etanol (utilizado na análise) são acessíveis, a ponto de inviabilizar os projetos de produção de biogás?

Serão os valores com infraestrutura e equipamentos nacionais muito superiores aos praticados na Europa?

- O custo de energia elétrica talvez possa ter um impacto maior sobre projetos de pequenos municípios, do que tem sobre os grandes municípios;
- Sabe-se da relevância que têm alguns fatores existentes na Europa, que podem influenciar na análise de viabilidade, como economia de escala, custos de manutenção e logística e incentivos fiscais, mas é inegável que há uma importante questão técnica que pesa sobre tão diferentes resultados;
- O tratamento anaeróbio é muito sensível a uma série de alterações ambientais (pH, chuvas, temperatura etc.), como já analisado, e o nível de excelência da operação da estação de tratamento, atingido em boa parte com tecnologia e automação, permite um ajuste fino cujos resultados impactam diretamente na eficiência da planta;
- Não se pode olvidar que a produção de CH₄ em digestores de grande porte (de lodo primário e secundário), como em alguns casos encontrados neste estudo, é um processo bastante trabalhoso e delicado, sujeito a imperfeições. Neles há ineficiência na homogeneização do lodo e na separação da porção gasosa, o que não ocorre, por exemplo, em reatores de menor porte;
- Como observado anteriormente, algumas técnicas poderiam melhorar a DA e contribuir para a maior produção de CH₄ como, por exemplo, a existência de fase anaeróbia previamente à fase aeróbia que, inclusive, demanda digestores de menor porte.

Não se tem, no momento, resposta a tais questionamentos e reflexões, que podem ser aprofundados na realização de futuros trabalhos.

5.6 Energia elétrica ou biometano?

Outro questionamento que surge, ao analisarem-se as iniciativas nacionais de aproveitamento energético do esgoto, é sobre qual subproduto se mostraria mais viável.

As análises de indicadores financeiros realizadas anteriormente demonstraram que, face ao modelo atual adotado pelos projetos, a expectativa de retorno do investimento não é satisfeita, ao menos no curto prazo.

Se, por um lado, a geração de energia elétrica por meio do biogás apresenta vantagens, como a geração de fluxo de receita elevado, há a contrapartida do dispendioso investimento inicial que se faz necessário. De outra banda, há projetos de aproveitamento de biometano que requerem menor investimento inicial, mas que apresentam fluxos de receita bem inferiores. No final do dia, ambos cenários podem acabar resultando em inviabilidade financeira, o que demanda profunda análise das características individualizadas de cada projeto, a fim de que se possa determinar a melhor alternativa de investimento, com apoio técnico de sistemas de tomada de decisão, como proposto por Oliveira (2004).

5.7 Para além dos objetivos econômico-financeiros

Apesar dos resultados dos indicadores financeiros dos projetos, é imprescindível que sejam analisadas outras questões antes que se possa determinar sua viabilidade ou inviabilidade econômica. Como deixado claro por algumas companhias, os investimentos não foram realizados apenas com vistas à atratividade de seu retorno financeiro.

É fato que, ocasionalmente, investimentos realizados pelo Poder Público em projetos sequer cogitam considerar indicadores de viabilidade econômica, face ao descaso e ao desrespeito ao princípio constitucional da eficiência (situação comum em obras públicas). Ademais, é comum a ação de curto prazo dos gestores públicos, que preocupam-se em fazer proliferar obras em períodos eleitorais que, muitas vezes, acabam abandonadas por conta da mudança dos titulares dos cargos eletivos.

Mas não se trata apenas disso.

Tanto iniciativas do setor público quanto do setor privado analisadas não tinham visão de longo prazo e, como bem informaram algumas organizações ao presente estudo, seu objetivo primeiro era o de desenvolver P&D. A evolução do setor, a melhoria da eficiência e das melhores práticas de aproveitamento energético, ou seja, os frutos do investimento virão com o tempo, e somente ações sólidas de P&D podem conduzir a tal avanço tecnológico. Tais frutos, por conseguinte, não se traduzem tão-somente em retorno financeiro direto, mas também em conhecimento e em segredo industrial, que tem potencial de resultar em diferencial competitivo.

De outra banda, não se pode olvidar dos benefícios ambientais trazidos por tais projetos. Há organizações que, independentemente do retorno financeiro, têm impregnada em sua cultura a proteção ao meio ambiente como valor fundamental, e por essa razão é que realizam investimentos daquela natureza. Ainda assim, não se pode olvidar que tais ações são capazes de melhorarem a imagem da organização perante seus *stakeholders*, o que agrega valor à marca e à sua reputação, como bem identificaram estudos anteriores (DANGELICO; VOCALELLI, 2017; GREBITUS; STEINER; VEEMAN, 2016; NAIDOO; GASPARATOS, 2018; VAN LOO et al., 2015).

5.8 Oportunidades no mercado de biocombustíveis

O Brasil tem a 37ª maior reserva provada de GN do mundo, com 0,38 trilhões de metros cúbicos (ANP, 2018). Em 2017 o país registrou o crescimento de 1,7% no consumo do combustível, atingindo 38,3 bilhões de metros cúbicos (1% do total mundial), o que o coloca na 26ª posição do ranking de maiores consumidores de GN (ANP, 2018).

O GN também tem conquistado mercado como combustível veicular. Em 2017, o GNV respondeu por 1,6% de todas as vendas de combustíveis do país, com cerca de 2 bilhões de metros cúbicos vendidos (PLURAL, 2018).

E o setor apresenta potencial de crescimento, como demonstra a retomada das conversões de veículos nos últimos anos (mais de 90 mil conversões apenas em 2017), efeito colateral dos fortes aumentos do PIS e COFINS incidentes na gasolina e no etanol hidratado, o que aumentou a competitividade do GNV no mercado (PLURAL, 2018). Também em 2017, o número de veículos movidos a GNV superou a marca de 2 milhões (PLURAL, 2018), e a tendência do mercado é crescer mais: estima-se que a demanda por GN no Brasil salte dos 9 bilhões de metros cúbicos, em 2000, para 62 bilhões em 2040 (IEA, 2018).

Esse cenário, favorável à utilização o GN, tem capacidade de impactar positivamente eventuais iniciativas de produção de biometano renovável, para uso em substituição e em complementação àquela fonte fóssil.

Ademais, o RENOVABIO, como já citado, é outro importante coadjuvante no estímulo à utilização do biometano, o que vai ao encontro da crescente demanda por biocombustíveis no Brasil, oitavo maior consumidor de energia mundial e segundo maior consumidor de combustíveis de fontes renováveis (IEA, 2018).

Desde que possua as características exigidas pela ANP (2017), o biometano pode ser utilizado em substituição ao GN e, portanto, poderia ser injetado no *grid* já existente, como lembram ANP (2017), Chernicharo et al. (2015) e Miki (2018).

Essa solução poderia ser aproveitada pelas plantas geradoras de biometano que se situem nas imediações dos dutos, enquanto as usinas mais afastadas poderiam se utilizar da solução de comercialização em postos de combustível próprios ou mesmo transporte, em cilindros, para postos da região, a exemplo do que ocorre na realidade europeia, como bem lembrado por Brasil, Giz e Becher (2016).

5.10 Sugestão de iniciativas para a realidade nacional

Face a tudo o que foi colhido e analisado, acredita-se que algumas iniciativas poderiam fomentar o mercado nacional de aproveitamento energético do biogás no Brasil, pelo que sugerem-se:

- o investimento em P&D, via realização de programas de inovação aberta e *hackatons* envolvendo sociedade, universidades, governos, empresas privadas e institutos de pesquisa, a fim de que se desenvolvam tecnologias nacionais mais simples, mais eficientes e menos dispendiosas que seus similares importados, especialmente relacionadas à 1) geração e purificação de biogás e 2) à geração de energia por biogás ou biometano, com o objetivo de tornar o mercado mais atraente a investimentos, como preconizado por Budzianowski (2016), Gil et al. (2018), Zhu et al. (2018) e Zielewicz (2016);
- a redução ou isenção nos impostos de importação e comercialização das tecnologias de aproveitamento, tanto nas importadas, que não encontrem similares nacionais, quanto nas desenvolvidas aqui no país;
- a abertura de linhas de crédito específicas, com condições especiais, para projetos de produção de biogás a partir do esgoto;
- o estímulo à adoção de tratamento conjunto entre esgotos sanitários e esgotos industriais “fortes” (com alta concentração de DBO);
- a criação de um banco de dados nacional, confiável e dinâmico, que contemple especificamente a produção de biogás de esgoto, por meio do mapeamento das unidades de digestores anaeróbios existentes;

- o incentivo à instalação de plantas de produção de biometano próximas aos dutos de GNV já existentes no país, como praticado na Áustria (VAN GRINSVEN; LEGUIJT; TALLAT-KELPSAITE, 2017);
- a determinação, via decreto governamental, de mistura de biometano ao GNV, como já ocorre na Holanda (VAN GRINSVEN; LEGUIJT; TALLAT-KELPSAITE, 2017);
- a adoção do uso do biometano por frotas oficiais em nível nacional, a exemplo do que buscaram realizar algumas iniciativas legislativas estaduais (PARANÁ, 2018; SÃO PAULO, 2013);
- a utilização do biometano como parte da estratégia de descarbonização do transporte público das grandes cidades (BRASIL et al., 2016; VAN GRINSVEN; LEGUIJT; TALLAT-KELPSAITE, 2017);
- a diferenciação da taxação, via incentivos fiscais, tanto da energia produzida via biogás quanto do biometano, como praticado na Suécia e na Suíça (VAN GRINSVEN; LEGUIJT; TALLAT-KELPSAITE, 2017);
- o estímulo à produção de veículos movidos a biometano, GNV ou *flex* (como algumas iniciativas *tetrafuel* existentes no mercado há alguns anos), por meio da isenção fiscal ou da diminuição de impostos e taxas de juros de financiamentos para sua aquisição, como faz o Egito (VAN GRINSVEN; LEGUIJT; TALLAT-KELPSAITE, 2017). A propósito disso, calha citar recente lei estadual mineira (MINAS GERAIS, 2019), que isentou de IPVA carros híbridos, a gás ou elétricos, fabricados em MG, o que já despertou o interesse da Fiat, que anunciou a fabricação do Grand Siena movido a GNV para os próximos dias (GONTIJO, 2019).
- o fomento à comercialização do GNV em postos de combustível já existentes, via incentivos fiscais e linhas de crédito para ampliações e reformas, bem como o incentivo à criação de pequenos postos de abastecimento a biometano anexos às unidades produtoras de biogás (BRASIL; GIZ; BECHER, 2016; MOREIRA, 2017);
- a facilitação da comercialização de biometano, por meio da simplificação da regulamentação burocrática que engessa o setor.

O ideal é que todas as iniciativas supracitadas estejam consubstanciadas em políticas públicas de gestão ambiental de longo prazo. Tais políticas necessitam ser desenvolvidas de forma participativa, trazendo-se ao debate e planejamento todos os *stakeholders* eventualmente afetados. Das políticas, a universalização do saneamento será apenas uma das iniciativas, e deverá estar integrada num contexto maior de sustentabilidade, a exemplo do que foi identificado no bem-sucedido caso-paradigma dinamarquês.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo geral proposto no início do presente trabalho foi atingido. Por meio da coleta de dados realizada em significativa amostra de organizações de tratamento de esgoto nacionais, foi possível identificar sistemas, em atividade, projetados para aumentar a eficiência energética de ETEs, pelo aproveitamento do biogás. Identificados tais projetos, foi analisada sua viabilidade econômica, utilizando-se de indicadores usuais na avaliação de investimentos.

A partir da comparação dos projetos com iniciativas internacionais, conseguiu-se identificar fatores que impactaram a viabilidade dos investimentos, o que serviu de base à sugestão de iniciativas capazes de diminuir seus riscos. Tal conteúdo é útil à realização de futuros projetos e tem o intuito de viabilizar a disseminação de iniciativas de aproveitamento energético de tal resíduo, como forma de incentivo à universalização do saneamento básico no país.

Tornar atraente o setor de saneamento público, como forma de estimular-se o desenvolvimento de tal mercado, vem ao encontro da Teoria do Capitalismo Natural, defendida na parte introdutória desta pesquisa.

De igual forma, os objetivos específicos também foram alcançados, vez que levantamento realizado em relevante amostra foi capaz de selecionar as ETEs nacionais que, atualmente, aproveitam o biogás proveniente da DA de esgoto para fins de recuperação energética. Uma vez identificados, tais sistemas foram analisados pormenorizadamente e foi realizada a avaliação de sua viabilidade econômica. Ao final, as conclusões do que foi objeto de estudo permitiram que fossem traçadas diretrizes para a realização de futuros projetos, o que foi feito com o condão de disseminar tais sistemas a outras ETEs brasileiras.

Em conclusão ao presente trabalho, calha dizer que chegou-se a uma resposta acerca da questão de pesquisa proposta. De fato, todos os projetos nacionais analisados, que visam aumentar a eficiência energética das ETEs, mostraram-se inviáveis. Todavia, mostrou-se a viabilidade econômica de projeto semelhante em terras dinamarquesas.

Assim, por conta do que foi apurado no decorrer desta pesquisa, acredita-se que sua maior contribuição resida na análise pormenorizada e comparativa entre realidades tão distintas de projetos de aproveitamento energético do esgoto (a nacional e a estrangeira), robustecida por meio do estudo de iniciativas práticas (e não

teóricas) de casos reais. A comparação entre sistemas que se mostraram economicamente inviáveis, e um caso-paradigma de sucesso, permitiu esclarecer importantes questões capazes de explicar o porquê da viabilidade ou não de projetos dessa natureza. E tal análise comparativa foi além, pois propôs um conjunto de ações visando solucionar aquela incongruência de resultados, possibilitando que futuros projetos de investimento sejam capazes de mitigar seu risco de prejuízo. Além de relevância científica, portanto, este trabalho também contém importante potencial de subsídio à tomada de decisões gerenciais para a realização de investimentos de aproveitamento energético de esgoto.

A presente pesquisa sofreu algumas limitações, especialmente em virtude da negativa de algumas organizações de fornecerem dados. Embora muitos deles fossem públicos e sujeitos à proteção da LAI, houve deliberada sonegação. Apesar dos dados coletados terem permitido a comparação entre diferentes sistemas e implementações, especialmente no tocante aos aspectos financeiros de tais projetos, a ausência de alguns indicadores financeiros, por exemplo, enfraqueceu, em certa medida, a possibilidade de comparação entre diferentes realidades. Na verdade, a inexistência de dados individualizados de custos para a geração de energia ou produção de biogás das plantas interferiu na real análise de viabilidade econômica dos projetos.

Seria importante que futuros trabalhos acompanhassem o desenvolvimento das plantas identificadas no presente trabalho ao longo do tempo, a fim de confrontar as projeções com o realizado pelas companhias, especialmente com relação aos seus volumes de produção e *payback* realizado. Também seria de grande utilidade o acompanhamento do andamento dos projetos de aproveitamento energético que, até o presente, ainda não foram executados. Tudo isso ganharia mais relevância com a confrontação das eventuais e prováveis alterações regulatórias e legislativas do setor energético.

Outra sugestão a futuras pesquisas é a análise de viabilidade de sistemas de aproveitamento energético embasada em análise comparativa entre os valores da energia elétrica e demais combustíveis renováveis entre Brasil e Europa, em cotejamento com os valores necessários à instalação de infraestrutura e aquisição de equipamentos entre ambas realidades.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AARHUS 2017. **Aarhus Sustainability Model**. 2. ed. Aarhus: Worldperfect, 2017.

AGÊNCIA DE NOTÍCIAS DO PARANÁ. **BRDE e agência francesa assinam contrato de 50 milhões de euros**. Disponível em: <<http://www.aen.pr.gov.br/modules/noticias/article.php?storyid=97420&tit=BRDE-e-agencia-francesa-assinam-contrato-de-50-milhoes-de-euros.html>>. Acesso em: 2 mar. 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Atlas de Esgotos: Despoluição de Bacias Hidrográficas**. Brasília: ANA, 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Resolução Normativa nº 247, de 21 de dezembro de 2006. Estabelece as condições para a comercialização de energia elétrica, oriunda de empreendimentos de geração que utilizem fontes primárias incentivadas, com unidade ou conjunto de unidades consumidoras c. **Diário Oficial da União**, Brasília, 26 dez., 2006.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Resolução Normativa nº 414, de 9 de setembro de 2010. Estabelece as Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica de forma atualizada e consolidada. **Diário Oficial da União**, Brasília, 15 set., 2010.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Banco de Informações de Geração - Matriz de Energia Elétrica**. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoCapacidadeBrasil.cfm>>. Acesso em: 25 mar. 2019a.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Registro de Central Geradora de Capacidade Reduzida - UTE Ambient**. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/scg/rcg/mostra_registro_producao.asp?id=30472>. Acesso em: 25 mar. 2019b.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). Resolução ANP n.º 685, de 29 de junho de 2017. Estabelece as regras para aprovação do controle da qualidade e a especificação do biometano oriundo de aterros sanitários e de estações de tratamento de esgoto destinado ao uso veicular e às instalações resid. **Diário Oficial da União**, Brasília, 30 jun., 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). **Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis - 2018**. Rio de Janeiro: ANP, 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). **Série histórica do levantamento de preços e de margens de comercialização de combustíveis**. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/precos-e-defesa-da-concorrenca/precos/levantamento-de-precos/serie-historica-do-levantamento-de-precos-e-de-margens-de-comercializacao-de-combustiveis>>. Acesso em: 2 maio. 2019.

AMBIENTE ENERGIA. **Veículos a biometano de Itaipu deram o equivalente a cinco voltas no planeta em 2018.** Disponível em: <<https://www.ambienteenergia.com.br/index.php/2019/02/veiculos-biometano-de-itaipu-deram-o-equivalente-cinco-voltas-planeta-em-2018/35633>>.

AMERICAN BIOGAS COUNCIL. **Biogas 101 Handout.** Disponível em: <[http://americanbiogascouncil.org/pdf/ABC Biogas 101 Handout NEW.pdf](http://americanbiogascouncil.org/pdf/ABC%20Biogas%20101%20Handout%20NEW.pdf)>. Acesso em: 15 abr. 2019.

AMERICAN COUNCIL FOR AN ENERGY-EFFICIENT ECONOMY (ACEEE); CANTWELL, J. **Develop a Micro-Grid Using Energy Produced at Your Wastewater Treatment Facility.** Disponível em: <https://aceee.org/files/proceedings/2016/data/papers/11_228.pdf>. Acesso em: 4 maio. 2019.

ANAEROBIC DIGESTION AND BIORESOURCES ASSOCIATION (ADBA). **AD Map.** Disponível em: <<http://adbioresources.org/map>>. Acesso em: 15 mar. 2019.

ARRAZ, L.; FERREIRA, G. **Ex-Embasa, Marcelo Veiga defende empréstimo para projeto no setor de esgoto.** Disponível em: <<https://www.bahianoticias.com.br/noticia/234663-ex-embasa-marcelo-veiga-defende-emprestimo-para-projeto-no-setor-de-esgoto.html>>. Acesso em: 12 abr. 2019.

ARUNDEL, J. **Sewage and industrial effluent treatment.** 2. ed. Bodmin: Blackwell Science, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL (ABES). **Ranking ABES da Universalização do Saneamento 2018.** Disponível em: <<http://abes-dn.org.br/?p=18536>>. Acesso em: 29 mar. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 12209:** Projeto de estações de tratamento de esgoto sanitário. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

AUTOMOTIVE BUSINESS. **Itaipu e CIBiogás testam uso de biometano em Audi A5 G-Tron.** Disponível em: <<http://www.automotivebusiness.com.br/noticia/28031/itaipu-e-cibiogas-testam-uso-de-biometano-em-audi-a5-g-tron>>. Acesso em: 1 abr. 2019.

AZWAR, M. Y.; HUSSAIN, M. A.; ABDUL-WAHAB, A. K. Development of biohydrogen production by photobiological, fermentation and electrochemical processes: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 31, p. 158–173, 2014.

BALGARANOVA, J. Plasma chemical gasification of sewage sludge. **Waste Management and Research**, v. 21, n. 1, p. 38–41, 2003.

BANCO CENTRAL DO BRASIL (BACEN). **Taxa Selic.** Disponível em: <<https://www.bcb.gov.br/controleinflacao/taxaselic>>. Acesso em: 18 abr. 2019a.

BANCO CENTRAL DO BRASIL (BACEN). **Cotações e boletins.** Disponível em: <<https://www.bcb.gov.br/acessoinformacao/legado?url=https:%2F%2Fwww4.bcb.gov.br%2Fpec%2Ftaxas%2Fport%2Fptaxnpesq.asp%3Fid%3Dtxcotacao>>. Acesso em:

22 abr. 2019b.

BARDIN, L. **Análise de Conteúdo**. São Paulo: Edições 70, 2011.

BASRAWI, M. F. BIN et al. Analysis of the performances of biogas-fuelled micro gas turbine cogeneration systems (MGT-CGSs) in middle- and small-scale sewage treatment plants: Comparison of performances and optimization of MGTs with various electrical power outputs. **Energy**, v. 38, n. 1, p. 291–304, 2012.

BASRAWI, F. et al. Techno-economic performance of biogas-fueled micro gas turbine cogeneration systems in sewage treatment plants: Effect of prime mover generation capacity. **Energy**, v. 124, p. 238–248, 2017.

BASSANI, I.; KOUGIAS, P. G.; ANGELIDAKI, I. In-situ biogas upgrading in thermophilic granular UASB reactor: key factors affecting the hydrogen mass transfer rate. **Bioresource Technology**, v. 221, p. 485–491, 2016.

BECA CONSULTANTS. **Opportunities for Renewable Energy in the Australian Water Sector**. Brisbane: BECA, 2015.

BHARATHIRAJA, B. et al. Biohydrogen and Biogas – An overview on feedstocks and enhancement process. **Fuel**, v. 185, p. 810–828, 2016.

BILOTTA, P.; ROSS, B. Z. L. Estimativa de geração de energia e emissão evitada de gás de efeito estufa na recuperação de biogás produzido em estação de tratamento de esgotos. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 21, n. 2, p. 275–282, 2016.

BOND, D. R.; LOVLEY, D. R. Electricity Production by *Geobacter sulfurreducens* Attached to Electrodes. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 69, n. 3, p. 1548–1555, 2003.

BOUSQUET, C. et al. Assessment of hydropower potential in wastewater systems and application to Switzerland. **Renewable Energy**, v. 113, p. 64–73, 2017.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. FUNDAÇÃO NACIONAL DA SAÚDE (FUNASA). **Manual de Saneamento**. 4. ed. Brasília: FUNASA, 2015.

BRASIL. MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Pacto pelo saneamento básico**: mais saúde, qualidade de vida e cidadania. Brasília: Ministério das Cidades, 2008.

BRASIL. MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Plano Nacional de Saneamento Básico - PLANSAB**. Brasília: Ministério das Cidades, 2013.

BRASIL. MINISTÉRIO DAS CIDADES et al. **Análise da viabilidade técnico-econômica de produção de energia elétrica em ETEs no Brasil a partir do biogás**. Brasília: Ministério das Cidades, 2016.

BRASIL. MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Panorama dos Planos Municipais de Saneamento Básico no Brasil**. Brasília: Ministério das Cidades, 2017a.

BRASIL. MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Viabilidade técnico-econômica de produção de energia elétrica em ETEs a partir do biogás / Probiogás**. 1. ed.

Brasília: Ministério das Cidades, 2017b.

BRASIL. MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Guia técnico sobre geração distribuída de energia elétrica por biogás em ETEs / Probiogás**. 1. ed. Brasília: Ministério das Cidades, 2017c.

BRASIL. MINISTÉRIO DAS CIDADES; DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT GMBH (GIZ); BECHER, U. **Biometano como combustível veicular / Probiogás**. Brasília: Ministério das Cidades, 2016.

BRASIL. MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS): diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos** – 2017. Brasília: SNS/MDR, 2019.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Caderno Setorial de Recursos Hídricos: Saneamento**. Brasília: MMA, 2006a.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Plano Nacional de Recursos Hídricos. Síntese Executiva**. Brasília: MMA, 2006b.

BRASIL. Constituição Federal de 1988. **Promulgada em**, n. 5 out., 1988.

BRASIL. Lei n. 9.478, de 6 de agosto de 1997. Dispõe sobre a política energética nacional, as atividades relativas ao monopólio do petróleo, institui o Conselho Nacional de Política Energética e a Agência Nacional do Petróleo e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 7 ago., 1997.

BRASIL. Lei nº 10.762, de 11 de novembro de 2003. Dispõe sobre a criação do Programa Emergencial e Excepcional de Apoio às Concessionárias de Serviços Públicos de Distribuição de Energia Elétrica, altera as Leis nos 8.631, de 4 de março de 1993, 9.427, de 26 de d. **Diário Oficial da União**, Brasília, 12 nov., 2003.

BRASIL. Decreto nº 5.163, de 30 de julho de 2004. Regulamenta a comercialização de energia elétrica, o processo de outorga de concessões e de autorizações de geração de energia elétrica, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 30 jul., 2004.

BRASIL. Lei n. 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. **Diário Oficial da União**, Brasília, 8 jan., 2007.

BRASIL. Lei n. 12.527, de 18 de novembro de 2011. Regula o acesso a informações previsto no inciso XXXIII do art. 5º, no inciso II do § 3º do art. 37 e no § 2º do art. 216 da Constituição Federal. **Diário Oficial da União**, Brasília, 18 nov., 2011.

BRASIL. Decreto n. 9.308, de 15 de março de 2018. Dispõe sobre a definição das metas compulsórias anuais de redução de emissões de gases causadores do efeito estufa para a comercialização de combustíveis de que trata a Lei nº 13.576, de 26 de dezembro de 2017. **Diário Oficial da União**, Brasília, 16 mar., 2018.

BREALEY, R. A.; MYERS, S. C.; MARCUS, A. J. **Fundamentals of Corporate Finance**. 3. ed. Boston: McGraw-Hill, 2001.

BUDZIANOWSKI, W. M. A review of potential innovations for production, conditioning and utilization of biogas with multiple-criteria assessment. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 54, p. 1148–1171, 2016.

BURSZTYN, M. A.; BURSZTYN, M. **Fundamentos de política e gestão ambiental: os caminhos do desenvolvimento sustentável**. Rio de Janeiro: Garamond, 2012.

CAMAÇARI NOTÍCIAS. **Banco alemão doa R\$ 17 milhões a projeto da Embasa pra Camaçari e Dias D'Ávila**. Disponível em: <<https://www.camacarinoticias.com.br/noticias/18/57654,banco-alemao-doa-r-17-milhoes-a-projeto-da-embasa-pra-camacari-e-dias-davila.html>>. Acesso em: 12 abr. 2019.

CAMPOS, H. M.; VON SPERLING, M. Estimation of domestic wastewater characteristics in a developing country based on socio-economic variables. **Water Science and Technology**, v. 34, n. 3-4-4- pt 2, p. 71–77, 1996.

CAPODAGLIO, A. G.; CALLEGARI, A. Feedstock and process influence on biodiesel produced from waste sewage sludge. **Journal of Environmental Management**, v. in press, p. 1–7, abr. 2017.

CAPPS, K. A.; BENTSEN, C. N.; RAMÍREZ, A. Poverty, urbanization, and environmental degradation: urban streams in the developing world. **Freshwater Science**, v. 35, n. 1, p. 429–435, 2016.

CARNEIRO, F. F. et al. Saúde ambiental e desigualdades: construindo indicadores para o desenvolvimento sustentável. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 17, n. 6, p. 1419–1425, 2012.

CARREÑO SAYAGO, F.; HERNÁNDEZ ESCOLAR, H. A.; MÉNDEZ SAYAGO, J. A. Confiabilidad y viabilidad para la reutilización de los efluentes de las PTAR que operan con lagunas de estabilización en cundinamarca. **Producción más Limpia**, v. 6, n. 1, p. 35–49, 2011.

CARRO.BLOG.BR. **Motor Audi com gás gerado no tratamento de esgoto é testado pela Sabesp**. Disponível em: <<https://carro.blog.br/motor-audi-com-gas-gerado-no-tratamento-de-esgoto-e-testado-pela-sabesp.html>>. Acesso em: 1 abr. 2019.

CASINI, M. Harvesting energy from in-pipe hydro systems at urban and building scale. **International Journal of Smart Grid and Clean Energy**, v. 4, n. 4, p. 316–327, 2015.

CENTRAL INTELLIGENCE AGENCY - CIA. **The World Factbook**. Disponível em: <<https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/rankorder/2004rank.html>>. Acesso em: 16 fev. 2018.

CERVO, A. L.; BERVIAN, P. A. **Metodologia Científica**. 5. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2002.

CHAE, K. J. et al. Reliable energy recovery in an existing municipal wastewater treatment plant with a flow-variable micro-hydropower system. **Energy Conversion and Management**, v. 101, p. 681–688, 2015.

CHEN, T. Y. et al. Application of a constructed wetland for industrial wastewater treatment: A pilot-scale study. **Chemosphere**, v. 64, n. 3, p. 497–502, 2006.

CHERNICHARO, C. A. DE L. **Biological Wastewater Treatment Series** (Volume 4: Anaerobic Reactors). London: IWA Publishing, 2007. v. 04

CHERNICHARO, C. A. DE L. et al. Anaerobic sewage treatment: state of the art, constraints and challenges. **Reviews in Environmental Science and Biotechnology**, v. 14, n. 4, p. 649–679, 2015.

CHERNICHARO, C. A. DE L. et al. Panorama do tratamento de esgoto sanitário nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste do Brasil: tecnologias mais empregadas. **Revista DAE**, v. 66, n. 213, p. 5–19, 2018.

CHOULOT, A.; DENIS, V.; PUNYS, P. Integration of Small Hydro Turbines into Existing Water Infrastructures. In: SAMADI-BOROUJENI, H. (Ed.). **Hydropower – Practice and Application**. [s.l.] InTech, 2012.

CIBIOGÁS. **CIBiogás: quem somos**. Disponível em: <https://www.cibiogas.org/quem_somos>. Acesso em: 14 abr. 2019.

CLEMENTE, A.; SOUZA, A. **Decisões financeiras e análise de investimentos: fundamentos, técnicas e aplicações**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS S.A. (CEMIG). **Cemig: valores de tarifas e serviços**. Disponível em: <https://www.cemig.com.br/pt-br/atendimento/Paginas/valores_de_tarifa_e_servicos.aspx>. Acesso em: 9 abr. 2019.

CONSELHO NACIONAL DE POLÍTICA ENERGÉTICA (CNPE). Resolução n.º 5, de 5 de junho de 2018. Estabelece as metas compulsórias anuais de redução de emissões de gases causadores do efeito estufa para a comercialização de combustíveis. **Diário Oficial da União**, Brasília, 6 jun., 2018.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. Resolução 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 e seus produtos derivados, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 30 ago., 2006.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. Resolução 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**, Brasília, 16 maio, 2011.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 18 mar., 2005.

COOPER, D. R.; SCHINDLER, P. S. **Business Research Methods**. 12. ed. New York:

McGraw-Hill/Irwin, 2014.

COPASA. **A Copasa: números e indicadores operacionais.** Disponível em: <<http://www.copasa.com.br/wps/portal/internet/a-copasa/numeros-e-indicadores>>. Acesso em: 2 mar. 2019.

CORBIN, J.; STRAUSS, A. **Basics of Qualitative Research: Techniques and Procedures for Developing Grounded Theory.** Thousand Oaks: Sage Publications, 2008.

CPFL EMPRESAS. **Tarifas Empresa - Azul e Verde.** Disponível em: <<https://www.cpfempresas.com.br/institucional/tarifas.aspx?emp=1>>. Acesso em: 25 mar. 2019.

CS BIOENERGIA. **CS Bioenergia: empresa.** Disponível em: <<http://www.csbioenergia.com.br/empresa.html>>. Acesso em: 10 abr. 2019.

DA SILVA, B. L. A. et al. Case study: Hydroelectric generation employing the water distribution network in Pato Branco, Brazil. Proceedings of the IASTED International Conference on Power and Energy Systems, EuroPES 2011. **Anais...2011**

DAMODARAN, A. **Applied Corporate Finance.** 4. ed. Danvers: Wiley, 2015.

DANGELICO, R. M.; VOCALELLI, D. “Green Marketing”: An analysis of definitions, strategy steps, and tools through a systematic review of the literature. **Journal of Cleaner Production**, v. 165, p. 1263–1279, 2017.

DEMIRBAS, A.; FATIH DEMIRBAS, M. Importance of algae oil as a source of biodiesel. **Energy Conversion and Management**, v. 52, n. 1, p. 163–170, 2011.

DRINAN, J. E.; SPELLMAN, F. R. **Water and Wastewater Treatment: A Guide for the Nonengineering Professional.** 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2013.

DUTRA, J. et al. **Efetividade dos investimentos em saneamento no Brasil: da disponibilidade dos recursos financeiros à implantação dos sistemas de abastecimento de água e esgoto sanitário.** São Paulo: FGV - Centro de Estudos em Regulação e Infraestrutura, 2016.

ELANGO, D. et al. Production of biogas from municipal solid waste with domestic sewage. **Journal of Hazardous Materials**, v. 141, n. 1, p. 301–304, 2007.

ELKINGTON, J. **Cannibals with Forks: the Triple Bottom Line of 21st Century Business.** Oxford: Capstone, 1997.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Balanço Energético Nacional 2018: ano base 2017.** Rio de Janeiro: EPE, 2018.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Anuário estatístico de energia elétrica 2017 (ano base 2016).** Brasília: EPE, 2017.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). **Wastewater Management Fact Sheet: Energy Conservation.** Washington DC: EPA Office of Water, 2006.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). **Opportunities for combined heat and power at wastewater treatment facilities**: market analysis and lessons from the field. Washington DC: EPA Office of Water, 2011.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). **Summary Report**: Global Anthropogenic Non-CO2 Greenhouse Gas Emissions: 1990 - 2030. Washington DC: EPA, 2012.

ESTADÃO CONTEÚDO. **Governo admite não ser possível atingir metas de saneamento até 2033**. Disponível em: <<https://epocanegocios.globo.com/Brasil/noticia/2017/03/governo-admite-nao-ser-possivel-atingir-metas-de-saneamento-ate-2033.html>>. Acesso em: 22 fev. 2018.

ESTRADÃO. **Euro 6 tem data para entrar em vigor**. Disponível em: <<https://estradao.estadao.com.br/servicos/euro-6-tem-data-para-entrar-em-vigor/>>. Acesso em: 3 abr. 2019.

EUROPEAN BIOGAS ASSOCIATION (EBA). **European Biogas Association Statistical Report 2017**. Bruxelas: EBA, 2017.

EUROSTAT. **Primary production - Sewage Sludge Gas - 2016**. Disponível em: <<https://ec.europa.eu/eurostat>>. Acesso em: 4 abr. 2019.

EX ANTE; INSTITUTO TRATA BRASIL; CONSELHO EMPRESARIAL BRASILEIRO PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (CEBDS). **Benefícios econômicos da expansão do saneamento**: qualidade de vida, produtividade e educação e valorização ambiental. Disponível em: <<http://www.tratabrasil.org.br/beneficios-economicos-da-expansao-do-saneamento-brasileiro>>. Acesso em: 8 fev. 2018.

FLICK, U. **An introduction to qualitative research**. 4. ed. London: Sage Publications, 2009.

FOUNDATION FOR APPLIED WATER RESEARCH (STOWA). **NEWS: The Dutch roadmap for the WWTP of 2030**. Amersfoort: STOWA, 2010.

FRANCA, R. D. G. et al. Stability of aerobic granules during long-term bioreactor operation. **Biotechnology Advances**, v. 36, n. 1, p. 228–246, jan. 2018.

FREEMAN, M. C. et al. The impact of sanitation on infectious disease and nutritional status: A systematic review and meta-analysis. **International Journal of Hygiene and Environmental Health**, v. 220, n. 6, p. 928–949, 2017.

G1 BAURU E MARÍLIA. **MPF de Bauru investiga atraso em obras de estação de tratamento de esgoto na região**. Disponível em: <<https://g1.globo.com/sp/bauru-marilia/noticia/2018/08/20/mpf-de-bauru-investiga-atraso-em-obras-de-estacao-de-tratamento-de-esgoto-na-regiao.ghtml>>. Acesso em: 15 abr. 2019.

G1 BAURU E MARÍLIA. **Engenheiros da USP vão ajudar na conclusão de obras do tratamento de esgoto de Bauru**. Disponível em: <<https://g1.globo.com/sp/bauru-marilia/noticia/2019/03/12/engenheiros-da-usp-vaio-ajudar-na-conclusao-de-obras-do-tratamento-de-esgoto-de-bauru.ghtml>>. Acesso em: 20 mar. 2019.

GALLI, C. S.; ABE, D. S. Availability, Pollution and Eutrophication of Waters. In: BICUDO, C. E. DE M.; TUNDISI, J. G.; SCHEUENSTUHL, M. C. B. (Eds.). **Waters of Brazil: Strategic Analysis**. Cham: Springer, 2017. p. 137–148.

GARUTI, G.; DOHANYOS, M.; TILCHE, A. Anaerobic-aerobic combined process for the treatment of sewage with nutrient removal: The Ananox process. **Water Science and Technology**, v. 25, n. 7, p. 383–394, 1992.

GERMAN ENERGY AGENCY GMBH. **The role of natural gas and biomethane in the fuel mix of the future in Germany**. [s.l.] Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), 2010.

GHIMIRE, A. et al. A review on dark fermentative biohydrogen production from organic biomass: Process parameters and use of by-products. **Applied Energy**, v. 144, p. 73–95, 2015.

GIL, A. et al. Effect of microwave pretreatment on semi-continuous anaerobic digestion of sewage sludge. **Renewable Energy**, v. 115, p. 917–925, 2018.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GITMAN, L. J.; ZUTTER, C. J. **Principles of managerial finance, brief**. Upper Saddle River: Pearson, 2015.

GLOBAL DESTINATION SUSTAINABILITY INDEX (GDS). **Aarhus 2018 focuses on waste management at sea**. Disponível em: <<https://www.gds-index.com/blog/view/aarhus-2018-focuses-on-waste-management-at-sea/3360>>. Acesso em: 15 abr. 2019.

GLOBAL DESTINATION SUSTAINABILITY INDEX (GDS). **Aarhus, Denmark (2018). Environmental Performance**. Disponível em: <<https://www.gds-index.com/destinations/explore/download/25/2018>>. Acesso em: 15 abr. 2019.

GLOBAL WATER RESEARCH COALITION. **Global Water Research Coalition: about us**. Disponível em: <<http://www.globalwaterresearchcoalition.net/about-us/>>. Acesso em: 20 jan. 2019.

GOMES, S. D. et al. The application of an innovative continuous multiple tube reactor as a strategy to control the specific organic loading rate for biohydrogen production by dark fermentation. **Bioresource Technology**, v. 197, p. 201–207, dez. 2015.

GONTIJO, J. **Grand Siena passará a sair de fábrica movido a gás natural veicular**. Disponível em: <<https://www.otempo.com.br/economia/grand-siena-passará-a-sair-de-fábrica-movido-a-gás-natural-veicular-1.2164920>>. Acesso em: 9 abr. 2019.

GOOGLE. **Google Earth**. Disponível em: <<https://www.google.com.br/intl/pt-BR/earth/>>. Acesso em: 1 abr. 2019.

GOVERNO DO ESTADO DO PARANÁ. **Aneel avalia venda de energia limpa produzida pela Sanepar para a Copel**. Disponível em: <<https://gov-pr.jusbrasil.com.br/noticias/124148/aneel-avalia-venda-de-energia-limpa-produzida-pela-sanepar-para-a-copel>>. Acesso em: 3 abr. 2019.

GREBITUS, C.; STEINER, B.; VEEMAN, M. M. Paying for sustainability: A cross-cultural analysis of consumers' valuations of food and non-food products labeled for carbon and water footprints. **Journal of Behavioral and Experimental Economics**, v. 63, p. 50–58, 2016.

GRZEBYK, M.; POŻNIAK, G. Microbial fuel cells (MFCs) with interpolymers cation exchange membranes. **Separation and Purification Technology**, v. 41, n. 3, p. 321–328, 2005.

GS INIMA. **GS Inima Environment - Nuestra empresa**. Disponível em: <http://www.inima.es/es/nuestra_empresa>. Acesso em: 25 mar. 2019a.

GS INIMA. **GS Inima Brasil - O Grupo**. Disponível em: <http://www.gsinimabrasil.com.br/pt-br/pagina/The_Group/>. Acesso em: 25 mar. 2019b.

GS INIMA. **GS Inima Brasil - International Presence**. Disponível em: <<http://www.gsinimabrasil.com.br/en/pagina/presenca-internacional/>>. Acesso em: 25 mar. 2019c.

GS INIMA. **Nuestra Empresa - Presencia internacional**. Disponível em: <http://www.inima.es/es/presencia_internacional>. Acesso em: 25 mar. 2019d.

GS INIMA. **GS Inima Brasil - Grupo GS**. Disponível em: <<http://www.gsinimabrasil.com.br/pt-br/pagina/gs-inima-brasil/>>. Acesso em: 25 mar. 2019e.

GU, Y. et al. The feasibility and challenges of energy self-sufficient wastewater treatment plants. **Applied Energy**, v. 204, p. 1463–1475, out. 2017.

GUTIERREZ, J. P. **Situación actual y escenarios para el desarrollo del biogás en México hacia 2024 y 2030**. Morelia: Red Mexicana de Bioenergía A.C., 2018.

HARRYSSON, J. **Svag ökning i biogasproduktionen i Sverige under 2017**. Disponível em: <<http://www.energimyndigheten.se/nyhetsarkiv/2018/svag-okning-i-biogasproduktionen-i-sverige-under-2017/>>. Acesso em: 1 abr. 2019.

HAWKEN, P.; LOVINS, A. B.; LOVINS, L. H. **Natural Capitalism: The next Industrial Revolution**. New York: Earthscan, 1999.

HE, J. et al. Ultrasonic reduction of excess sludge from activated sludge system: Energy efficiency improvement via operation optimization. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 18, n. 1, p. 99–103, 2011.

HELLER, L.; REZENDE, S. C.; HELLER, P. G. B. Saneamento básico: os desafios da universalização do saneamento básico no Brasil. In: BARBOSA, F. (Ed.). **Ângulos da Água: desafios da integração**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2008. p. 65–94.

HERNÁNDEZ, A. B.; OKONTA, F.; FREEMAN, N. Sewage sludge charcoal production by N₂- and CO₂-torrefaction. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 5, n. 5, p. 4406–4414, 2017.

HOEKSTRA, A. Y.; MEKONNEN, M. M. The water footprint of humanity. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 109, n. 9, p. 3232–3237, 2012.

HOLMES, D. E. et al. Potential role of a novel psychrotolerant member of the family Geobacteraceae, *Geopsychrobacter electrodiphilus* gen. nov., sp. nov., in electricity production by a marine sediment fuel cell. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 70, n. 10, p. 6023–6030, 2004.

IEA BIOENERGY. **IEA Bioenergy Task 37. Country Report. Summaries 2017**. Paris: IEA Bioenergy, 2017.

INC. METCALF & EDDY et al. **Wastewater Engineering: treatment and resource recovery**. 5. ed. New York: McGraw-Hill Education, 2014.

INGRAM, L. **India commissions hydro turbine in sewerage plant's effluent pipe**. Disponível em: <<http://www.hydroworld.com/articles/2015/08/india-commissions-hydro-turbine-in-sewerage-plant-s-effluent-pipe.html>>. Acesso em: 20 fev. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE ECONOMIA (IBRE-FGV). **IGP**. Disponível em: <<https://portalibre.fgv.br/estudos-e-pesquisas/indices-de-precos/igp/>>. Acesso em: 22 abr. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Estimativa da população residente nos municípios brasileiros com data de 01/07/2018, enviada ao Tribunal de Contas da União**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html?=&t=downloads>>. Acesso em: 8 mar. 2019.

INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACIÓN Y AHORRO DE LA ENERGIA (IDAE). **Situación y potencial de generación de biogás**. Madrid: IDAE, 2011.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Ranking do Saneamento 2018**. Disponível em: <<http://www.tratabrasil.org.br/estudos/estudos-itb/itb/ranking-do-saneamento-2018>>. Acesso em: 29 mar. 2019.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **World Energy Outlook 2018**. Paris: IEA Publications, 2018.

ISUNJU, J. B. et al. Socio-economic aspects of improved sanitation in slums: A review. **Public Health**, v. 125, n. 6, p. 368–376, 2011.

ITAIPU BINACIONAL. **Gestão Transparente**. Disponível em: <<https://www.itaipu.gov.br/institucional/gestao-transparente>>. Acesso em: 14 abr. 2019.

JENSSEN, P. D. et al. Filter bed systems treating domestic wastewater in the Nordic countries - Performance and reuse of filter media. **Ecological Engineering**, v. 36, n. 12, p. 1651–1659, 2010.

KAIJUN, W.; ZEEMAN, G.; LETTINGA, G. Alteration in sewage characteristics upon aging. **Water Science and Technology**, v. 31, n. 7, p. 191–200, 1995.

KARÁTH, K. **World's first city to power its water needs with sewage energy**. Disponível em: <<https://www.newscientist.com/article/2114761-worlds-first-city-to-power-its-water-needs-with-sewage-energy/>>. Acesso em: 5 mar. 2018.

KAYRANLI, B. et al. Performance Evaluation of Integrated Constructed Wetlands Treating Domestic Wastewater. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 210, n. 1–4, p. 435–451, 14 jul. 2010.

KIM, S. J. et al. A Study on Service Architecture for Secure Authentication System. **International Journal of Security and Its Applications**, v. 9, n. 9, p. 9–20, 2015.

LEES, K. et al. Pharmaceuticals in soils of lower income countries: Physico-chemical fate and risks from wastewater irrigation. **Environment International**, v. 94, p. 712–723, 2016.

LEGATUM INSTITUTE. **The Legatum Prosperity Index**. 11. ed. London: Legatum Institute, 2017.

LEITAO, R. et al. The effects of operational and environmental variations on anaerobic wastewater treatment systems: A review. **Bioresource Technology**, v. 97, n. 9, p. 1105–1118, jun. 2006.

LEONETI, A. B. **Avaliação de modelo de tomada de decisão para escolha de sistema de tratamento de esgoto sanitário**. 2009. 154f. Dissertação (Mestrado em Administração de Organizações). Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2009.

LEONETI, A. B.; OLIVEIRA, S. V. W. B. DE; PIRES, E. C. Método baseado em indicadores de sustentabilidade para escolha de estações de tratamento de esgoto. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, v. 30, p. 56–67, 2013.

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 Pública**, v. 45, n. 2, p. 331–348, 2011.

LI, Y. et al. Global trends and performances of publication on sewage sludge from 1991 to 2012. **Procedia Environmental Sciences**, v. 31, p. 65–74, 2016.

LIMA, A. L. **Mogi Mirim será primeira cidade do Brasil a implantar energia solar no tratamento de esgoto urbano**. Disponível em: <<https://g1.globo.com/sp/campinas-regiao/noticia/2019/01/26/mogi-mirim-sera-primeira-cidade-do-brasil-a-implantar-energia-solar-no-tratamento-de-esgoto-urbano.ghtml>>. Acesso em: 30 jan. 2019.

LIMA GOMES, P. C. F. et al. Rapid determination of 12 antibiotics and caffeine in sewage and bioreactor effluent by online column-switching liquid chromatography/tandem mass spectrometry. **Analytical and Bioanalytical Chemistry**, v. 407, n. 29, p. 8787–8801, 2015.

LIU, Y. et al. Methane emission from sewers. **Science of the Total Environment**, v. 524–525, p. 40–51, 2015.

LIZAMA, A. C. et al. Effects of ultrasonic pretreatment on the solubilization and kinetic study of biogas production from anaerobic digestion of waste activated sludge. **International Biodeterioration and Biodegradation**, v. 123, p. 1–9, 2017.

LOVINS, A. B.; LOVINS, L. H.; HAWKEN, P. A Road Map for Natural Capitalism. **Harvard Business Review**, n. maio./jun., p. 145–158, 1999.

LU, S.; PEI, L.; BAI, X. Study on method of domestic wastewater treatment through new-type multi-layer artificial wetland. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 40, n. 34, p. 11207–11214, 2015.

LUMLEY, N. P. G. et al. Techno-economic analysis of wastewater sludge gasification: A decentralized urban perspective. **Bioresource Technology**, v. 161, p. 385–394, 2014.

MALHOTRA, N. K. **Marketing Research: an applied orientation**. 6. ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2010.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica**. 5. ed. São Paulo: Editora Atlas, 2003.

MARTINS, A. **Gás poderia ser usado como alternativa ao diesel, aponta Levy**. Disponível em: <<https://www.valor.com.br/brasil/6212637/gas-poderia-ser-usado-como-alternativa-ao-diesel-aponta-levy>>. Acesso em: 17 abr. 2019.

MCCARTY, P. L.; BAE, J.; KIM, J. Domestic wastewater treatment as a net energy producer-can this be achieved? **Environmental Science and Technology**, v. 45, n. 17, p. 7100–7106, 2011.

MIDIANEWS. **MT é o único a ter 100 % dos municípios com plano de saneamento**. Disponível em: <<http://www.midianews.com.br/cotidiano/mt-e-o-unico-a-ter-100-dos-municipios-com-plano-de-saneamento/321235>>. Acesso em: 15 maio. 2018.

MIKI, R. E. Biometano produzido a partir de biogás de ETEs e seu uso como combustível veicular. **Revista DAE**, v. 66, n. 209, p. 6–16, 2018.

MILEWSKI, J. et al. **Advanced Methods of Solid Oxide Fuel Cell Modeling**. London: Springer, 2011.

MINAS GERAIS. Lei n.º 23.174, de 21 de dezembro de 2018. Altera as Leis n.ºs 4.747, de 9 de maio de 1968, 5.960, de 1º de agosto de 1972, 6.763, de 26 de dezembro de 1975, 14.937, de 23 de dezembro de 2003, 15.424, de 30 de dezembro de 2004, e 21.527, de 16 de dezembro. **Diário Oficial do Estado**, Belo Horizonte, 22 dez., 2019.

MINISTÉRIO PÚBLICO DO DISTRITO FEDERAL E TERRITÓRIOS (MPDFT). **MPDFT recomenda que Ibram e Caesb tomem medidas para reduzir emissão de gases de efeito estufa em estação de tratamento de esgoto**. Disponível em: <<http://www.mpdft.mp.br/portal/index.php/conhecampdft-menu/promotorias-justica-menu/prodema-menu/9782-mpdft-recomenda-que-ibram-e-caesb-tomem-medidas>>.

para-reduzir-emissao-de-gases-de-efeito-estufa-em-estacao-de-tratamento-de-esgoto>. Acesso em: 15 fev. 2019.

MINISTRY OF WATER & IRRIGATION. **Jordan Water Sector Facts and Figures 2013**. Amman: Ministry of Water & Irrigation, 2015.

MIS, M. **From waste to energy**: Danish plant flexes the power of wastewater. Disponível em: <<https://in.reuters.com/article/us-denmark-wastewater-power/from-waste-to-energy-danish-plant-flexes-the-power-of-wastewater-idUSKBN1782BN>>. Acesso em: 3 fev. 2019.

MOREIRA, H. C. **Biogás em estações de tratamento de esgotos**: os principais legados da cooperação técnica Brasil-Alemanha. 2017. 174 fls. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia Urbana e Ambiental). Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

MURRAY, B. C.; GALIK, C. S.; VEGH, T. **Biogas in the United States**: an assessment of market potential in a carbon-constrained future. Durham: Duke University, 2014.

NAIDOO, M.; GASPARATOS, A. Corporate environmental sustainability in the retail sector: Drivers, strategies and performance measurement. **Journal of Cleaner Production**, v. 203, p. 125–142, 2018.

NASCIMENTO, L.; AGOSTINHO, L. C. L.; CAVALCANTI, F. B. Estudo da mitigação da eutrofização do Açude Velho pela eletrólise. **Eclética Química**, v. 39, p. 107–119, 2014.

NATIONAL ASSOCIATION OF CLEAN WATER AGENCIES (NACWA). **Renewable energy resources: banking on biosolids**. Washington DC: NACWA, 2010.

NAVARRO, T. **ETE é 2.^a obra atrasada mais cara de SP**. Disponível em: <<https://www.jcnet.com.br/Politica/2019/04/ete-e-2a-obra-atrasada-mais-cara-de-sp.html>>. Acesso em: 15 abr. 2019.

NEW YORK STATE ENERGY RESEARCH & DEVELOPMENT AUTHORITY (NYSERDA). **Water & Wastewater Energy Management, Best Practices Handbook**. New York: NYSERDA, 2010.

NIELSEN, M. et al. Small temperature differences can improve the performance of mesophilic sludge-based digesters. **Biotechnology Letters**, v. 39, n. 11, p. 1689–1698, 2017.

NOVO, A. et al. Antibiotic resistance, Antimicrobial residues and bacterial community composition in urban wastewater. **Water Research**, v. 47, n. 5, p. 1875–1887, 2013.

OLIVEIRA, D. DE. **Testamos o Audi A5 g-tron que tem GNV de fábrica**. Disponível em: <<https://revistaautoesporte.globo.com/testes/noticia/2018/08/testamos-o-audi-a5-g-tron-que-tem-gnv-de-fabrica.html>>. Acesso em: 1 abr. 2019.

OLIVEIRA, S. V. W. B. DE. **Modelo para tomada de decisão na escolha de sistema de tratamento de esgoto sanitário**. 2004. 293 f. Tese (Doutorado em Administração). Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade,

Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

OLKIEWICZ, M. et al. Biodiesel production from sewage sludge lipids catalysed by Brønsted acidic ionic liquids. **Applied Catalysis B: Environmental**, v. 181, p. 738–746, 2016.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OECD). **OECD Environmental Outlook to 2030**. Paris: OECD, 2008.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OECD). **OECD Factbook 2015-2016: Economic, Environmental and Social Statistics**. Paris: OECD Publishing, 2016.

ORTEGA, S. C. The largest waste water treatment plant in the world: a mexican case study. **BioGas Directory**, v. 4, p. 40–43, 2017.

PANEPINTO, D. et al. Evaluation of the energy efficiency of a large wastewater treatment plant in Italy. **Applied Energy**, v. 161, p. 404–411, 2016.

PANICKER, P. K.; MAGID, A. Microwave plasma gasification for enhanced oil recovery and sustainable waste management. Proceedings of the ASME 2016 10th International Conference on Energy Sustainability. **Anais...**Charlotte: 2016

PARANÁ. Lei n.º 19.500, de 21 de maio de 2018. Dispõe sobre a Política Estadual do Biogás e Biometano e adota outras providências. **Diário Oficial do Estado**, Curitiba, 22 maio, 2018.

PATEL, S. **Australia Gets Hydropower from Wastewater**. Disponível em: <<http://www.powermag.com/australia-gets-hydropower-from-wastewater/>>. Acesso em: 20 fev. 2018.

PEDROZA, M. M. et al. Bio-Oil and Biogas From the Pyrolysis of Sewage Sludge, and Non-Isothermal Degradation on Usy Zeolite. **Brazilian Journal of Petroleum and Gas**, v. 11, n. 3, p. 149–163, 2017.

PEIXOTO, G. et al. Hydrogen and Methane Production, Energy Recovery, and Organic Matter Removal from Effluents in a Two-Stage Fermentative Process. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, v. 168, n. 3, p. 651–671, 27 out. 2012.

PEREIRA, C. D. S. et al. Occurrence of pharmaceuticals and cocaine in a Brazilian coastal zone. **Science of the Total Environment**, v. 548–549, p. 148–154, 2016.

PEREIRA, R. **Indústria perde competitividade com aumento da tarifa de energia**. Disponível em: <<http://economia.estadao.com.br/noticias/geral,industria-perde-competitividade-com-aumento-da-tarifa-de-energia,70002105633>>. Acesso em: 21 fev. 2018.

PESCOD, M. B. **Wastewater treatment and use in agriculture - FAO irrigation and drainage**. Newcastle-upon-Tyne: Food and Agriculture Organization of The United Nations, 1992. v. 47

PFEIFFER, D.; THRÄN, D. One century of bioenergy in Germany: wildcard and

advanced technology. **Chemie Ingenieur Technik**, v. 90, n. 11, p. 1676–1698, 2018.

PIIPPO, S.; LAURONEN, M.; POSTILA, H. Greenhouse gas emissions from different sewage sludge treatment methods in north. **Journal of Cleaner Production**, v. 177, p. 483–492, mar. 2018.

PINESENT MASONS. **Pinsent Masons Water Yearbook 2010-2011**. London: Pinsent Masons LLP, 2010.

PINHEIRO, F. A. P.; SAVOIA, J. R. F.; ANGELO, C. F. DE. A comparative analysis of the public and private water supply and sanitation service providers' work in Brazil. **Brazilian Business Review**, v. 55, n. 11, p. 115–136, 2016.

PLURAL. **Anuário 2018 Somos Plural**. Disponível em: <<https://anuario2018.somosplural.com.br/pdf/anuario-PDF.pdf>>. Acesso em: 4 abr. 2019.

PONTELLI, R. C. N.; NUNES, A. A.; OLIVEIRA, S. V. W. B. DE. Impacto na saúde humana de disruptores endócrinos presentes em corpos hídricos: existe associação com a obesidade? **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 21, n. 3, p. 753–766, 2016.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO (PNUD). **Alemanha, Espanha, Comissão Europeia e PNUD anunciam, na COP23, investimentos de mais de 37 milhões de euros para reduzir emissões de gases de efeito estufa**. Disponível em: <<http://www.br.undp.org/content/brazil/pt/home/presscenter/articles/2017/11/20/alem-anha-espanha-comiss-o-europeia-e-pnud-anunciam-na-cop23-investimentos-de-mais-de-37-milh-es-de-euros-para-reduzir-emiss-es-de-gases-de-efeito-estufa.html>>. Acesso em: 2 mar. 2018.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO (PNUD); BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. **Estudo sobre o potencial de geração de energia a partir de resíduos de saneamento (lixo, esgoto), visando incrementar o uso de biogás como fonte alternativa de energia renovável**. São Paulo: PNUD, 2010.

PRONK, M. et al. Aerobic granular biomass technology: Advancements in design, applications and further developments. **Water Practice and Technology**, v. 12, n. 4, p. 987–996, 2017.

PRÜSS-USTÜN, A. et al. Burden of disease from inadequate water, sanitation and hygiene in low- and middle-income settings: A retrospective analysis of data from 145 countries. **Tropical Medicine and International Health**, v. 19, n. 8, p. 894–905, 2014.

RAIMUNDO, D. R. et al. Estudo das emissões evitadas de GEE e da viabilidade econômica da produção energética do biogás gerado no tratamento de efluentes, aplicados à cidade de Pouso Alegre-MG. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 6, n. 5, p. 995–1016, 2017.

RAMOS, A. et al. Co-gasification and recent developments on waste-to-energy conversion: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 81, n. June 2016, p. 380–398, 2018.

RAMOS, D. **Movido a cocô**: Curitiba vai testar ônibus que usa material orgânico como combustível. Disponível em: <<https://www.gazetadopovo.com.br/curitiba/movido-a-coco-curitiba-vai-testar-onibus-que-usa-material-organico-como-combustivel-39i6qknvh4kp8qarfw6tg4edp/>>. Acesso em: 15 mar. 2019.

RASI, S.; VEIJANEN, A.; RINTALA, J. Trace compounds of biogas from different biogas production plants. **Energy**, v. 32, n. 8, p. 1375–1380, 2007.

REDE ABERJE. **Sabesp e Scania demonstram gás gerado do esgoto para abastecer ônibus em Franca**. Disponível em: <<http://aberje.com.br/sabesp-e-scania-demonstram-gas-gerado-do-esgoto-para-abastecer-onibus-em-franca/>>. Acesso em: 1 abr. 2019.

REDE SOCIAL BRASILEIRA POR CIDADES JUSTAS E SUSTENTÁVEIS. **Área verde por habitante - São Paulo, SP**. Disponível em: <<https://www.redesocialdecidades.org.br/br/SP/sao-paulo/area-verde-por-habitante>>. Acesso em: 15 abr. 2019.

RIBEIRÃO PRETO. Decreto n.º 132, de 3 de maio de 2018. Homologa a Resolução n.º 009, de 3 de maio de 2018, do Departamento de Água e Esgotos de Ribeirão Preto - DAERP. **Diário Oficial do Município**, Ribeirão Preto, 3 maio, 2018.

RIO DE JANEIRO (ESTADO). Lei n.º 6.361, de 18 de dezembro de 2012. Dispõe sobre a Política Estadual de Gás Natural Renovável - GNR. **Diário Oficial do Estado**, Rio de Janeiro, 19 dez., 2012.

ROCHA, R. **Espanhola GS Inima investe em dessalinização no Brasil**. Disponível em: <<https://www.valor.com.br/imprimir/noticia/5161220/empresas/5161220/espanhola-gs-inima-investe-em-dessalinizacao-no-brasil>>. Acesso em: 25 mar. 2019.

ROSSETTI, J. P. et al. **Finanças Corporativas**: Teoria e Prática Empresarial no Brasil. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008.

RUFFINO, B. et al. Improvement of anaerobic digestion of sewage sludge in a wastewater treatment plant by means of mechanical and thermal pre-treatments: Performance, energy and economical assessment. **Bioresource Technology**, v. 175, p. 298–308, 2015.

RULKENS, W. Sewage sludge as a biomass resource for the production of energy: Overview and assessment of the various options. **Energy and Fuels**, v. 22, n. 1, p. 9–15, 2008.

SABESP. **Sabesp**: perfil. Disponível em: <<http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaold=505>>. Acesso em: 1 abr. 2019a.

SABESP. **Relação com investidores**: distribuição do capital social. Disponível em: <<http://www.sabesp.com.br/CalandraWeb/CalandraRedirect/?temp=4&proj=investidoresnovo&pub=T&db=&docid=1C3C5C495E396CD0832570DF006A4017&docidPai=1698C08F24239E5A8325768C00517EF8&pai=filho4&filho=neto-1>>. Acesso em: 1 abr. 2019b.

SABESP. **Sabesp:** números. Disponível em: <<http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaold=5>>. Acesso em: 1 abr. 2019c.

SALOMON, K. R.; LORA, E. E. S. Estimativa do Potencial de Geração de Energia Elétrica para Diferentes Fontes de Biogás no Brasil - Energetic Potential Estimate for Electric Energy Generation of Different Sources of Biogas in Brazil. **Biomassa & Bioenergia**, v. 2, n. 1, p. 57–67, 2005.

SAMPIERI, R. H.; COLLADO, C. F.; LUCIO, M. DEL P. B. **Metodología de la investigación**. 6. ed. Cidade do México: McGraw-Hill, 2014.

SANTOS, I. F. S. DOS; BARROS, R. M.; TIAGO FILHO, G. L. Electricity generation from biogas of anaerobic wastewater treatment plants in Brazil: An assessment of feasibility and potential. **Journal of Cleaner Production**, v. 126, p. 504–514, 2016.

SANTOS, M. R. M. O princípio poluidor-pagador e a gestão de recursos hídricos: a experiência europeia e brasileira. In: MAY, P. H. (Ed.). **Economia do meio ambiente: teoria e prática**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010. p. 333–352.

SÃO PAULO (ESTADO). Decreto n.º 59.038, de 3 de abril de 2013. Institui o Programa Paulista de Biocombustíveis e dá providências correlatas. **Diário Oficial do Estado**, São Paulo, 3 abr., 2013.

SCOTT, N. **Reduce, reuse, recycle: an easy household guide**. Cambridge: Green Books Guides, 2007.

SEDLAK, D. **Water 4.0: The Past, Present, and Future of The World's Most Vital Resource**. New Haven: Yale University Press, 2014.

SEGURA, P. A. et al. Global occurrence of anti-infectives in contaminated surface waters: Impact of income inequality between countries. **Environment International**, v. 80, p. 89–97, 2015.

SEINÄJOEN VESI. **Water consumption**. Disponível em: <http://www.seinajoenvesi.fi/Water_consumption>. Acesso em: 25 fev. 2018.

SERVIÇO MUNICIPAL AUTÔNOMO DE ÁGUA E ESGOTO DE SÃO JOSÉ DO RIO PRETO (SEMAE). **Ampliação da ETE de Rio Preto aumenta capacidade de tratamento do esgoto para população de 600 mil pessoas**. Disponível em: <<https://g1.globo.com/sp/sao-jose-do-rio-preto-aracatuba/especial-publicitario/semae/semae-tratando-o-futuro-dia-a-dia/noticia/2018/09/13/ampliacao-da-ete-de-rio-preto-aumenta-capacidade-de-tratamento-do-esgoto-para-populacao-de-600-mil-pessoas.ghtml>>. Acesso em: 13 abr. 2019.

SHABAN, A.; SHARMA, R. N. Water Consumption Patterns in Domestic Households in Major Cities. **Economic and Political Weekly**, v. 42, n. 23, p. 2190–2197, 2007.

SHEHU, M. S.; ABDUL MANAN, Z.; WAN ALWI, S. R. Optimization of thermo-alkaline disintegration of sewage sludge for enhanced biogas yield. **Bioresource Technology**, v. 114, p. 69–74, 2012.

SHEN, Y. et al. Producing pipeline-quality biomethane via anaerobic digestion of sludge amended with corn stover biochar with in-situ CO₂ removal. **Applied Energy**, v. 158, p. 300–309, 2015.

SILVA, E. **Trator movido a biometano deve chegar ao mercado em três anos**. Disponível em: <<https://revistagloborural.globo.com/Noticias/Feiras/noticia/2018/04/trator-movido-biometano-deve-chegar-ao-mercado-em-tres-anos.html>>. Acesso em: 3 abr. 2019.

SMART, S. B.; GITMAN, L. J.; JOEHNK, M. D. **Fundamentals of Investing**. 13. ed. Harlow: Pearson, 2017.

SOERENSEN, B.; MARULLI, K. B. B. **Manual de Saúde Pública**. Marília: UNIMAR, 1999.

STATE OF GREEN. **Marselisborg, Denmark – from wastewater plant to power plant**. Disponível em: <<https://stateofgreen.com/en/profiles/aarhus-water-ltd/solutions/marselisborg-wwtp-energy-neutral-water-management>>. Acesso em: 5 mar. 2018.

STATISTISK SENTRALBYRÅ. **Municipal water supply**. Disponível em: <https://www.ssb.no/en/natur-og-miljo/statistikker/vann_kostra/aar>. Acesso em: 25 fev. 2018.

SUBEDI, B. et al. Mass loading and removal of pharmaceuticals and personal care products including psychoactives, antihypertensives, and antibiotics in two sewage treatment plants in southern India. **Chemosphere**, v. 167, p. 429–437, 2017.

SUNG, T.; KIM, S.; KIM, K. C. Thermoeconomic analysis of a biogas-fueled micro-gas turbine with a bottoming organic Rankine cycle for a sewage sludge and food waste treatment plant in the Republic of Korea. **Applied Thermal Engineering**, v. 127, p. 963–974, 2017.

SUSTAIN EUROPE. **Aarhus: Sustainability in the City of Smiles**. Disponível em: <<https://www.sustaineurope.com/aarhus-sustainability-in-the-city-of-smiles-20190421.html>>. Acesso em: 15 abr. 2019.

TANIGAWA, S. **Biogas: Converting Waste to Energy**. Disponível em: <<http://www.eesi.org/papers/view/fact-sheet-biogasconverting-waste-to-energy>>. Acesso em: 15 abr. 2019.

TANNUS, J. C. G. Planejamento de Pesquisa. In: PERDIGÃO, D. M.; HERLINGER, M.; WHITE, O. M. (Eds.). **Teoria e Prática da Pesquisa Aplicada**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012. p. 58–73.

TIAN, X. et al. Interpreting the synergistic effect in combined ultrasonication-ozonation sewage sludge pre-treatment. **Chemosphere**, v. 140, p. 63–71, 2015.

TYAGI, V. K. et al. Microbial community in conventional and extended aeration activated sludge plants in India. **Ecological Indicators**, v. 8, n. 5, p. 550–554, 2008.

U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION - EIA. **Monthly Energy Review**:

march 2019. Washington DC: EIA, 2019.

UCHIYAMA, T. et al. A Feasibility Study of Power Generation from Sewage Using a Hollowed Pico-Hydraulic Turbine. **Engineering**, v. 2, n. 4, p. 510–517, 2016.

UNITED NATIONS (UN). **No "Plan B" for climate action as there is no "Planet B, says UN chief.** Disponível em: <<http://www.un.org/climatechange/summit/2014/09/plan-b-climate-action-planet-b-says-un-chief/index.html>>. Acesso em: 6 mar. 2018.

UNITED NATIONS (UN). **Transforming our world:** The 2030 agenda for sustainable development, A/RES/70/1. Geneva: United Nations, 2015.

UNITED NATIONS (UN). **Wastewater:** the untapped resource. Perugia: United Nations, 2017.

UNITED NATIONS (UN). **The United Nations World Water Development Report 2019.** Paris: UNESCO, 2019.

VALIPOUR, A.; KALYAN RAMAN, V.; GHOLE, V. S. A new approach in wetland systems for domestic wastewater treatment using *Phragmites* sp. **Ecological Engineering**, v. 35, n. 12, p. 1797–1803, 2009.

VAN GRINSVEN, A.; LEGUIJT, C.; TALLAT-KELPSAITE, J. **Supporting mechanisms for the development of biomethane in transport.** Delft: CE Delft, 2017.

VAN LOO, E. J. et al. Sustainability labels on coffee: Consumer preferences, willingness-to-pay and visual attention to attributes. **Ecological Economics**, v. 118, p. 215–225, 2015.

VARGAS, M. C. **O negócio da água: riscos e oportunidades das concessões de saneamento à iniciativa privada:** estudos de caso no Sudeste brasileiro. São Paulo: Annablume, 2005.

VASCO-CORREA, J. et al. Anaerobic digestion for bioenergy production: Global status, environmental and techno-economic implications, and government policies. **Bioresource Technology**, v. 247, n. set. 2017, p. 1015–1026, jan. 2018.

VENKATESH, G.; BRATTEBØ, H. Energy consumption, costs and environmental impacts for urban water cycle services: Case study of Oslo (Norway). **Energy**, v. 36, n. 2, p. 792–800, 2011.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgoto - v. 1.** 3. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – Universidade Federal de Minas Gerais, 2006.

VON SPERLING, M. **Biological Wastewater Treatment Series** (Volume 1: Wastewater Characteristics, Treatment and Disposal). London: IWA Publishing, 2007.

VON SPERLING, M.; CHERNICHARO, C. A. DE L. Urban wastewater treatment technologies and the implementation of discharge standards in developing countries.

Urban Water, v. 4, n. 1, p. 105–114, 2002.

WAELEKENS, B. E. et al. Instalação de sistema de beneficiamento de biogás em ETE para uso como combustível veicular. III Congresso Interamericano de Cambio Climático. **Anais...**Buenos Aires: 2018

WATER & WASTEWATER INTERNATIONAL. **Hydro technology extracts energy from sewage water.** Disponível em: <<http://www.waterworld.com/articles/wwi/print/volume-21/issue-2/regional-focus/hydro-technology-extracts-energy-from-sewage-water.html>>. Acesso em: 20 fev. 2018.

WINKLER, M. K. H.; KLEEREBEZEM, R.; VAN LOOSDRECHT, M. C. M. Integration of anammox into the aerobic granular sludge process for main stream wastewater treatment at ambient temperatures. **Water Research**, v. 46, n. 1, p. 136–144, 2012.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Investing in water and sanitation: increasing access, reducing inequalities.** GLAAS 2014 ed. Geneva: WHO, 2014.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Financing universal water, sanitation and hygiene under the sustainable development goals.** Geneva: World Health Organization, 2017a.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **World Health Statistics 2017: Monitoring Health for The SDGs.** Paris: WHO, 2017b.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO); UNITED NATIONS CHILDREN'S FUND (UNICEF). **Progress on Drinking Water, Sanitation and Hygiene.** Geneva: WHO, 2017.

YADAV, M. K. et al. Occurrence of illicit drugs in water and wastewater and their removal during wastewater treatment. **Water Research**, v. 124, p. 713–727, 2017.

YIN, R. K. **Case study research. Design and methods.** 4. ed. Los Angeles: Sage Publications, 2009.

ZHANG, G. et al. Ultrasonic reduction of excess sludge from activated sludge system II: Urban sewage treatment. **Journal of Hazardous Materials**, v. 164, n. 2–3, p. 1105–1109, 2009.

ZHEN, G. et al. Overview of pretreatment strategies for enhancing sewage sludge disintegration and subsequent anaerobic digestion: Current advances, full-scale application and future perspectives. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 69, n. September 2016, p. 559–577, 2017.

ZHOU, J.; GREEN, M.; SHAVIV, A. Mineralization of organic N originating in treated effluent used for irrigation. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 67, n. 3, p. 205–213, nov. 2003.

ZHU, C. et al. Conditioning of sewage sludge via combined ultrasonication-flocculation-skeleton building to improve sludge dewaterability. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 40, n. January 2017, p. 353–360, 2018.

ZIELEWICZ, E. Effects of ultrasonic disintegration of excess sewage sludge. **Applied Acoustics**, v. 103, p. 182–189, 2016.

APÊNDICE A: POPULAÇÃO, AMOSTRA E DADOS TOTALIZADOS

Responderam à pesquisa 40 companhias, responsáveis pela coleta e tratamento de esgoto em 26 estados, mais o Distrito Federal, em 2.138 municípios (38,38% do total, de 5.570) com população total estimada em 142.474.762 habitantes (68,33% da população do país, estimada em 208.494.900), conforme IBGE (2018).

As organizações que responderam à presente pesquisa foram as seguintes:

1. Organizações que fazem o aproveitamento do biogás em ETEs (de forma contínua ou esporádica):

- a) Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP). População da amostra: 30.443.432 habitantes em 371 municípios.
- b) Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA). A companhia está presente em 629 municípios mineiros (incluindo ligações de água e esgoto), com concessão de esgoto em 307, dos quais 49 com concessão ainda não operada, 85 apenas com coleta de esgoto e 173 com tratamento de esgoto. Alguns municípios do norte e nordeste do Estado são atendidos pela COPASA Serviços de Saneamento Integrado do Norte e Nordeste de Minas Gerais (COPANOR). Há quatro ETEs de responsabilidade da companhia que aproveitam o biogás: a ETE Arrudas aproveita o biogás para geração de energia elétrica e, com a energia térmica proveniente do processo, aquece o lodo nos biodigestores; a ETE Ibirité utiliza o biogás para gerar energia e secar o lodo que, desidratado, é queimado para auxiliar na secagem do lodo úmido; nas ETEs Betim Central e Vieiras/Montes Claros o biogás é queimado para a secagem do lodo. População da amostra: 9.659.348 habitantes em 307 municípios.
- c) Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR). População da amostra: 10.576.697 habitantes, em 346 municípios.
- d) Empresa Baiana de Águas e Saneamento S.A. (EMBASA). População da amostra: 8.643.333 habitantes, em 103 municípios.
- e) GS Inima Brasil Ltda. (GS INIMA), grupo que congrega as empresas Ambient Serviços Ambientais de Ribeirão Preto S.A. (AMBIENT),

Soluções Ambientais de Araçatuba S.A. (SAMAR), Serviços de Saneamento de Mogi Mirim S.A. (SESAMM), Araucária Saneamento S.A. (ARAUCÁRIA), Saneamento Vale do Paraíba S.A. (SANEVAP), Saneamento Alta Maceió S.A. (SANAMA), Companhia de Água Santa Rita S.A. (COMASA) e Companhia de Água e Esgoto de Paraibuna S.A. (CAEPA). População da amostra: 2.806.905 habitantes, em 8 municípios.

2. Organizações que não fazem atualmente o aproveitamento do biogás:

- a. Aegea Saneamento e Participações S/A (AEGEA), grupo que reúne as empresas Águas de (Ág.) Guariroba, Prolagos, Mirante, Nascentes do Xingu, Águas de Matão, Águas de São Francisco, Águas de São Francisco do Sul, Águas de Timon, Ambiental Meriti, Águas de Holambra, Águas de Penha, Águas de Camboriú, Águas de Bombinhas, Águas de Teresina, Águas de Manaus. O grupo informou que, a despeito de uma série de estudos avaliados e tecnologias apresentadas, não vislumbraram viabilidade econômica suficiente para aprofundamento no tema. População da amostra: 6.696.408 habitantes em 46 municípios.
- b. Agência Tocantinense de Saneamento (ATS). Atende a 56 municípios do Estado, porém não possui qualquer ETE em operação. A Agência entende como grande desafio para os próximos anos instalar estações de tratamento em diversos municípios. Atualmente, 17 projetos de implantação de esgotamento sanitário estão em andamento, e são realizados em parceria com a Fundação Nacional de Saúde (Funasa). Nos próximos meses serão abertas suas licitações. População da amostra: 218.934 habitantes em 56 municípios.
- c. Águas de Joinville (AJoinville). Apenas duas ETEs administradas pela empresa utilizam processos anaeróbios de tratamento. Na ETE Brinquedo Mágico há um tanque séptico e filtros anaeróbios, enquanto na ETE Jarivatuba há um sistema de lagoas (anaeróbia, facultativa e de maturação). População da amostra: 583.144 habitantes em um município.

- d. BRK Ambiental Participações S.A (BRK). A empresa afirma ser a maior empresa privada do Brasil no setor de prestação de serviços de água e esgoto. População da amostra: 14.405.558 habitantes em 79 municípios.
- e. Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (CASAN). Não há aproveitamento de biogás. Nas ETEs onde há captação do biogás ele é queimado, para controle de odores e lançamento na atmosfera de forma menos danosa ao ambiente. População da amostra: 1.707.849 habitantes em 22 municípios.
- f. Companhia de Água e Esgoto do Amapá (CAESA). Dos 16 municípios do Estado, a companhia coleta esgoto em 4 (Oiapoque, Amapá, Macapá e Serra do Navio), sendo que em 2 não existe tratamento (Oiapoque e Amapá). Há tratamento em Serra do Navio e em Macapá, sendo que nesta última há 3 sistemas que atendem parcialmente a população. População da amostra: 534.596 habitantes, em 4 municípios.
- g. Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE). Tem projeto, em andamento, para realizar o aproveitamento do biogás gerado, conduzido pela Gerência de Pesquisa. Não tem detalhes consolidados sobre o projeto. Nas 199 ETEs existentes no estado há 51 reatores UASB. População da amostra: 5.997.684 habitantes, em 73 municípios.
- h. Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA). Atende 26 municípios, com um total de 29 ETEs. População da amostra: 2.218.820 habitantes, em 26 municípios.
- i. Companhia de Águas e Esgotos de Roraima (CAERR). Atua e opera os sistemas de águas e esgotos de todos os municípios do Estado de Roraima, exceto em áreas rurais e indígenas, estas de responsabilidade da Secretaria Especial de Saúde Indígena (SESAI). A maior de suas ETEs, na capital Boa Vista, possui sistema de lagoa facultativa, que torna inviável a coleta de biogás. População da amostra: 576.568 habitantes em 15 municípios;
- j. Companhia de Águas e Esgotos do Estado de Rondônia (CAERD). Administra 4 ETEs em Porto Velho, sendo 3 com reator UASB e

uma com tanque anaeróbio, totalizando 2.908 ligações de esgoto. População da amostra: 519.531 em apenas um município.

- k. Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte (CAERN). Administra 69 ETEs. A ETE Central, em Natal, gera biogás, mas ele não é aproveitado. População da amostra: 2.300.949 habitantes, em 46 municípios.
- l. Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB). A companhia coleta esgoto nas Regiões Administrativas do Distrito Federal e os trata em 15 ETEs. Em Águas Lindas de Goiás (ETE Águas Lindas) há uma parceria entre CAESB e SANEAGO para tratamento. Em 2017 a CAESB contratou um consórcio de empresas para o desenvolvimento de 6 projetos de eficiência energética, dentre os quais está o Projeto 6 (Projeto Básico para Aproveitamento Energético do Biogás), que prevê a geração de energia elétrica em 4 ETEs (Brasília Sul, Brasília Norte, Gama e Melchior) e a secagem térmica de lodo (nas ETEs Brasília Sul, Brasília Norte e Melchior). População da amostra: 2.974.703 habitantes, em 31 regiões administrativas.
- m. Companhia de Saneamento Ambiental do Maranhão (CAEMA). Na capital São Luís são 2 ETE (Jaracati e Bacanga) que, em abril de 2009, quando a atual gestão assumiu, estavam desativadas há pelo menos 3 anos, e todo o esgoto era lançado sem tratamento em rios que desaguam nas praias do município. A recuperação das ETEs prevê a instalação de reatores UASB e de sistema de ozonização. Há produção de biogás via reatores UASB em São Luís (ETEs Vinhais, Bacanga, Jaracaty, Amendoeira, Ribeira, Luís Bacelar, Jasmins, Vila Maranhão e Piancó) e em Itapecuru-mirim, Chapadinha, Coroatá e Tutóia, todas estas ETEs compactas. Em Pinheiro também há sistema, embora ainda não esteja operando. População da amostra: 1.767.674 habitantes, em 8 municípios.
- n. Companhia de Saneamento de Alagoas (CASAL). Atende 15 municípios, sendo 14 parcialmente (conjuntos residenciais isolados) e apenas um – Maragogi – na íntegra. População da amostra: 535.954 habitantes, em 15 municípios.

- o. Companhia de Saneamento de Jundiaí (CSJ). População da amostra: 414.810 habitantes, em um município.
- p. Companhia de Saneamento de Sergipe (DESO-SE). Atende a 11 municípios do estado de Sergipe, sendo que dois deles (Estância e São Cristóvão) apenas parcialmente. Mantém em operação 17 estações de tratamento. População da amostra: 1.255.921 habitantes, em 11 municípios.
- q. Companhia de Saneamento do Amazonas (COSAMA). População da amostra: 294.871 habitantes, em 11 municípios.
- r. Companhia de Saneamento do Pará (COSANPA). A estrutura é composta por 23 ETEs, 19 das quais atendendo à região metropolitana de Belém. Em 21 ETEs há produção de biogás em digestores anaeróbios, e sua totalidade é queimada em *flares*. População da amostra: 2.718.372 habitantes, em 5 municípios.
- s. Companhia Espírito Santense de Saneamento (CESAN). Administra 97 ETEs, com capacidade total de tratamento de 3.671,42 L/s. População da amostra: 2.467.585 habitantes em 27 municípios.
- t. Companhia Estadual de Águas e Esgotos do Rio de Janeiro (CEDAE). População da amostra: 5.429.180 habitantes, em 29 municípios.
- u. Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA). Nenhum dos municípios é coberto 100% por sistema de coleta e tratamento de esgoto. População da amostra: 3.856.746 habitantes, em 31 municípios.
- v. Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN). População da amostra: 7.292.663 habitantes, em 295 municípios.
- w. Departamento de Água e Esgoto de Bauru (DAE Bauru). Conta atualmente com duas ETEs, Tibiriçá e Candeia. Não realiza o aproveitamento do biogás, mas possui projeto, em andamento, de construção de nova ETE (Vargem Limpa), que atenderá cerca de 90% da população e que prevê a instalação de biodigestores UASB e sistema de aproveitamento energético para geração de energia. População da amostra: 374.272 habitantes, em um município.

- x. Departamento Municipal de Água e Esgotos de Porto Alegre (DMAE). O município possui 10 sistemas de esgotamento sanitário: Rubem Berta, Sarandi, Navegantes, Ponta da Cadeia, Cavalhada, Zona Sul, Salso, Belém Novo, Lami e Ilhas. Os nove primeiros possuem (ETEs) com processos diversificados, com biodigestores de fluxo ascendente, lagoas de estabilização do tipo australiano e reator anaeróbio seguido de lodos ativados com remoção de nutrientes e desinfecção. População da amostra: 1.479.101 habitantes, em 1 município.
- y. Empresa de Saneamento do Estado de Mato Grosso do Sul S.A. (SANESUL). População da amostra: 1.728.454 habitantes, em 68 municípios.
- z. Iguá Saneamento S.A. (IGUÁ), grupo que reúne as empresas Águas de Cuiabá, Paranaguá Saneamento, Sanessol, ESAP, Águas de Piquete, Águas de Andradina, Águas de Castilho, Águas de Alta Floresta, Águas de Colíder, Águas de Pontes e Lacerda, Águas de Canarana, Águas de Comodoro, Itapoá Saneamento, SPAT Saneamento, Guaratinguetá Saneamento, Atibaia Saneamento e Tubarão Saneamento. População da amostra: 2.268.337 habitantes, em 20 municípios.
- aa. Saneamento de Goiás (SANEAGO). Algumas estações geram e armazenam biogás. População da amostra: 4.483.157 habitantes em 84 municípios.
- bb. São Gabriel Saneamento S.A. (SGSSA), empresa da *holding* Solvi. População da amostra: 62.061 habitantes, em um município.
- cc. Serviço Autônomo de Água e Esgoto de São Carlos (SAAE SCarlos). Trata o esgoto de São Carlos e de seus distritos de Água Vermelha e Santa Eudóxia, por meio de 3 ETES. A ETE Monjolinho, que atende São Carlos, trabalha com vazão aproximada de 550 L/s e realiza tratamento preliminar, biológico (em reatores UASB) e físico-químico (coagulação, floculação, flotação por ar dissolvido). O biogás gerado é queimado em *flares* e seu aproveitamento é objeto de um estudo de avaliação técnico-econômica, que está sendo desenvolvido a fim de avaliar a

- possibilidade de implantação do sistema. População da amostra: 249.415 habitantes em um município.
- dd. Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Sorocaba (SAAE Sorocaba). Possui 8 ETEs. População da amostra: 671.186 habitantes em um município.
- ee. Serviço Autônomo de Saneamento de Pelotas (SANEP). População da amostra: 341.648 habitantes, apenas em um município.
- ff. Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto de Caxias do Sul, RS (SAMAÉ). É responsável pela operação de 10 ETEs (Pinhal, Pena Branca, Ana Rech, Serrano, Canyon, Tega, Samuara, Dal Bó, Belo e Vitória). População da amostra: 504.069 habitantes em um município.
- gg. Serviço Municipal Autônomo de Água e Esgoto de São José do Rio Preto (SeMAE). A ETE atende a população de 450.000 habitantes e trata 2.889.137 m³ de esgoto por mês. Desde 2010 gera biogás em reatores UASB (UASB + lodo ativado convencional), que é queimado em *flares*. Possui estudo técnico de viabilidade para cogeração de energia a partir do biogás realizado em 2011. População da amostra: 456.245 habitantes, apenas em um município.
- hh. Sociedade de Abastecimento de Água e Saneamento S/A (SANASA). Faz a gestão de 22 ETEs e de uma estação de produção de água de reúso. É responsável pelo tratamento de esgoto do município de Campinas, SP, em que possui 326.693 ligações. Queima em *flares* o biogás produzido em biodigestores anaeróbios UASB, existentes em todas as ETEs. População da amostra: 1.194.094 habitantes em um município.
- ii. Zona Oeste Mais Saneamento (Zona Oeste). Responsável pelo esgotamento sanitário na zona oeste do Rio de Janeiro, com 19 ETEs em 22 bairros, situados na Área de Planejamento 5 (correspondente à 48% de todo o território municipal), compreendendo: Deodoro, Vila Militar, Campo dos Afonsos, Jardim Sulacap, Magalhães Bastos, Realengo, Padre Miguel, Bangu, Vila

Kennedy, Gericinó, Senador Camará, Santíssimo, Campo Grande, Senador Vasconcelos, Inhoaíba, Cosmos, Paciência, Santa Cruz, Sepetiba, Guaratiba, Barra de Guaratiba e Pedra de Guaratiba. População da amostra: aproximadamente 1.700.000 habitantes em um município.

A **Tabela A1** condensa a relação pormenorizada das companhias de tratamento que compõem a amostra das que responderam à pesquisa, incluindo municípios atendidos e sua população estimada.

Tabela A1: Empresas de tratamento de esgoto e municípios abrangidos que compõem a amostra

Organização	Subsidiária	UF	Município atendido	População
GS INIMA	SAMAR	SP	Araçatuba	195.874
	ARAUCÁRIA	SP	Campos do Jordão	51.763
	SESAMM	SP	Mogi Mirim	92.715
	CAEPA	SP	Paraibuna	18.180
	AMBIENT	SP	Ribeirão Preto	694.534
	COMASA	SP	Sta. Rita do Passa Quatro	27.514
	SANEVAP	SP	S. José dos Campos	713.943
	SANAMA	AL	Maceió	1.012.382
CAGEPA		PB	Alagoa Grande	28.623
		PB	Araruna	20.215
		PB	Areia	22.978
		PB	Bayeux	96.550
		PB	Cabedelo	66.680
		PB	Cajazeiras	61.776
		PB	Cajazeirinhas	3.181
		PB	Camalaú	5.994
		PB	Campina Grande	407.472
		PB	Catolé do Rocha	30.343
		PB	Cubati	7.763
		PB	Guarabira	58.492
		PB	Itaporanga	24.653
		PB	João Pessoa	800.323
		PB	Lagoa Seca	27.385
		PB	Mamanguape	44.657
		PB	Mogéiro	13.308
		PB	Monteiro	33.007
		PB	Patos	106.984
		PB	Pedras de Fogo	28.389
		PB	Pilar	11.855
		PB	Queimadas	43.917
		PB	Sta. Rita	135.807
		PB	Sapé	52.443
		PB	Sousa	69.161
		PB	Sumé	16.864
AEGEA	Ág. Guariroba	MS	Campo Grande	885.711
	Prolagos	RJ	Cabo Frio	222.528
		RJ	Armação dos Búzios	33.240

	RJ	S. Pedro da Aldeia	102.846
	RJ	Iguaba Grande	27.762
Ambiental Meriti	RJ	S. João de Meriti	471.888
Ág. Holambra	SP	Holambra	14.579
Ág. Matão	SP	Matão	82.702
Mirante	SP	Piracicaba	400.949
	RO	Ariquemes	106.168
	RO	Pimenta Bueno	36.434
	RO	Rolim de Moura	54.702
	RO	Buritis	38.937
	MT	Barra do Garças	60.661
	MT	Campo Verde	42.871
	MT	Carlinda	10.413
	MT	Cláudia	12.052
	MT	Confresa	30.347
	MT	Diamantino	21.904
	MT	Guarantã do Norte	35.497
	MT	Jangada	8.366
	MT	Jauru	9.006
Nascentes do	MT	Marcelândia	10.700
Xingu	MT	Matupá	16.334
	MT	Nortelândia	6.056
	MT	Paranatinga	22.246
	MT	Pedra Preta	17.456
	MT	Peixoto de Azevedo	34.607
	MT	Poconé	32.768
	MT	Porto Espiridião	11.935
	MT	Primavera do Leste	61.038
	MT	Santa Carmem	4.486
	MT	S. José do Rio Claro	20.312
	MT	Sinop	139.935
	MT	Sorriso	87.815
	MT	União do Sul	3.562
	MT	Vera	11.216
	PA	Novo Progresso	25.758
Ág. S. Francisco	PA	Barcarena	122.294
Ág. S. Francisco do Sul	SC	S. Francisco do Sul	51.677
Ág. Penha	SC	Penha	31.764
Ág. Camboriú	SC	Camboriú	80.834
Ág. Bombinhas	SC	Bombinhas	19.193
Ág. Timon	MA	Timon	167.973
Ág. Teresina	PI	Teresina	861.442
Ág. Manaus	AM	Manaus	2.145.444
	BA	Abaré	19.814
	BA	Amargosa	37.031
	BA	Araci	54.099
	BA	Barra do Choça	32.018
	BA	Barreiras	153.831
	BA	Belmonte	23.214
	BA	Brumado	67.048
EMBASA	BA	Cabaceiras do Paraguaçu	18.698
	BA	Cachoeira	33.861
	BA	Cairu	17.913
	BA	Camacan	31.968
	BA	Camaçari	293.723
	BA	Camamu	35.248
	BA	Campo Formoso	70.912
	BA	Canápolis	9.719
	BA	Canavieiras	31.301

BA	Candeias	86.677
BA	Capim Grosso	30.451
BA	Caravelas	21.937
BA	Castro Alves	26.209
BA	Caturama	9.340
BA	Chorrochó	11.154
BA	Conceição da Feira	22.392
BA	Conceição do Coité	66.191
BA	Conceição do Jacuípe	32.909
BA	Cravolândia	5.349
BA	Cruz das Almas	62.871
BA	Dias d'Ávila	79.685
BA	Encruzilhada	17.593
BA	Entre Rios	41.654
BA	Euclides da Cunha	59.842
BA	Eunápolis	112.318
BA	Feira de Santana	609.913
BA	Gentio do Ouro	11.206
BA	Glória	15.208
BA	Guanambi	84.014
BA	Ibitiara	16.272
BA	Ibotirama	26.846
BA	Iguaí	26.868
BA	Ilhéus	164.844
BA	Ipiaú	45.823
BA	Ipirá	59.763
BA	Ipupiara	9.817
BA	Irecê	72.386
BA	Itabela	30.413
BA	Itaberaba	64.325
BA	Itacaré	27.891
BA	Itagibá	14.712
BA	Itaju do Colônia	6.770
BA	Itamaraju	64.521
BA	Itambé	23.358
BA	Itaparica	22.114
BA	Itiúba	36.063
BA	Ituberá	28.457
BA	Iuiú	10.969
BA	Jacobina	80.394
BA	Jaguaquara	54.163
BA	Jaguarari	33.385
BA	Jequié	155.800
BA	Jiquiriçá	14.516
BA	Laje	23.638
BA	Lauro de Freitas	195.095
BA	Lençóis	11.315
BA	Luís Eduardo Magalhães	84.753
BA	Madre de Deus	20.737
BA	Maragogipe	44.555
BA	Mata de S. João	46.014
BA	Miguel Calmon	26.159
BA	Mirangaba	18.195
BA	Morro do Chapéu	35.383
BA	Mucuri	41.221
BA	Muquém de S. Francisco	11.280
BA	Muritiba	29.387
BA	Mutuípe	22.156
BA	Nova Viçosa	42.950
BA	Palmeiras	8.961

	BA	Paulo Afonso	117.014
	BA	Porto Seguro	146.625
	BA	Riachão do Jacuípe	33.403
	BA	Rio de Contas	13.048
	BA	Ruy Barbosa	30.767
	BA	Salvador	2.857.329
	BA	Sta. Brígida	14.088
	BA	Sta. Cruz Cabralia	27.626
	BA	Sta. Inês	10.656
	BA	Sto. Amaro	59.512
	BA	Sto. Antônio de Jesus	100.605
	BA	Sto. Estevão	52.413
	BA	S. Félix	14.717
	BA	S. Francisco do Conde	39.338
	BA	S. Gonçalo dos Campos	37.139
	BA	S. Sebastião do Passé	44.164
	BA	Senhor do Bonfim	78.588
	BA	Serrinha	80.411
	BA	Simões Filho	132.906
	BA	Teixeira de Freitas	158.445
	BA	Tucano	50.568
	BA	Ubaíra	19.914
	BA	Una	19.484
	BA	Uruçuca	20.630
	BA	Várzea Nova	12.772
	BA	Vera Cruz	42.706
	BA	Vitória da Conquista	338.885
	BA	Salvador	0
	PE	Recife	1.637.834
	ES	Cachoeiro de Itapemirim	207.324
	RJ	Macaé	251.631
	RJ	Rio das Ostras	145.989
	RJ	Rio de Janeiro	4.988.927
	GO	Aparecida de Goiânia	565.957
	GO	Jataí	99.674
	GO	Rio Verde	229.651
	GO	Trindade	125.328
	RS	Uruguaiana	127.079
	MA	Paço do Lumiar	120.621
	MA	S. José de Ribamar	176.321
	SC	Blumenau	352.460
	MG	Belo Horizonte	2.501.576
	SP	Limeira	303.682
	SP	Mairinque	46.852
	SP	Mauá	468.148
	SP	Porto Ferreira	55.787
	SP	Rio Claro	204.797
	SP	Sta. Gertrudes	26.403
	SP	Sumaré	278.571
	PA	Bom Jesus do Tocantins	16.841
	PA	Curionópolis	18.014
	PA	Eldorado dos Carajás	33.674
	PA	Redenção	83.997
	PA	Santana do Araguaia	71.187
	PA	S. Domingos do Araguaia	25.358
	PA	S. Geraldo do Araguaia	24.991
	PA	S. João do Araguaia	13.940
	PA	Tucumã	39.059
	PA	Xinguara	44.410
	TO	Aguiarnópolis	6.572
BRK			

	TO	Aliança do Tocantins	5.434
	TO	Almas	7.131
	TO	Alvorada	8.427
	TO	Araguaçu	8.567
	TO	Araguaína	177.517
	TO	Araguanã	5.663
	TO	Arapoema	6.670
	TO	Arraias	10.601
	TO	Augustinópolis	18.178
	TO	Babaçulândia	10.662
	TO	Barrolândia	5.614
	TO	Buriti do Tocantins	11.197
	TO	Campos Lindos	9.917
	TO	Carrasco Bonito	4.059
	TO	Colinas do Tocantins	34.990
	TO	Colmeia	8.270
	TO	Combinado	4.843
	TO	Cristalândia	7.300
	TO	Dianópolis	21.850
	TO	Figueirópolis	5.284
	TO	Filadélfia	8.837
	TO	Formoso do Araguaia	18.482
	TO	Goiatins	12.942
	TO	Guaraí	25.677
	TO	Gurupi	85.737
	TO	Lagoa da Confusão	13.034
	TO	Lavandeira	1.892
	TO	Miracema do Tocantins	18.566
	TO	Miranorte	13.375
	TO	Natividade	9.239
	TO	Nazaré	3.959
	TO	Nova Olinda	11.719
	TO	Palmas	291.855
	TO	Palmeiras do Tocantins	6.570
	TO	Palmeirópolis	7.641
	TO	Paraíso do Tocantins	50.602
	TO	Paraná	10.461
	TO	Peixe	11.623
	TO	Porto Nacional	52.700
	TO	Rio Sono	6.468
	TO	S. Miguel do Tocantins	11.967
	TO	S. Sebastião do Tocantins	4.757
	TO	Taguatinga	16.538
	TO	Tocantinópolis	22.896
	TO	Wanderlândia	11.631
	TO	Xambioá	11.561
COSAMA	AM	Alvarães	15.860
	AM	Autazes	38.830
	AM	Benjamin Constant	42.020
	AM	Caruari	28.076
	AM	Careiro da Várzea	29.595
	AM	Codajás	28.100
	AM	Eirunepé	34.840
	AM	Itamarati	7.888
	AM	Manaquiri	31.147
	AM	S. Paulo de Olivença	38.515
	AM	Tabatinga	64.488
CSJ	SP	Jundiá	414.810
IGUÁ	MT	Cuiabá	607.153
	MT	Alta Floresta	51.615

Ág. Colíder	MT	Colíder	33.224
Ág. Pontes e Lacerda	MT	Pontes e Lacerda	45.093
Ág. Canarana	MT	Canarana	21.311
Ág. Comodoro	MT	Comodoro	20.513
Paranaguá Saneamento	PR	Paranaguá	153.666
Sanessol	SP	Mirassol	59.333
Saneamento de Palestina (ESAP)	SP	Palestina	12.786
Ág. Piquete	SP	Piquete	13.742
Ág. Andradina	SP	Andradina	57.112
Ág. Castilho	SP	Castilho	20.738
	SP	Salesópolis	17.022
SPAT Saneamento (Alto Tietê)	SP	Biritiba-Mirim	32.251
	SP	Mogi das Cruzes	440.769
	SP	Suzano	294.638
Guaratinguetá Saneamento	SP	Guaratinguetá	121.073
Atibaia Saneamento	SP	Atibaia	141.398
Tubarão Saneamento	SC	Tubarão	104.937
Itapoá Saneamento	SC	Itapoá	19.963
SANESUL	MS	Água Clara	15.257
	MS	Alcinópolis	5.268
	MS	Amambai	38.958
	MS	Anastácio	25.128
	MS	Anaurilândia	8.993
	MS	Angélica	10.620
	MS	Antônio João	8.891
	MS	Aparecida do Taboado	25.431
	MS	Aquidauana	47.784
	MS	Aral Moreira	11.963
	MS	Bataguassu	22.717
	MS	Batayporã	11.305
	MS	Bodoquena	7.817
	MS	Bonito	21.738
	MS	Brasilândia	11.891
	MS	Caarapó	29.743
	MS	Camapuã	13.727
	MS	Caracol	6.049
	MS	Chapadão do Sul	24.559
	MS	Coronel Sapucaia	15.152
	MS	Corumbá	110.806
	MS	Coxim	33.516
	MS	Deodápolis	12.868
	MS	Dois Irmãos do Buriti	11.239
	MS	Douradina	5.889
	MS	Dourados	220.965
	MS	Eldorado	12.305
	MS	Fátima do Sul	19.234
	MS	Figueirão	3.044
	MS	Guia Lopes da Laguna	9.968
	MS	Iguatemi	15.977
	MS	Inocência	7.625
	MS	Itaporã	23.886
	MS	Itaquiraí	20.905
	MS	Ivinhema	23.140

	MS	Japorã	8.976
	MS	Jardim	25.967
	MS	Jateí	4.034
	MS	Juti	6.638
	MS	Ladário	22.968
	MS	Laguna Carapã	7.267
	MS	Maracaju	45.932
	MS	Miranda	27.795
	MS	Mundo Novo	18.256
	MS	Naviraí	54.051
	MS	Nioaque	14.085
	MS	Nova Alvorada do Sul	21.300
	MS	Nova Andradina	53.517
	MS	Novo Horizonte do Sul	3.947
	MS	Paranaíba	42.010
	MS	Paranhos	14.048
	MS	Pedro Gomes	7.666
	MS	Ponta Porã	91.082
	MS	Porto Murtinho	17.078
	MS	Ribas do Rio Pardo	24.258
	MS	Rio Brilhante	36.830
	MS	Rio Negro	4.819
	MS	Rio Verde de Mato Grosso	19.682
	MS	Sta. Rita do Pardo	7.801
	MS	Sete Quedas	10.812
	MS	Selvíria	6.515
	MS	Sidrolândia	56.081
	MS	Sonora	18.828
	MS	Tacuru	11.427
	MS	Taquarussu	3.583
	MS	Terenos	21.311
	MS	Três Lagoas	119.465
	MS	Vicentina	6.067
AJoinville	SC	Joinville	583.144
CAGECE	CE	Acarape	15.399
	CE	Acaraú	62.557
	CE	Acopiara	53.931
	CE	Alcântaras	11.529
	CE	Altaneira	7.521
	CE	Aquiraz	79.563
	CE	Aracati	74.084
	CE	Aratuba	11.346
	CE	Aurora	24.699
	CE	Barbalha	60.155
	CE	Barreira	22.362
	CE	Barro	22.593
	CE	Barroquinha	14.989
	CE	Baturité	35.575
	CE	Beberibe	53.421
	CE	Bela Cruz	32.593
	CE	Campos Sales	27.409
	CE	Cascavel	71.499
	CE	Catarina	20.562
	CE	Caucaia	363.982
	CE	Cedro	25.249
	CE	Coreaú	23.258
	CE	Crateús	74.982
	CE	Croatá	17.994
	CE	Forquilha	24.169
	CE	Fortaleza	2.643.247

	CE	Frecheirinha	13.758
	CE	Graça	15.423
	CE	Granjeiro	4.469
	CE	Guaiúba	26.472
	CE	Guaraciaba do Norte	39.713
	CE	Guaramiranga	3.595
	CE	Horizonte	66.114
	CE	Independência	26.168
	CE	Itatira	20.786
	CE	Itapipoca	128.135
	CE	Itarema	41.445
	CE	Jaguaratama	18.102
	CE	Jaguaribara	11.359
	CE	Jijoca de Jericoacoara	19.587
	CE	Juazeiro do Norte	271.926
	CE	Maracanaú	226.128
	CE	Maranguape	127.098
	CE	Massapê	38.424
	CE	Mauriti	46.854
	CE	Missão Velha	35.662
	CE	Mucambo	14.485
	CE	Mulungu	12.892
	CE	Novo Oriente	28.557
	CE	Ocara	25.557
	CE	Pacajus	71.193
	CE	Pacatuba	83.157
	CE	Pacoti	12.046
	CE	Palmácia	13.214
	CE	Paracuru	34.097
	CE	Paraipaba	32.700
	CE	Paramoti	11.664
	CE	Poranga	12.334
	CE	Porteiras	15.047
	CE	Quixadá	87.116
	CE	Redenção	27.633
	CE	Russas	76.884
	CE	Saboeiro	15.808
	CE	Salitre	16.435
	CE	S. Benedito	46.949
	CE	S. Gonçalo do Amarante	48.516
	CE	S. Luís do Curu	12.938
	CE	Tabuleiro do Norte	30.695
	CE	Tarrafas	8.926
	CE	Tauá	58.517
	CE	Tianguá	75.140
	CE	Trairi	55.535
	CE	Uruoca	13.763
CASAL	AL	Arapiraca	230.417
	AL	Barra de S. Miguel	8.264
	AL	Capela	17.124
	AL	Jacuípe	7.036
	AL	Jundiá	4.175
	AL	Maceió	0
	AL	Maragogi	32.369
	AL	Messias	17.676
	AL	Palmeira dos Índios	73.096
	AL	Paulo Jacinto	7.568
	AL	Piranhas	24.891
	AL	Quebrangulo	11.342
	AL	Rio Largo	74.838

	AL	Santa Luzia do Norte	7.272
	AL	Taquarana	19.886
CAESA	AP	Amapá	9.029
	AP	Macapá	493.634
	AP	Oiapoque	26.627
	AP	Serra do Navio	5.306
CAESB	DF	Distrito Federal	2.974.703
SeMAE	SP	S. José do Rio Preto	456.245
SGSSA	RS	São Gabriel	62.061
SANEPAR	PR	Adrianópolis	5.983
	PR	Agudos do Sul	9.269
	PR	Almirante Tamandaré	117.168
	PR	Altamira do Paraná	2.209
	PR	Alto Paraíso	2.799
	PR	Alto Paraná	14.679
	PR	Alto Piquiri	9.896
	PR	Altônia	21.933
	PR	Amaporã	6.181
	PR	Ampére	18.989
	PR	Anahy	2.816
	PR	Andirá	20.139
	PR	Antônio Olinto	7.441
	PR	Apucarana	133.726
	PR	Arapongas	121.198
	PR	Arapoti	27.925
	PR	Arapuã	3.128
	PR	Araruna	13.939
	PR	Araucária	141.410
	PR	Ariranha do Ivaí	2.151
	PR	Assai	15.289
	PR	Assis Chateaubriand	33.397
	PR	Astorga	26.011
	PR	Atalaia	3.902
	PR	Balsa Nova	12.787
	PR	Barbosa Ferraz	11.714
	PR	Barra do Jacaré	2.781
	PR	Bela Vista da Caroba	3.567
	PR	Bela Vista do Paraíso	15.395
	PR	Bituruna	16.377
	PR	Boa Esperança	4.165
	PR	Boa Esperança do Iguaçu	2.538
	PR	Boa Vista da Aparecida	7.643
	PR	Bocaiúva do Sul	12.755
	PR	Bom Jesus do Sul	3.577
	PR	Bom Sucesso	6.995
	PR	Bom Sucesso do Sul	3.274
	PR	Borrazópolis	6.749
	PR	Braganey	5.473
	PR	Brasilândia do Sul	2.719
	PR	Cafeara	2.914
	PR	Cafelândia	17.775
	PR	Cafezal do Sul	4.080
	PR	Califórnia	8.533
	PR	Cambará	25.252
	PR	Cambé	105.704
	PR	Cambira	7.813
	PR	Campina da Lagoa	14.366
	PR	Campina do Simão	3.917
	PR	Campina Grande do Sul	42.880
	PR	Campo Bonito	3.905

PR	Campo do Tenente	7.894
PR	Campo Largo	130.091
PR	Campo Magro	28.885
PR	Campo Mourão	94.212
PR	Candido de Abreu	15.233
PR	Candói	15.903
PR	Cantagalo	13.306
PR	Capanema	19.099
PR	Capitão Leônidas Marques	15.724
PR	Carambeí	22.993
PR	Carlópolis	14.283
PR	Cascavel	324.476
PR	Castro	71.151
PR	Catanduvas	10.213
PR	Centenário do Sul	10.891
PR	Cerro Azul	17.725
PR	Céu Azul	11.709
PR	Chopinzinho	19.343
PR	Cianorte	81.393
PR	Cidade Gaúcha	12.503
PR	Clevelândia	16.671
PR	Colombo	240.840
PR	Congonhinhas	8.777
PR	Conselheiro Mairinck	3.843
PR	Contenda	18.326
PR	Corbélia	17.024
PR	Cornélio Procópio	47.847
PR	Coronel Domingos Soares	7.475
PR	Coronel Vivida	20.892
PR	Corumbataí do Sul	3.313
PR	Cruz Machado	18.675
PR	Cruzeiro do Iguaçu	4.264
PR	Cruzeiro do Oeste	20.917
PR	Cruzeiro do Sul	4.489
PR	Cruzmaltina	2.980
PR	Curitiba	1.917.185
PR	Curiúva	15.003
PR	Diamante do Norte	5.146
PR	Diamante D'Oeste	5.239
PR	Diamante do Sul	3.454
PR	Dois Vizinhos	40.234
PR	Douradina	8.621
PR	Doutor Camargo	5.976
PR	Enéas Marques	5.990
PR	Engenheiro Beltrão	14.020
PR	Esperança Nova	1.732
PR	Espigão Alto do Iguaçu	4.188
PR	Farol	3.139
PR	Faxinal	17.185
PR	Fazenda Rio Grande	98.368
PR	Fênix	4.777
PR	Fernandes Pinheiro	5.690
PR	Figueira	7.845
PR	Flor da Serra do Sul	4.645
PR	Floraí	4.953
PR	Floresta	6.695
PR	Florestópolis	10.646
PR	Formosa do Oeste	6.700
PR	Foz do Iguaçu	258.823
PR	Foz do Jordão	4.745

PR	Francisco Alves	6.101
PR	Francisco Beltrão	89.942
PR	General Carneiro	13.735
PR	Godoy Moreira	2.996
PR	Goioerê	28.962
PR	Goioxim	7.170
PR	Grandes Rios	5.742
PR	Guaíra	32.923
PR	Guairaçá	6.553
PR	Guamiranga	8.664
PR	Guapirama	3.820
PR	Guaporema	2.246
PR	Guaraci	5.473
PR	Guaraniaçu	12.733
PR	Guarapuava	180.334
PR	Guaraqueçaba	7.679
PR	Guaratuba	36.595
PR	Honório Serpa	5.305
PR	Ibaiti	31.142
PR	Ibema	6.334
PR	Icaraíma	8.025
PR	Iguatu	2.258
PR	Imbaú	12.936
PR	Imbituva	32.179
PR	Inácio Martins	11.129
PR	Inajá	3.103
PR	Indianópolis	4.449
PR	Ipiranga	15.092
PR	Iporã	14.073
PR	Iracema do Oeste	2.325
PR	Irati	60.357
PR	Iretama	10.241
PR	Itaguajé	4.487
PR	Itaipulândia	10.961
PR	Itambé	6.107
PR	Itapejara D'Oeste	11.831
PR	Itaperuçu	28.187
PR	Itaúna do Sul	2.951
PR	Ivaí	13.791
PR	Ivaiporã	32.035
PR	Ivaté	8.128
PR	Ivatuba	3.238
PR	Jaboti	5.244
PR	Jacarezinho	39.435
PR	Jandaia do Sul	21.122
PR	Janiópolis	5.400
PR	Japira	4.995
PR	Jardim Alegre	11.465
PR	Jesuítas	8.495
PR	Joaquim Távora	11.803
PR	Jundiaí do Sul	3.315
PR	Juranda	7.391
PR	Lapa	47.909
PR	Laranjal	5.921
PR	Laranjeiras do Sul	32.006
PR	Leópolis	3.984
PR	Lidianópolis	3.391
PR	Lindoeste	4.762
PR	Loanda	22.927
PR	Londrina	563.943

PR	Luiziana	7.285
PR	Lunardelli	4.845
PR	Lupionópolis	4.894
PR	Mallet	13.595
PR	Mamborê	13.252
PR	Mandaguaçu	22.531
PR	Mandaguari	34.281
PR	Mandirituba	26.411
PR	Manfrinópolis	2.639
PR	Mangueirinha	16.787
PR	Manoel Ribas	13.494
PR	Maria Helena	5.720
PR	Marilândia do Sul	8.858
PR	Marilena	7.067
PR	Maringá	417.010
PR	Mariópolis	6.586
PR	Maripá	5.624
PR	Marmeleiro	14.346
PR	Marquinho	4.472
PR	Matelândia	17.775
PR	Matinhos	34.207
PR	Mato Rico	3.340
PR	Mauá da Serra	10.397
PR	Medianeira	45.812
PR	Mirador	2.231
PR	Missal	10.700
PR	Moreira Sales	12.201
PR	Morretes	16.366
PR	Nova Aliança do Ivaí	1.534
PR	Nova América da Colina	3.456
PR	Nova Aurora	10.650
PR	Nova Cantu	5.550
PR	Nova Esperança	27.821
PR	Nova Esperança do Sudoeste	5.063
PR	Nova Laranjeiras	11.603
PR	Nova Londrina	13.225
PR	Nova Olímpia	5.785
PR	Nova Prata do Iguaçu	10.552
PR	Nova Sta. Rosa	8.171
PR	Nova Tebas	5.856
PR	Novo Itacolomi	2.848
PR	Ortigueira	22.327
PR	Ourizona	3.430
PR	Ouro Verde do Oeste	5.975
PR	Paiçandu	40.777
PR	Palmas	50.198
PR	Palmeira	33.757
PR	Palmital	13.389
PR	Palotina	31.564
PR	Paraiso do Norte	13.631
PR	Paranacity	11.361
PR	Paranavaí	87.813
PR	Pato Branco	81.893
PR	Paula Freitas	5.837
PR	Paulo Frontin	7.321
PR	Perobal	6.092
PR	Pérola	11.144
PR	Pérola D'Oeste	6.407
PR	Piên	12.606
PR	Pinhais	130.789

PR	Pinhal do S. Bento	2.725
PR	Pinhalão	6.327
PR	Pinhão	32.219
PR	Piraí do Sul	25.291
PR	Piraquara	111.052
PR	Pitanga	30.635
PR	Planaltina do Paraná	4.254
PR	Planalto	13.528
PR	Ponta Grossa	348.043
PR	Pontal do Paraná	26.636
PR	Porecatu	13.084
PR	Porto Amazonas	4.821
PR	Porto Rico	2.561
SC	Porto União	35.250
PR	Porto Vitória	4.068
PR	Pranchita	5.221
PR	Primeiro de Maio	11.114
PR	Prudentópolis	51.961
PR	Quarto Centenário	4.560
PR	Quatiguá	7.420
PR	Quatro Barras	23.199
PR	Quedas do Iguaçu	33.788
PR	Querência do Norte	12.180
PR	Quinta do Sol	4.640
PR	Quitandinha	18.873
PR	Ramilândia	4.426
PR	Rancho Alegre	3.832
PR	Rancho Alegre do Oeste	2.682
PR	Realeza	16.894
PR	Rebouças	14.851
PR	Renascença	6.818
PR	Reserva	26.602
PR	Reserva do Iguaçu	7.950
PR	Ribeirão do Pinhal	13.112
PR	Rio Azul	15.134
PR	Rio Bom	3.225
PR	Rio Bonito do Iguaçu	13.283
PR	Rio Branco do Ivaí	4.083
PR	Rio Branco do Sul	32.273
PR	Rio Negro	33.922
PR	Rolândia	65.757
PR	Roncador	10.058
PR	Rondon	9.534
PR	Rosário do Ivaí	4.886
PR	Sabáudia	6.760
PR	Salgado Filho	3.679
PR	Salto do Itararé	4.973
PR	Salto do Lontra	14.695
PR	Sta. Amélia	3.385
PR	Sta. Cruz Monte Castelo	7.849
PR	Sta. Fé	11.885
PR	Sta. Helena	26.206
PR	Sta. Inez	1.624
PR	Sta. Izabel do Oeste	14.521
PR	Sta. Lúcia	3.834
PR	Sta. Maria do Oeste	9.824
PR	Sta. Mariana	11.829
PR	Sta. Tereza do Oeste	10.182
PR	Sta. Terezinha Itaipu	23.224
PR	Santana do Itararé	5.031

	PR	Sto. Antônio da Platina	45.728
	PR	Sto. Antônio do Caiuá	2.656
	PR	Sto. Antônio do Sudoeste	20.069
	PR	Sto. Inácio	5.431
	PR	S. Carlos do Ivaí	6.834
	PR	S. João	10.303
	PR	S. João do Caiuá	5.874
	PR	S. João do Ivaí	10.386
	PR	S. João do Triunfo	14.996
	PR	S. Jorge do Oeste	9.074
	PR	S. Jorge do Patrocínio	5.698
	PR	S. José da Boa Vista	6.254
	PR	S. José das Palmeiras	3.682
	PR	S. José dos Pinhais	317.476
	PR	S. Manoel do Paraná	2.158
	PR	S. Mateus do Sul	45.806
	PR	S. Miguel do Iguaçu	27.325
	PR	S. Pedro do Iguaçu	5.976
	PR	S. Pedro do Ivaí	10.915
	PR	S. Pedro do Paraná	2.338
	PR	S. Sebastião da Amoreira	8.847
	PR	S. Tomé	5.693
	PR	Sapopema	6.751
	PR	Saudade do Iguaçu	5.459
	PR	Sengés	19.267
	PR	Serranópolis do Iguaçu	4.513
	PR	Siqueira Campos	20.778
	PR	Sulina	3.033
	PR	Tamarana	14.548
	PR	Tamboara	5.080
	PR	Tapira	5.584
	PR	Teixeira Soares	12.163
	PR	Telêmaco Borba	78.135
	PR	Terra Boa	16.984
	PR	Terra Roxa	17.439
	PR	Tibagi	20.436
	PR	Tijucas do Sul	16.646
	PR	Toledo	138.572
	PR	Tomazina	8.032
	PR	Três Barras do Paraná	12.043
	PR	Tunas do Paraná	8.509
	PR	Tuneiras do Oeste	8.599
	PR	Turvo	13.340
	PR	Ubiratã	21.119
	PR	Umuarama	110.590
	PR	União da Vitória	57.111
	PR	Uniflor	2.595
	PR	Uraí	11.356
	PR	Ventania	11.703
	PR	Vera Cruz do Oeste	8.590
	PR	Verê	7.342
	PR	Virmond	4.023
	PR	Vitorino	6.817
	PR	Wenceslau Braz	19.444
	PR	Xambrê	5.728
SANEAGO	GO	Abadia de Goiás	8.583
	GO	Acreúna	22.182
	GO	Águas Lindas de Goiás	207.070
	GO	Alexânia	27.288
	GO	Alvorada do Norte	8.614

GO	Amaralina	3.778
GO	Anápolis	381.970
GO	Anicuns	21.717
GO	Aparecida de Goiânia	0
GO	Aparecida do Rio Doce	2.474
GO	Aragoiânia	10.116
GO	Araguapaz	7.756
GO	Aruanã	9.635
GO	Alvelinópolis	2.425
GO	Barro Alto	10.922
GO	Bela Vista de Goiás	29.448
GO	Bom Jesus de Goiás	24.776
GO	Britânia	5.761
GO	Buriti Alegre	9.433
GO	Cachoeira Alta	12.297
GO	Caçu	15.743
GO	Caipônia	18.715
GO	Campinaçu	3.649
GO	Campos Belos	19.764
GO	Ceres	22.074
GO	Cidade Oriental	69.829
GO	Corumbaíba	9.574
GO	Cristalina	57.759
GO	Damianópolis	3.315
GO	Edéia	12.276
GO	Formosa	119.506
GO	Goianésia	69.072
GO	Goiânia	1.495.705
GO	Goianira	43.260
GO	Goiás	22.916
GO	Goiatuba	33.986
GO	Guapó	14.211
GO	Hidrolina	3.622
GO	Iaciara	13.808
GO	Inhumas	52.465
GO	Iporá	31.563
GO	Itaberaí	42.163
GO	Itapuranga	25.856
GO	Itauçu	8.916
GO	Itumbiara	103.652
GO	Jaraguá	49.667
GO	Jataí	0
GO	Joviânia	7.372
GO	Jussara	18.587
GO	Lagoa Santa	1.555
GO	Luziânia	205.023
GO	Maria Rosa	9.646
GO	Mimoso de Goiás	2.612
GO	Minaçu	29.353
GO	Montes Claros de Goiás	8.063
GO	Montividiu	13.115
GO	Morrinhos	45.716
GO	Niquelândia	46.039
GO	Novo Gama	113.679
GO	Padre Bernardo	33.228
GO	Palmeiras de Goiás	28.313
GO	Paraúna	10.995
GO	Perolândia	3.116
GO	Piracanjuba	24.499
GO	Pires do Rio	31.225

	GO	Planaltina	89.181
	GO	Pontalina	17.777
	GO	Porangatu	45.151
	GO	Posse	36.375
	GO	Quirinópolis	49.416
	GO	Rio Verde	0
	GO	Rubiataba	19.815
	GO	Sanclerlândia	7.642
	GO	Sta. Helena de Goiás	38.485
	GO	Sto. Antônio do Descoberto	73.636
	GO	S. João da Paraúna	1.417
	GO	S. Luís de Montes Belos	33.470
	GO	S. Miguel do Araguaia	22.067
	GO	Silvânia	20.573
	GO	Terezópolis de Goiás	7.897
	GO	Trindade	0
	GO	Uruaçu	40.217
	GO	Uruana	13.868
	GO	Valparaíso de Goiás	164.723
COPASA	MG	Abaeté	23.223
	MG	Água Boa	13.600
	MG	Águas Formosas	19.166
	MG	Águas Vermelhas	13.477
	MG	Além Paraíba	35.321
	MG	Alfenas	79.481
	MG	Almenara	41.642
	MG	Alpinópolis	19.745
	MG	Angelândia	8.481
	MG	Antônio Prado de Minas	1.609
	MG	Araçuaí	36.705
	MG	Araxá	105.083
	MG	Arceburgo	10.657
	MG	Aricanduva	5.191
	MG	Ataléia	13.064
	MG	Bandeira	4.825
	MG	Barbacena	136.392
	MG	Belo Horizonte	0
	MG	Berilo	11.995
	MG	Berizal	4.705
	MG	Bertópolis	4.602
	MG	Betim	432.575
	MG	Bom Despacho	50.166
	MG	Bom Jesus da Penha	4.190
	MG	Bom Repouso	10.558
	MG	Bonfim	6.876
	MG	Borda da Mata	19.202
	MG	Botelhos	14.995
	MG	Botumirim	6.350
	MG	Brasilândia de Minas	16.321
	MG	Brasília de Minas	32.288
	MG	Brumadinho	39.520
	MG	Bueno Brandão	11.010
	MG	Buenópolis	10.377
	MG	Buritiz	24.663
	MG	Cabo Verde	14.075
	MG	Cachoeira de Pajeú	9.382
	MG	Caldas	14.417
	MG	Camanducaia	21.738
	MG	Cambuquira	12.816
	MG	Campanha	16.565

MG	Campina Verde	19.738
MG	Campo Florido	8.029
MG	Capelinha	37.856
MG	Capetinga	6.952
MG	Capim Branco	9.679
MG	Capitão Enéas	15.153
MG	Caraí	23.586
MG	Caratinga	91.503
MG	Carbonita	9.396
MG	Carlos Chagas	19.007
MG	Carmo da Cachoeira	12.158
MG	Carmo do Paranaíba	30.324
MG	Carmo do Rio Claro	21.180
MG	Carneirinho	9.986
MG	Carvalhos	4.495
MG	Cataguases	74.691
MG	Catuji	6.366
MG	Catuti	5.008
MG	Caxambu	21.703
MG	Centralina	10.425
MG	Chapada do Norte	15.368
MG	Chapada Gaúcha	13.397
MG	Claro dos Poções	7.590
MG	Cláudio	28.366
MG	Comercinho	7.090
MG	Conceição da Barra de Minas	3.962
MG	Conceição do Mato Dentro	17.641
MG	Conceição do Pará	5.480
MG	Cônego Marinho	7.595
MG	Confins	6.657
MG	Congonhal	11.813
MG	Congonhas	54.196
MG	Conquista	6.908
MG	Conselheiro Lafaiete	127.539
MG	Contagem	659.070
MG	Coração de Jesus	26.592
MG	Cordisburgo	8.883
MG	Corinto	23.797
MG	Coronel Fabriciano	109.405
MG	Coronel Murta	9.228
MG	Couto de Magalhães de Minas	4.396
MG	Crisólita	6.646
MG	Cristália	5.960
MG	Cruzília	15.358
MG	Cuparaque	4.960
MG	Curvelo	79.625
MG	Datas	5.399
MG	Delfinópolis	7.098
MG	Desterro do Melo	2.919
MG	Diamantina	47.617
MG	Divino	19.884
MG	Divinópolis	235.977
MG	Divisa Nova	5.996
MG	Divisópolis	10.820
MG	Dores do Indaiá	13.541
MG	Engenheiro Navarro	7.244
MG	Esmeraldas	70.200
MG	Espinosa	31.624
MG	Estrela do Indaiá	3.508
MG	Estrela do Sul	7.936

MG	Extrema	35.474
MG	Fama	2.379
MG	Felício dos Santos	4.804
MG	Felisburgo	7.409
MG	Felixlândia	15.235
MG	Francisco Badaró	10.343
MG	Francisco Dumont	5.187
MG	Frei Gaspar	5.891
MG	Frei Lagonegro	3.469
MG	Fronteira	17.701
MG	Fronteira dos Vales	4.601
MG	Fruta de Leite	5.441
MG	Frutal	58.962
MG	Funilândia	4.304
MG	Glaucilândia	3.136
MG	Gonçalves	4.345
MG	Grão Mogol	15.779
MG	Guaraciaba	10.333
MG	Guarda-Mor	6.591
MG	Guaxupé	51.750
MG	Guimarânia	7.971
MG	Ibiaí	8.351
MG	Ibiracatu	5.975
MG	Ibiraci	13.687
MG	Ibirité	179.015
MG	Icaraí de Minas	11.879
MG	Igarapé	42.246
MG	Ijaci	6.488
MG	Imbé de Minas	6.865
MG	Indaialbira	7.363
MG	Inhapim	24.204
MG	Ipatinga	261.344
MG	Ipuiúna	10.039
MG	Itabirinha	11.446
MG	Itacambira	5.353
MG	Itacarambi	18.142
MG	Itaipé	12.681
MG	Itajubá	96.389
MG	Itamarandiba	34.527
MG	Itaobim	21.096
MG	Itapecerica	21.763
MG	Itapeva	9.682
MG	Itinga	14.956
MG	Iturama	38.822
MG	Jaboticatubas	19.858
MG	Jacinto	12.329
MG	Jaíba	38.413
MG	Janaúba	71.265
MG	Januária	67.628
MG	Jenipapo de Minas	7.645
MG	Jequitinhonha	25.305
MG	Joaíma	15.410
MG	João Pinheiro	48.561
MG	Jordânia	10.780
MG	José Gonçalves de Minas	4.516
MG	Josenópolis	4.844
MG	Juatuba	26.484
MG	Juramento	4.316
MG	Juvenília	5.733
MG	Ladainha	18.026

MG	Lagoa dos Patos	4.124
MG	Lagoa Dourada	12.953
MG	Lagoa Santa	63.359
MG	Lavras	102.728
MG	Leandro Ferreira	3.233
MG	Leme do Prado	4.915
MG	Limeira do Oeste	7.481
MG	Lontra	9.008
MG	Luislândia	6.680
MG	Madre de Deus de Minas	5.087
MG	Malacacheta	18.700
MG	Manga	18.594
MG	Mário Campos	15.207
MG	Martinho Campos	13.330
MG	Mata Verde	8.526
MG	Mateus Leme	30.798
MG	Matias Cardoso	11.050
MG	Matozinhos	37.473
MG	Medina	20.882
MG	Mendes Pimentel	6.446
MG	Minas Novas	31.471
MG	Mirabela	13.557
MG	Montalvânia	15.012
MG	Monte Azul	21.017
MG	Monte Formoso	4.889
MG	Monte São	23.569
MG	Montes Claros	404.804
MG	Morada Nova de Minas	8.815
MG	Mutum	26.997
MG	Nanuque	40.839
MG	Natércia	4.731
MG	Nova Belém	3.255
MG	Nova Lima	93.577
MG	Nova Módica	3.627
MG	Nova Porteirinha	7.504
MG	Nova Resende	16.610
MG	Nova Serrana	99.770
MG	Novo Cruzeiro	31.326
MG	Novo Oriente de Minas	10.731
MG	Novorizonte	5.273
MG	Olhos-d'Água	6.018
MG	Ouro Branco	39.121
MG	Ouro Verde de Minas	5.954
MG	Padre Carvalho	6.332
MG	Padre Paraíso	20.052
MG	Paracatu	92.430
MG	Passabém	1.664
MG	Patis	5.942
MG	Patos de Minas	150.833
MG	Pavão	8.481
MG	Pedra Azul	24.319
MG	Pedralva	11.246
MG	Pedras de Maria da Cruz	11.453
MG	Pedro Leopoldo	63.789
MG	Perdões	21.291
MG	Pescador	4.246
MG	Pirajuba	6.044
MG	Pirapetinga	10.731
MG	Ponto dos Volantes	12.061
MG	Porteirinha	37.950

MG	Poté	16.491
MG	Pouso Alegre	148.862
MG	Prados	8.979
MG	Presidente Bernardes	5.398
MG	Presidente Juscelino	3.676
MG	Prudente de Moraes	10.629
MG	Quartel Geral	3.542
MG	Raposos	16.277
MG	Resende Costa	11.459
MG	Resplendor	17.398
MG	Riacho dos Machados	9.487
MG	Ribeirão das Neves	331.045
MG	Rio Casca	13.659
MG	Rio do Prado	5.167
MG	Rio Pardo de Minas	30.779
MG	Rio Pomba	17.858
MG	Rubelita	6.198
MG	Rubim	10.226
MG	S. Félix de Minas	3.377
MG	S. Francisco	56.163
MG	S. Gonçalo do Abaeté	6.923
MG	S. Gonçalo do Rio Preto	3.161
MG	S. Gotardo	35.145
MG	S. João da Ponte	25.235
MG	S. João das Missões	12.899
MG	S. João Del Rei	89.653
MG	S. João do Manhuaçu	11.440
MG	S. João do Manteninha	5.798
MG	S. João do Paraíso	23.524
MG	S. João Nepomuceno	26.272
MG	S. Joaquim de Bicas	30.989
MG	S. José da Lapa	23.385
MG	S. José do Divino	3.865
MG	S. José do Jacuri	6.477
MG	S. Romão	12.139
MG	S. Roque de Minas	7.026
MG	S. Sebastião do Maranhão	10.129
MG	S. Sebastião do Paraíso	70.450
MG	S. Tiago	10.922
MG	Sabará	135.421
MG	Salinas	41.349
MG	Santana da Vargem	7.128
MG	Santana do Paraíso	33.934
MG	Santana do Riacho	4.274
MG	Santos Dumont	46.555
MG	Sapucai-Mirim	6.869
MG	Sarzedo	32.069
MG	Serra Azul de Minas	4.293
MG	Serra da Saudade	786
MG	Serra dos Aimorés	8.685
MG	Serro	20.993
MG	Setubinha	12.134
MG	Sta. Cruz de Salinas	4.177
MG	Sta. Helena de Minas	6.345
MG	Sta. Luzia	218.147
MG	Sta. Maria do Salto	5.248
MG	Sta. Maria do Suaçuí	14.620
MG	Sta. Rita de Caldas	8.974
MG	Sta. Rita do Sapucaí	42.751
MG	Sto. Antônio do Aventureiro	3.602

	MG	Sto. Antônio do Itambé	3.877
	MG	Sto. Antônio do Jacinto	11.677
	MG	Sto. Antônio do Monte	28.054
	MG	Sto. Antônio do Retiro	7.256
	MG	Sto. Hipólito	3.109
	MG	Taiobeiras	33.858
	MG	Taquaraçu de Minas	4.055
	MG	Teófilo Otoni	140.235
	MG	Timóteo	89.090
	MG	Tiradentes	7.886
	MG	Tocos do Moji	4.093
	MG	Três Corações	78.913
	MG	Três Marias	31.984
	MG	Turmalina	19.797
	MG	Ubá	114.265
	MG	Umburatiba	2.626
	MG	União de Minas	4.325
	MG	Varginha	134.477
	MG	Várzea da Palma	39.173
	MG	Varzelândia	19.335
	MG	Vazante	20.537
	MG	Verdelândia	9.265
	MG	Veredinha	5.712
	MG	Vespasiano	125.376
	MG	Virgem da Lapa	13.764
	MG	Visconde do Rio Branco	42.149
SABESP	SP	Adamantina	35.023
	SP	Adolfo	3.571
	SP	Aguai	35.954
	SP	Águas da Prata	8.137
	SP	Águas de Santa Bárbara	6.040
	SP	Águas de São Pedro	3.380
	SP	Agudos	37.023
	SP	Alambari	5.918
	SP	Alfredo Marcondes	4.147
	SP	Altair	4.134
	SP	Alto Alegre	4.110
	SP	Alumínio	18.484
	SP	Álvares Machado	24.830
	SP	Álvaro de Carvalho	5.179
	SP	Alvinlândia	3.206
	SP	Angatuba	24.969
	SP	Anhembi	6.627
	SP	Anhumas	4.085
	SP	Aparecida d'Oeste	4.234
	SP	Apiaí	24.526
	SP	Araçariguama	21.854
	SP	Arandu	6.348
	SP	Arapeí	2.478
	SP	Arco-Íris	1.811
	SP	Arealva	8.505
	SP	Areiópolis	11.099
	SP	Arujá	88.455
	SP	Aspásia	1.825
	SP	Assis	103.666
	SP	Auriflama	15.123
	SP	Avaí	5.369
	SP	Avaré	90.063
	SP	Balbinos	5.532
	SP	Bananal	10.896

SP	Barão de Antonina	3.441
SP	Barra do Chapéu	5.688
SP	Barra do Turvo	7.687
SP	Barueri	271.306
SP	Bastos	20.954
SP	Bento de Abreu	2.955
SP	Bernardino de Campos	11.137
SP	Bertioga	61.736
SP	Biritiba-Mirim	32.251
SP	Bocaina	12.204
SP	Bofete	11.534
SP	Boituva	59.793
SP	Bom Sucesso de Itararé	3.923
SP	Borá	836
SP	Boracéia	4.776
SP	Botucatu	144.820
SP	Bragança Paulista	166.753
SP	Brejo Alegre	2.841
SP	Buri	19.789
SP	Buritizal	4.447
SP	Cabreúva	48.966
SP	Caçapava	93.488
SP	Cachoeira Paulista	33.067
SP	Caiabu	4.190
SP	Caieiras	100.129
SP	Cajamar	75.638
SP	Cajati	28.605
SP	Cajuru	25.935
SP	Campina do Monte Alegre	5.991
SP	Campo Limpo Paulista	83.735
SP	Campos do Jordão	51.763
SP	Cananéia	12.539
SP	Canas	5.071
SP	Cândido Rodrigues	2.787
SP	Capão Bonito	47.159
SP	Capela do Alto	20.419
SP	Caraguatatuba	119.625
SP	Carapicuíba	398.611
SP	Cardoso	12.303
SP	Cássia dos Coqueiros	2.542
SP	Catiguá	7.752
SP	Cesário Lange	17.915
SP	Charqueada	17.009
SP	Colômbia	6.203
SP	Conchas	17.770
SP	Coroados	5.986
SP	Coronel Macedo	4.728
SP	Cotia	244.694
SP	Cruzália	2.100
SP	Cubatão	129.760
SP	Diadema	420.934
SP	Dirce Reis	1.786
SP	Divinolândia	11.208
SP	Dolcinópolis	2.119
SP	Dourado	8.868
SP	Duartina	12.457
SP	Echaporã	6.141
SP	Eldorado	15.443
SP	Elias Fausto	17.604
SP	Embú das Artes	270.843

SP	Embu-Guaçu	68.856
SP	Emilianópolis	3.202
SP	Espírito Santo do Pinhal	44.186
SP	Espírito Santo do Turvo	4.779
SP	Estrela do Norte	2.762
SP	Estrela d'Oeste	8.418
SP	Euclides da Cunha Paulista	9.419
SP	Fartura	16.001
SP	Fernando Prestes	5.771
SP	Fernandópolis	68.823
SP	Fernão	1.704
SP	Ferraz de Vasconcelos	191.993
SP	Flora Rica	1.499
SP	Floreal	2.934
SP	Flórida Paulista	14.486
SP	Florínia	2.699
SP	Franca	350.400
SP	Francisco Morato	174.008
SP	Franco da Rocha	152.433
SP	Gabriel Monteiro	2.776
SP	Gália	6.615
SP	Gastão Vidigal	4.754
SP	General Salgado	10.876
SP	Glicério	4.801
SP	Guapiara	17.293
SP	Guarani d'Oeste	2.002
SP	Guararema	29.451
SP	Guareí	18.143
SP	Guariba	39.714
SP	Guarujá	318.107
SP	Guarulhos	1.365.899
SP	Guzolândia	5.226
SP	Hortolândia	227.353
SP	Iacri	6.348
SP	Iaras	8.956
SP	Ibirá	12.264
SP	Ibiúna	78.262
SP	Icém	8.181
SP	Igarapava	30.246
SP	Igaratá	9.483
SP	Iguape	30.721
SP	Ilha Comprida	10.965
SP	Ilhabela	34.333
SP	Indiaporã	3.908
SP	Inúbia Paulista	3.963
SP	Iperó	36.280
SP	Iporanga	4.238
SP	Irapuã	7.937
SP	Itaberá	17.635
SP	Itaí	26.861
SP	Itanhaém	100.496
SP	Itaóca	3.326
SP	Itapeçerica da Serra	173.672
SP	Itapetininga	162.231
SP	Itapeva	93.892
SP	Itapevi	234.352
SP	Itapirapuã Paulista	4.213
SP	Itaporanga	15.125
SP	Itaquaquecetuba	366.519
SP	Itararé	50.360

SP	Itariri	17.271
SP	Itatiba	119.090
SP	Itatinga	20.467
SP	Itirapuã	6.453
SP	Itobi	7.830
SP	Itupeva	59.649
SP	Jaborandi	6.911
SP	Jacupiranga	17.842
SP	Jales	49.011
SP	Jambeiro	6.485
SP	Jandira	123.481
SP	Jarinu	29.456
SP	Jeriquara	3.168
SP	Joanópolis	13.098
SP	Juquiá	18.908
SP	Juquitiba	31.235
SP	Lagoinha	4.903
SP	Laranjal Paulista	28.240
SP	Lavrinhas	7.207
SP	Lins	77.510
SP	Lorena	88.276
SP	Lourdes	2.278
SP	Lucélia	21.604
SP	Lucianópolis	2.385
SP	Luiziânia	5.723
SP	Lupércio	4.571
SP	Lutécia	2.663
SP	Macedônia	3.704
SP	Magda	3.136
SP	Mairiporã	98.374
SP	Marabá Paulista	5.757
SP	Maracaí	13.967
SP	Mariápolis	4.077
SP	Marinópolis	2.117
SP	Meridiano	3.848
SP	Mesópolis	1.910
SP	Miguelópolis	22.093
SP	Mira Estrela	3.066
SP	Miracatu	19.919
SP	Mirante do Paranapanema	18.178
SP	Mococa	68.788
SP	Mombuca	3.478
SP	Monções	2.252
SP	Mongaguá	55.731
SP	Monte Alto	50.216
SP	Monte Aprazível	24.794
SP	Monte Mor	58.765
SP	Monteiro Lobato	4.608
SP	Morungaba	13.458
SP	Narandiba	4.809
SP	Nazaré Paulista	18.346
SP	Nhandeara	11.427
SP	Nipoã	5.126
SP	Nova Campina	9.647
SP	Nova Canaã Paulista	1.911
SP	Nova Granada	21.307
SP	Nova Guataporanga	2.308
SP	Nova Luzitânia	4.041
SP	Novo Horizonte	40.680
SP	Óleo	2.522

SP	Onda Verde	4.339
SP	Oriente	6.487
SP	Orindiúva	6.935
SP	Osasco	696.850
SP	Oscar Bressane	2.602
SP	Osvaldo Cruz	32.754
SP	Ouroeste	10.177
SP	Palmares Paulista	13.058
SP	Palmeira d'Oeste	9.340
SP	Paraguaçu Paulista	45.455
SP	Paranapanema	19.993
SP	Paranapuã	4.061
SP	Parapuã	10.980
SP	Pardinho	6.360
SP	Pariquera-Açu	19.570
SP	Paulínia	106.776
SP	Paulistânia	1.832
SP	Paulo de Faria	8.930
SP	Pederneiras	46.251
SP	Pedra Bela	6.075
SP	Pedranópolis	2.508
SP	Pedregulho	16.676
SP	Pedrinhas Paulista	3.085
SP	Pedro de Toledo	11.240
SP	Pereiras	8.560
SP	Peruíbe	67.548
SP	Piacatu	5.922
SP	Piedade	55.149
SP	Pilar do Sul	28.963
SP	Pindamonhangaba	166.475
SP	Pinhalzinho	15.021
SP	Piquerobi	3.685
SP	Piracaia	27.140
SP	Piraju	29.741
SP	Pirapora do Bom Jesus	18.604
SP	Pirapozinho	27.295
SP	Piratininga	13.503
SP	Planalto	5.167
SP	Platina	3.521
SP	Poá	116.530
SP	Poloni	6.004
SP	Pongá	3.432
SP	Pontalinda	4.580
SP	Pontes Gestal	2.577
SP	Populina	4.186
SP	Porangaba	9.779
SP	Pracinha	3.971
SP	Praia Grande	319.146
SP	Pratânia	5.204
SP	Presidente Alves	4.108
SP	Presidente Bernardes	13.190
SP	Presidente Epitácio	44.006
SP	Presidente Prudente	227.072
SP	Quadra	3.753
SP	Quatá	14.006
SP	Queiroz	3.351
SP	Queluz	13.228
SP	Quintana	6.587
SP	Redenção da Serra	3.863
SP	Regente Feijó	20.124

SP	Registro	56.249
SP	Restinga	7.504
SP	Ribeira	3.351
SP	Ribeirão Branco	16.684
SP	Ribeirão Corrente	4.682
SP	Ribeirão do Sul	4.542
SP	Ribeirão dos Índios	2.227
SP	Ribeirão Grande	7.666
SP	Ribeirão Pires	122.607
SP	Rifaina	3.618
SP	Rio Grande da Serra	50.241
SP	Riolândia	12.342
SP	Riversul	5.607
SP	Rosana	17.015
SP	Roseira	10.621
SP	Rubiácea	3.093
SP	Rubinéia	3.125
SP	Sagres	2.435
SP	Salesópolis	17.022
SP	Salmourão	5.262
SP	Saltinho	8.176
SP	Salto de Pirapora	44.972
SP	Sandovalina	4.248
SP	Santa Albertina	5.993
SP	Santa Branca	14.717
SP	Santa Clara d'Oeste	2.118
SP	Santa Cruz da Esperança	2.124
SP	Santa Cruz do Rio Pardo	47.395
SP	Santa Ernestina	5.611
SP	Santa Isabel	56.792
SP	Santa Mercedes	2.935
SP	Santa Rosa de Viterbo	26.322
SP	Santa Salete	1.539
SP	Santana da Ponte Preta	1.507
SP	Santana de Parnaíba	136.517
SP	Santo Anastácio	20.889
SP	Santo André (SEMASA)	716.109
SP	Santo Antônio do Jardim	5.968
SP	Santo Antônio do Pinhal	6.794
SP	Santo Expedito	3.086
SP	Santópolis do Aguapeí	4.736
SP	Santos	432.957
SP	São Bento do Sapucaí	10.862
SP	São Bernardo do Campo	833.240
SP	São Francisco	2.826
SP	São João da Boa Vista	90.637
SP	São João das Duas Pontes	2.574
SP	São José dos Campos	713.943
SP	São Lourenço da Serra	15.667
SP	São Luís do Paraitinga	10.684
SP	São Manuel	40.781
SP	São Miguel Arcanjo	32.859
SP	São Paulo	12.176.866
SP	São Roque	89.943
SP	São Sebastião	87.596
SP	São Vicente	363.173
SP	Sarapuá	10.177
SP	Sarutaiá	3.646
SP	Sebastianópolis do Sul	3.470
SP	Serra Azul	14.334

	SP	Serra Negra	29.001
	SP	Sete Barras	12.884
	SP	Silveiras	6.264
	SP	Socorro	40.648
	SP	Sud Mennucci	7.708
	SP	Suzano	294.638
	SP	Taboão da Serra	285.570
	SP	Taciba	6.240
	SP	Taguaí	13.569
	SP	Tapiraí	7.850
	SP	Taquarituba	23.180
	SP	Taquarivaí	5.792
	SP	Tarabai	7.395
	SP	Tarumã	14.812
	SP	Tatuí	120.533
	SP	Taubaté	311.854
	SP	Teodoro Sampaio	23.019
	SP	Terra Roxa	9.302
	SP	Timburi	2.663
	SP	Torre de Pedra	2.401
	SP	Torrinha	9.963
	SP	Tremembé	46.642
	SP	Três Fronteiras	5.781
	SP	Tupã	65.477
	SP	Turiúba	2.012
	SP	Turmalina	1.759
	SP	Ubatuba	89.747
	SP	Ubirajara	4.754
	SP	União Paulista	1.823
	SP	Urânia	9.108
	SP	Uru	1.177
	SP	Valentim Gentil	13.115
	SP	Vargem	10.378
	SP	Vargem Grande Paulista	51.702
	SP	Várzea Paulista	120.572
	SP	Vitória Brasil	1.834
	SP	Zacarias	2.684
SANASA	SP	Campinas	1.194.094
	SE	Aracaju	648.939
	SE	Barra dos Coqueiros	29.873
	SE	Brejo Grande	8.264
	SE	Canindé do S. Francisco	29.430
	SE	Estância	68.804
DESO-SE	SE	Lagarto	103.576
	SE	Nossa Senhora das Dores	26.460
	SE	Nossa Senhora do Socorro	181.503
	SE	Propriá	29.559
	SE	S. Cristóvão	89.027
	SE	Simão Dias	40.486
	RR	Alto Alegre	15.638
	RR	Amajari	12.394
	RR	Boa Vista	375.374
	RR	Bonfim	12.257
	RR	Cantá	17.868
CAERR	RR	Caracaraí	21.564
	RR	Caroebe	9.950
	RR	Iracema	11.600
	RR	Mucajaí	17.528
	RR	Normandia	11.045
	RR	Pacaraima	15.580

	RR	Rorainópolis	29.533
	RR	São João da Baliza	8.052
	RR	São Luiz	7.860
	RR	Uiramutã	10.325
CEDAE	RJ	Belford Roxo	508.614
	RJ	Cordeiro	21.806
	RJ	Duas Barras	11.454
	RJ	Duque de Caxias	914.383
	RJ	Itaboraí	238.695
	RJ	Itaguaí	125.913
	RJ	Italva	15.113
	RJ	Itaperuna	102.626
	RJ	Laje do Muriaé	7.386
	RJ	Macuco	5.574
	RJ	Magé	243.657
	RJ	Mangaratiba	43.689
	RJ	Maricá	157.789
	RJ	Mesquita	175.620
	RJ	Nilópolis	162.269
	RJ	Nova Iguaçu	818.875
	RJ	Paracambi	51.815
	RJ	Piraí	28.999
	RJ	Queimados	149.265
	RJ	Quissamã	24.246
	RJ	Rio de Janeiro	0
	RJ	São Francisco de Itabapoana	42.201
	RJ	São Gonçalo	1.077.687
	RJ	São João da Barra	36.138
	RJ	Saquarema	87.704
	RJ	Seropédica	86.743
	RJ	Tanguá	33.870
	RJ	Teresópolis	180.886
	RJ	Valença	76.163
CAERN	RN	Acari	11.152
	RN	Afonso Bezerra	11.041
	RN	Alto do Rodrigues	14.326
	RN	Antônio Martins	7.137
	RN	Caiçara do Rio do Vento	3.652
	RN	Caicó	67.554
	RN	Campo Redondo	11.142
	RN	Carnaubais	10.651
	RN	Cerro Corá	11.178
	RN	Currais Novos	44.664
	RN	Espírito Santo	10.527
	RN	Extremoz	28.222
	RN	Florânia	9.121
	RN	Goianinha	25.980
	RN	Jardim Piranhas	14.730
	RN	João Câmara	34.747
	RN	José da Penha	5.957
	RN	Jucurutu	18.274
	RN	Lagoa Nova	15.477
	RN	Lajes	11.208
	RN	Lajes Pintadas	4.755
	RN	Lucrecia	3.966
	RN	Macaíba	79.743
	RN	Macau	31.584
	RN	Monte Alegre	22.239
	RN	Mossoró	294.076
	RN	Natal	877.640

	RN	Nova Cruz	37.233
	RN	Parelhas	21.408
	RN	Parnamirim	255.793
	RN	Pau dos Ferros	30.183
	RN	Pedro Avelino	6.780
	RN	Pedro Velho	14.767
	RN	Pendências	14.984
	RN	Riachuelo	8.034
	RN	S. Bento do Trairi	4.401
	RN	S. Gonçalo do Amarante	101.102
	RN	S. José de Mipibu	43.640
	RN	S. José do Seridó	4.602
	RN	S. Paulo do Potengi	17.436
	RN	S. Rafael	8.212
	RN	S. Tomé	11.057
	RN	Santana do Seridó	2.670
	RN	Sto. Antônio	23.988
	RN	Tibau do Sul	13.916
	<hr/>		
	SP	Sorocaba	671.186
	<hr/>		
	RS	Aceguá	4.858
	RS	Água Santa	3.753
	RS	Agudo	16.524
	RS	Ajuricaba	7.063
	RS	Alecrim	6.077
	RS	Alegrete	74.173
	RS	Alpestre	6.458
	RS	Alto Alegre	1.663
	RS	Alvorada	209.213
	RS	Ametista do Sul	7.416
	RS	Antônio Prado	13.055
	RS	Aratiba	6.283
	RS	Arroio do Meio	20.637
	RS	Arroio do Sal	9.842
	RS	Arroio do Tigre	13.332
	RS	Arroio dos Ratos	14.123
	RS	Arroio Grande	18.351
	RS	Arvorezinha	10.425
	RS	Áurea	3.573
	RS	Balneário Pinhal	13.760
	RS	Barão	6.139
	RS	Barão de Cotegipe	6.627
	RS	Barra do Guarita	3.238
	RS	Barra do Quaraí	4.202
	RS	Barra do Ribeiro	13.423
	RS	Barracão	5.295
	RS	Barros Cassal	11.216
	RS	Bento Gonçalves	119.049
	RS	Boa Vista do Buricá	6.712
	RS	Bom Jesus	11.391
	RS	Bom Progresso	1.987
	RS	Bom Retiro do Sul	12.265
	RS	Boqueirão do Leão	7.726
	RS	Bossoroca	6.356
	RS	Braga	3.397
	RS	Butiá	20.929
	RS	Caçapava do Sul	33.702
	RS	Cacequi	12.705
	RS	Cachoeira do Sul	82.547
	RS	Cachoeirinha	129.307
	RS	Cacique Doble	5.055

CORSAN

RS	Caibaté	4.856
RS	Caiçara	4.788
RS	Camaquã	66.034
RS	Cambará do Sul	6.456
RS	Campestre da Serra	3.380
RS	Campinas do Sul	5.471
RS	Campo Bom	66.156
RS	Campo Novo	4.596
RS	Campos Borges	3.345
RS	Candelária	31.306
RS	Cândido Godói	6.246
RS	Canela	44.489
RS	Canoas	344.957
RS	Capão da Canoa	52.004
RS	Capão do Leão	25.297
RS	Capela de Santana	11.810
RS	Capivari do Sul	4.589
RS	Carazinho	61.949
RS	Carlos Barbosa	29.409
RS	Casca	9.010
RS	Caseiros	3.189
RS	Catuípe	8.851
RS	Cerrito	6.136
RS	Cerro Grande do Sul	12.058
RS	Cerro Largo	14.074
RS	Chapada	9.300
RS	Charqueadas	40.301
RS	Chiapetta	3.794
RS	Chuí	6.635
RS	Cidreira	15.912
RS	Ciríaco	4.775
RS	Colorado	3.221
RS	Condor	6.746
RS	Constantina	9.915
RS	Coronel Bicaco	7.385
RS	Cotiporã	3.868
RS	Crissiumal	13.544
RS	Cristal	7.950
RS	Cruz Alta	60.693
RS	Cruzeiro do Sul	12.290
RS	David Canabarro	4.744
RS	Derrubadas	2.852
RS	Dilermando de Aguiar	3.026
RS	Dois Irmãos	32.205
RS	Dom Feliciano	15.338
RS	Dom Pedrito	38.589
RS	Dona Francisca	3.086
RS	Doutor Maurício Cardoso	4.639
RS	Eldorado do Sul	40.643
RS	Encantado	22.520
RS	Encruzilhada do Sul	25.791
RS	Entre Rios do Sul	2.829
RS	Entre-Ijuís	8.542
RS	Erebango	2.995
RS	Erechim	105.059
RS	Erval Grande	4.902
RS	Erval Seco	7.040
RS	Esmeralda	3.277
RS	Espumoso	15.584
RS	Estância Velha	49.345

RS	Esteio	83.121
RS	Estrela	33.820
RS	Fagundes Varela	2.721
RS	Farroupilha	71.570
RS	Faxinal do Soturno	6.690
RS	Faxinalzinho	2.346
RS	Feliz	13.451
RS	Flores da Cunha	30.430
RS	Fontoura Xavier	10.370
RS	Formigueiro	6.715
RS	Fortaleza dos Valos	4.356
RS	Frederico Westphalen	31.120
RS	Garibaldi	34.684
RS	Gaurama	5.580
RS	General Câmara	8.409
RS	Getúlio Vargas	16.240
RS	Giruá	16.151
RS	Glorinha	7.988
RS	Gramado	35.875
RS	Gravataí	279.398
RS	Guaíba	98.043
RS	Guaporé	25.475
RS	Guarani das Missões	7.614
RS	Herval	6.828
RS	Horizontina	19.267
RS	Humaitá	4.788
RS	Ibiaçá	4.719
RS	Ibiraiaras	7.338
RS	Ibirubá	20.284
RS	Igrejinha	36.450
RS	Ijuí	83.173
RS	Ilópolis	4.091
RS	Imbé	22.309
RS	Independência	6.228
RS	Inhacorá	2.235
RS	Ipê	6.588
RS	Iraí	7.344
RS	Itapuca	2.125
RS	Itaqui	37.757
RS	Itatiba do Sul	3.420
RS	Ivorá	1.940
RS	Jaboticaba	3.848
RS	Jacutinga	3.576
RS	Jaguarão	26.869
RS	Jaguari	10.937
RS	Jaquirana	3.773
RS	Júlio de Castilhos	19.364
RS	Lagoa Bonita do Sul	2.884
RS	Lagoa Vermelha	27.834
RS	Lagoão	6.442
RS	Lajeado	82.951
RS	Lavras do Sul	7.516
RS	Maçambará	4.613
RS	Machadinho	5.464
RS	Manoel Viana	7.291
RS	Marau	43.435
RS	Marcelino Ramos	4.488
RS	Mariano Moro	2.054
RS	Maximiliano de Almeida	4.443
RS	Miraguaí	4.824

RS	Montenegro	64.788
RS	Morro Reuter	6.344
RS	Mostardas	12.760
RS	Muitos Capões	3.151
RS	Não-Me-Toque	17.484
RS	Nonoai	11.760
RS	Nova Bassano	9.824
RS	Nova Esperança do Sul	5.292
RS	Nova Palma	6.508
RS	Nova Petrópolis	21.156
RS	Nova Prata	26.849
RS	Nova Roma do Sul	3.661
RS	Nova Santa Rita	28.670
RS	Osório	45.557
RS	Paim Filho	3.880
RS	Palmares do Sul	11.306
RS	Palmeira das Missões	33.481
RS	Palmitinho	7.058
RS	Panambi	43.170
RS	Pantano Grande	9.269
RS	Paraí	7.585
RS	Parobé	57.660
RS	Passa Sete	5.656
RS	Passo Fundo	201.767
RS	Paverama	8.459
RS	Pedras Altas	2.010
RS	Pedro Osório	7.755
RS	Pejuçara	3.893
RS	Pinheirinho do Vale	4.842
RS	Pinheiro Machado	12.351
RS	Pinto Bandeira	2.968
RS	Planalto	10.152
RS	Portão	36.510
RS	Porto Lucena	4.765
RS	Porto Xavier	10.301
RS	Putinga	3.951
RS	Quaraí	22.771
RS	Redentora	11.527
RS	Restinga Sêca	15.836
RS	Rio Grande	210.005
RS	Rio Pardo	38.284
RS	Riozinho	4.629
RS	Roca Sales	11.300
RS	Rodeio Bonito	5.867
RS	Rolante	21.199
RS	Ronda Alta	10.583
RS	Rondinha	5.182
RS	Rosário do Sul	39.535
RS	Salvador do Sul	7.705
RS	Sananduva	16.211
RS	Santa Bárbara do Sul	8.099
RS	Santa Cruz do Sul	129.427
RS	Santa Margarida do Sul	2.545
RS	Santa Maria	280.505
RS	Santa Maria do Herval	6.315
RS	Santa Rosa	72.919
RS	Santa Vitória do Palmar	29.877
RS	Santana da Boa Vista	8.130
RS	Santiago	49.493
RS	Santo Ângelo	77.620

RS	Santo Antônio da Patrulha	42.648
RS	Santo Antônio das Missões	10.305
RS	Santo Augusto	13.923
RS	Santo Cristo	14.300
RS	Santo Expedito do Sul	2.343
RS	São Borja	60.557
RS	São Francisco de Assis	18.471
RS	São Francisco de Paula	21.633
RS	São Jerônimo	24.078
RS	São João da Urtiga	4.674
RS	São Jorge	2.757
RS	São José do Herval	2.000
RS	São José do Inhacorá	2.091
RS	São José do Norte	27.410
RS	São José do Ouro	6.945
RS	São José dos Ausentes	3.509
RS	São Lourenço do Sul	43.625
RS	São Luiz Gonzaga	33.668
RS	São Marcos	21.449
RS	São Martinho	5.474
RS	São Miguel das Missões	7.663
RS	São Nicolau	5.325
RS	São Pedro da Serra	3.758
RS	São Pedro do Sul	16.250
RS	São Sebastião do Caí	25.467
RS	São Sepé	23.690
RS	São Valentim	3.341
RS	São Vicente do Sul	8.710
RS	Sapiranga	81.198
RS	Sapucaia do Sul	140.311
RS	Sarandi	24.205
RS	Seberi	10.788
RS	Sede Nova	2.924
RS	Selbach	5.093
RS	Serafina Corrêa	17.198
RS	Sertão	5.519
RS	Sertão Santana	6.433
RS	Severiano de Almeida	3.685
RS	Silveira Martins	2.394
RS	Sobradinho	14.927
RS	Soledade	30.967
RS	Tapejara	23.651
RS	Tapera	10.593
RS	Tapes	17.266
RS	Taquara	57.292
RS	Taquari	26.838
RS	Taquaruçu do Sul	3.068
RS	Tavares	5.479
RS	Tenente Portela	13.538
RS	Terra de Areia	11.088
RS	Tiradentes do Sul	5.796
RS	Torres	38.386
RS	Tramandaí	50.760
RS	Três Cachoeiras	10.989
RS	Três Coroas	27.837
RS	Três de Maio	23.938
RS	Três Passos	23.963
RS	Trindade do Sul	5.813
RS	Triunfo	29.207
RS	Tucunduva	5.713

	RS	Tupanciretã	23.824
	RS	Tuparendi	7.980
	RS	Vacaria	65.846
	RS	Venâncio Aires	71.117
	RS	Veranópolis	25.936
	RS	Viadutos	4.825
	RS	Viamão	254.101
	RS	Vicente Dutra	4.745
	RS	Victor Graeff	2.904
	RS	Vila Flores	3.374
	RS	Vista Alegre	2.766
	RS	Vista Gaúcha	2.847
	RS	Xangri-lá	16.025
CESAN	ES	Afonso Claudio	30.720
	ES	Anchieta	28.736
	ES	Barra de São Francisco	44.315
	ES	Bom Jesus do Norte	9.910
	ES	Cariacica	378.603
	ES	Castelo	37.317
	ES	Conceição da Barra	30.849
	ES	Domingos Martins	33.711
	ES	Ecoporanga	23.014
	ES	Guarapari	122.982
	ES	Laranja da Terra	10.961
	ES	Mantenópolis	15.194
	ES	Montanha	18.770
	ES	Mucurici	5.552
	ES	Muniz Freire	17.613
	ES	Nova Venécia	49.780
	ES	Pedro Canário	25.982
	ES	Piúma	21.363
	ES	Ponto Belo	7.784
	ES	Santa Maria de Jetibá	39.849
	ES	Santa Teresa	23.392
	ES	São Gabriel da Palha	37.361
	ES	Serra	507.598
	ES	Venda Nova Imigrante	24.800
	ES	Viana	76.954
	ES	Vila Velha	486.208
	ES	Vitória	358.267
CAERD	RO	Porto Velho	519.531
Zona Oeste	RJ	Rio de Janeiro	1.700.000
COMPESA	PE	Abreu e Lima	99.622
	PE	Afogados da Ingazeira	37.111
	PE	Arcoverde	73.844
	PE	Barreiros	42.552
	PE	Cabo de Santo Agostinho	205.112
	PE	Camaragibe	156.736
	PE	Caruaru	356.872
	PE	Dormentes	18.734
	PE	Garanhuns	138.983
	PE	Gravatá	83.437
	PE	Igarassu	115.640
	PE	Ipojuca	94.709
	PE	Ipubi	30.512
	PE	Jaboatão dos Guararapes	697.636
	PE	Lagoa Grande	25.349
	PE	Moreno	62.263
	PE	Nazaré da Mata	32.366
	PE	Olinda	391.835

	PE	Parnamirim	21.914
	PE	Paulista	329.117
	PE	Petrolina	343.865
	PE	Recife	0
	PE	Rio Formoso	23.440
	PE	Salgueiro	60.604
	PE	São Lourenço da Mata	112.362
	PE	Sirinhaém	45.359
	PE	Surubim	64.520
	PE	Tacaimbó	12.890
	PE	Tamandaré	23.149
	PE	Venturosa	18.298
	PE	Vitória de Santo Antão	137.915
CAEMA	MA	Barreirinhas	61.828
	MA	Chapadinha	79.145
	MA	Coroatá	65.044
	MA	Imperatriz	258.016
	MA	Itapecuru-mirim	67.673
	MA	Pinheiro	82.990
	MA	São Luís	1.094.667
	MA	Tutóia	58.311
SAMAE	RS	Caxias do Sul	504.069
SANEP	RS	Pelotas	341.648
DMAE	RS	Porto Alegre	1.479.101
SAAE SCarlos	SP	São Carlos	249.415
COSANPA	PA	Ananindeua	525.566
	PA	Belém	1.485.732
	PA	Marabá	275.086
	PA	Marituba	129.321
	PA	Santarém	302.667
DAE Bauru	SP	Bauru	374.272
CASAN	SC	Araquari	36.710
	SC	Braço do Norte	33.016
	SC	Canoinhas	54.319
	SC	Catanduvas	10.735
	SC	Chapecó	216.654
	SC	Concórdia	74.106
	SC	Criciúma	213.023
	SC	Dionísio Cerqueira	15.450
	SC	Florianópolis	492.977
	SC	Forquilha	26.368
	SC	Içara	55.581
	SC	Indaial	67.923
	SC	Itá	6.209
	SC	Ituporanga	24.812
	SC	Laguna	45.500
	SC	Otacílio Costa	18.510
	SC	Rancho Queimado	2.868
	SC	Santo Amaro da Imperatriz	22.905
	SC	São Joaquim	26.763
	SC	São José	242.927
	SC	Treze Tílias	7.687
	SC	Turvo	12.806
ATS	TO	Angico	3.417
	TO	Aragominas	5.786
	TO	Araguacema	7.016
	TO	Aurora do Tocantins	3.731
	TO	Bandeirantes do Tocantins	3.512
	TO	Barra do Ouro	4.549
	TO	Bernardo Sayão	4.469

TO	Brasilândia do Tocantins	2.191
TO	Brejinho de Nazaré	5.475
TO	Cariri do Tocantins	4.321
TO	Carmolândia	2.556
TO	Caseara	5.295
TO	Centenário	2.874
TO	Conceição do Tocantins	4.124
TO	Couto Magalhães	5.536
TO	Crixás do Tocantins	1.708
TO	Dois Irmãos do Tocantins	7.211
TO	Dueré	4.687
TO	Esperantina	10.851
TO	Fátima	3.841
TO	Ipueiras	1.977
TO	Itaporã do Tocantins	2.435
TO	Juarina	2.202
TO	Lagoa do Tocantins	4.237
TO	Lajeado	3.101
TO	Lizarda	3.748
TO	Luzinópolis	3.060
TO	Marianópolis do Tocantins	5.094
TO	Maurilândia do Tocantins	3.403
TO	Monte Santo do Tocantins	2.263
TO	Muricilândia	3.514
TO	Nova Rosalândia	4.215
TO	Novo Acordo	4.287
TO	Novo Jardim	2.698
TO	Palmeirante	5.919
TO	Pau D'Arco	4.831
TO	Pindorama do Tocantins	4.464
TO	Piraquê	3.023
TO	Presidente Kennedy	3.692
TO	Pugmil	2.659
TO	Recursolândia	4.244
TO	Riachinho	4.604
TO	Rio dos Bois	2.811
TO	Sampaio	4.627
TO	Sandolândia	3.378
TO	Santa Tereza do Tocantins	2.834
TO	Santa Terezinha do Tocantins	2.528
TO	São Bento do Tocantins	5.256
TO	São Félix do Tocantins	1.572
TO	São Salvador do Tocantins	3.070
TO	São Valério	4.017
TO	Sucupira	1.946
TO	Taipas do Tocantins	2.131
TO	Tocantínia	7.471
TO	Tupirama	1.860
TO	Tupiratis	2.613

Fonte: elaboração própria com dados coletados na pesquisa e dados adaptados de IBGE (2018). Municípios com zero população já foram computados para outra companhia.

O resumo e a totalização dos dados colhidos nas companhias responsáveis por tratamento de esgoto estão dispostos na **Tabela A2**.

Tabela A2: Totalização das empresas que responderam à pesquisa.

N.º	Organização	UFs	Municípios	População	Tipo	Competência
1	SABESP	1	371	30.443.432	economia mista	estadual
2	BRK	12	79	14.405.558	privada	
3	SANEPAR	2	346	10.576.697	economia mista	estadual
4	COPASA	1	307	9.659.348	economia mista	estadual
5	EMBASA	1	103	8.643.333	economia mista	estadual
6	CORSAN	1	294	7.292.663	economia mista	estadual
7	AEGEA	10	46	6.696.408	privada	
8	CAGECE	1	73	5.997.684	economia mista	estadual
9	CEDAE	1	29	5.429.180	economia mista	estadual
10	SANEAGO	1	84	4.483.157	economia mista	estadual
11	COMPESA	1	31	3.856.746	economia mista	estadual
12	CAESB	1	31	2.974.703	economia mista	estadual
13	GS INIMA	2	8	2.806.905	privada	
14	COSANPA	1	5	2.718.372	economia mista	estadual
15	CESAN	1	27	2.467.585	economia mista	estadual
16	CAERN	1	45	2.300.949	economia mista	estadual
17	IGUÁ	4	20	2.268.337	privada	
18	CAGEPA	1	26	2.218.820	economia mista	estadual
19	CAEMA	1	8	1.767.674	economia mista	estadual
20	SANESUL	1	68	1.728.454	economia mista	estadual
21	CASAN	1	22	1.707.849	economia mista	estadual
22	Zona Oeste	1	1	1.700.000	privada	
23	DMAE	1	1	1.479.101	autarquia	municipal
24	DESO-SE	1	11	1.255.921	economia mista	estadual
25	SANASA	1	1	1.194.094	economia mista	municipal
26	SAAE Sorocaba	1	1	671.186	autarquia	municipal
27	AJoinville	1	1	583.144	autarquia	municipal
28	CAERR	1	15	576.568	economia mista	estadual
29	CASAL	1	15	535.954	economia mista	estadual
30	CAESA	1	4	534.596	economia mista	estadual
31	CAERD	1	1	519.531	economia mista	estadual
32	SAMAE	1	1	504.069	autarquia	municipal
33	SeMAE	1	1	456.245	autarquia	municipal
34	CSJ Jundiaí	1	1	414.810	autarquia	municipal
35	DAE Bauru	1	1	374.272	autarquia	municipal
36	COSAMA	1	11	359.359	economia mista	estadual
37	SANEP	1	1	341.648	autarquia	municipal
38	SAAE SCarlos	1	1	249.415	autarquia	municipal
39	ATS	1	56	218.934	autarquia	estadual
40	SGSSA	1	1	62.061	privada	

Fonte: elaboração própria.