



Caracterização, Tratamento e  
Gerenciamento de Subprodutos  
de Correntes de Esgotos  
Segregadas e Não Segregadas em  
Empreendimentos Habitacionais

COORDENADOR  
**André Bezerra dos Santos**

**Caracterização, Tratamento e Gerenciamento de Subprodutos de Correntes de Esgotos Segregadas e Não Segregadas em Empreendimentos Habitacionais**

© 2019 André Bezerra dos Santos (ORGANIZADOR)

IMPRESSO NO BRASIL / PRINTED IN BRAZIL  
EFETUADO DEPÓSITO LEGAL NA BIBLIOTECA NACIONAL

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS

PROJETO GRÁFICO E CAPA | Carlos Alberto Alexandre Dantas  
REVISÃO DE TEXTO | Priscila Pesce Lopes de Oliveira

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)  
BIBLIOTECÁRIA: Regina Célia Paiva da Silva – CRB – 1051

---

C257      Caracterização, Tratamento e Gerenciamento de Subprodutos de Correntes de Esgotos Segregadas e Não Segregadas em Empreendimentos Habitacionais / André Bezerra dos Santos; organizador. – Fortaleza: Imprepece, 2019.

812 p.: il. ; 16 cm x 23 cm.

Inclui: Figuras, gráficos e tabelas.

ISBN: 978-85-8126-190-4

1. Rede Nacional de Tratamento de Esgotos. 2. Correntes segregadas e não segregadas. 3. Águas residuárias. 4. Santos, André Bezerra dos. I. Título.

CDD. 628.3

---



RENTED  
Rede Nacional de Tratamento de Esgotos  
Descentralizados

# Caracterização, Tratamento e Gerenciamento de Subprodutos de Correntes de Esgotos Segregadas e Não Segregadas em Empreendimentos Habitacionais

COORDENADOR  
**André Bezerra dos Santos**



Fortaleza | Ceará | 2019

## **REDE COOPERATIVA DE PESQUISAS**

RENTED – Rede Nacional de Tratamento de Esgotos Descentralizados

### **INSTITUIÇÕES PARTICIPANTES**

UFC, UFMG, UFSC, UEPB, UFBA, USP,  
UFAL, UnB, UFPE, UFPA, UFMS e UFES



### **COORDENADORES INSTITUCIONAIS**

André Bezerra dos Santos | UFC  
Cláudio Leite de Souza | UFMG  
Delmira Beatriz Wolff | UFSC  
Flávio Rubens Lapolli | UFSC  
José Tavares de Sousa | UEPB  
Luciano Matos Queiroz | UFBA  
Marcelo Antunes Nolasco | USP  
Marcio Gomes Barboza | UFAL  
Marco Antonio Almeida de Souza | UnB  
Mario Takayuki Kato | UFPE  
Neyson Martins Mendonça | UFPA  
Paula Loureiro Paulo | UFMS  
Ricardo Franci Gonçalves | UFES

### **Instituições Financiadoras**

Financiadora de Estudos e Projetos (Finep) e Conselho Nacional de  
Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq)





## AUTORES EM ORDEM ALFABÉTICA

### **André Bezerra dos Santos** – UFC

Engenheiro Civil, PhD em Environmental Sciences, Wageningen University, Holanda. Professor Associado do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará.

E-mail: andre23@ufc.br

### **Asher Kiperstok** – UFBA

Engenheiro Civil, PhD em Engenharia Química, University of Manchester, Institute of Science and Technology, Reino Unido. Departamento de Engenharia Ambiental da Escola Politécnica da UFBA.

E-mail: asher@ufba.br

### **Carlos Augusto de Lemos Chernicharo** – UFMG

Engenheiro Civil, PhD em Environmental Engineering, University of Newcastle Upon Tyne, Inglaterra. Professor Titular do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG.

E-mail: calemos@desa.ufmg.br

### **Cláudio Leite de Souza** – UFMG

Engenheiro Civil, Doutor em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil. Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG.

E-mail: claudio@desa.ufmg.br

### **Cleverson Vitório Andreoli** – ISAE

Engenheiro Agrônomo, Doutor em Meio Ambiente e Desenvolvimento, Universidade Federal do Paraná, Brasil. Professor no mestrado profissional em Governança e Sustentabilidade do ISAE e Diretor da empresa de consultoria ambiental Andreoli Engenheiros Associados.

E-mail: cleverson@andreoli.eng.br

### **Delmira Beatriz Wolff** – UFSM

Engenheira Sanitarista e Ambiental, Doutora em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil. Professora Associada do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Maria.

E-mail: delmirawolff@hotmail.com

### **Emanuel Manfred Freire Brandt** – UFJF

Químico Industrial, Doutor em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil. Professor Adjunto da Universidade Federal de Juiz de Fora.

E-mail: emanuel.brandt@ufjf.edu.br

**Flávio Rubens Lapolli – UFSC**

Engenheiro Civil, Doutor em Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos-EESC da USP. Professor Titular do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina.

E-mail: f.lapolli@ufsc.br

**Gustavo Rafael Collere Possetti – SANEPAR**

Engenheiro Elétrico, Doutor em Engenharia Elétrica e Informática Industrial, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Brasil. Gerente de assessoria de Pesquisa da SANEPAR.

E-mail: gustavo\_possetti@yahoo.com.br

**Hugo Henrique de Simone Souza – UFMS**

Engenheiro Ambiental, Doutor em Tecnologias Ambientais, UFMS, Brasil. Pesquisador DTI-C, INCT ETEs Sustentáveis.

E-mail: hugohenriquesouza@gmail.com

**Ivete Vasconcelos Lopes Ferreira – UFAL**

Engenheira Civil, Doutora em Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos-EESC da USP, Brasil. Professora Titular do Centro de Tecnologia da UFAL.

E-mail: ilopes@ctec.ufal.br

**José Tavares de Sousa – UEPB**

Engenheiro Químico, Doutor em Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos-EESC da USP, Brasil. Professor Associado do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba.

E-mail: sousajt@cct.uepb.edu.br

**Juliana Cardoso de Moraes – IFPE**

Engenheira Civil. Doutora em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Pernambuco, Brasil. Professora do Instituto Federal de Pernambuco.

E-mail: julianamoraes@recife.ifpe.edu.br

**Karla Patrícia S. O. Rodríguez-Esquerre – UFBA**

Engenheira Química, Doutora em Engenharia Química, UNICAMP, Brasil. Professora Associada do Departamento de Engenharia Química da Escola Politécnica da UFBA.

E-mail: karlaesquerre@ufba.br

**Laila de Oliveira Vaz Oliveira – UFES**

Bióloga, Doutora em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal do Espírito Santo, Pós-doutoranda no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da UFES.

E-mail: laila.vaz@gmail.com

**Luciano Matos Queiroz – UFBA**

Engenheiro Civil, Doutor em Engenharia Civil, Escola Politécnica da USP, Brasil. Professor Associado do Departamento de Engenharia Ambiental da Escola Politécnica da UFBA.

E-mail: lmqueiroz@ufba.br

**Marcelo Antunes Nolasco – USP**

Biólogo, Doutor em Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos-EESC da USP, Brasil. Professor Associado da EACH – Universidade de São Paulo, São Paulo.  
E-mail: mnolasco@usp.br

**Marcio Gomes Barboza – UFAL**

Engenheiro Civil, Doutor em Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos-EESC da USP, Brasil. Professor Associado do Centro de Tecnologia da UFAL. E-mail: mbarboza@ctec.ufal.br

**Marco Antonio Almeida de Souza – UnB**

Engenheiro Químico, PhD em Engenharia Ambiental, University of Birmingham, Inglaterra, Reino Unido. Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos da Universidade de Brasília.  
E-mail: marcantoniosouza@gmail.com

**Marcos Erick Rodrigues da Silva – IFCE**

Engenheiro Civil, Doutor em Engenharia Civil/Saneamento Ambiental, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará, Brasil. Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará.  
E-mail: marcoserick@ifce.edu.br

**Marcos von Sperling – UFMG**

Engenheiro Civil, PhD em Engenharia Ambiental, Imperial College London, Inglaterra. Professor Titular do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG.  
E-mail: marcos@desa.ufmg.br

**Maria Elisa Magri – UFSC**

Engenheira Sanitarista e Ambiental, Doutora em Engenharia Ambiental pela UFSC com estágio de doutorado sanduíche na Swedish University of Agricultural Sciences – SLU, Suécia. Professora Adjunta do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFSC.  
E-mail: maria.magri@ufsc.br

**Mario Takayuki Kato – UFPE**

Engenheiro Civil. PhD em Environmental Sciences pela Wageningen University, Holanda. Professor Titular da Universidade Federal de Pernambuco.  
E-mail: kato@ufpe.br

**Naassom Wagner Sales Morais – UFC**

Engenheiro Ambiental, Mestrando em Engenharia Civil/Saneamento Ambiental pelo Departamento de Engenharia Hidráulica da Universidade Federal do Ceará, Brasil.  
E-mail: naassomw@gmail.com

**Neyson Martins Mendonça – UFPA**

Engenheiro Sanitarista, Doutor em Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos-EESC da USP, Brasil. Professor Associado da Faculdade de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal do Pará.

E-mail: neysonmm@ufpa.br

**Paula Loureiro Paulo – UFMS**

Engenharia Química, PhD em Environmental Sciences pela Wageningen University, Holanda. Professora Associada da Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia da UFMS.

E-mail: paula.paulo@ufms.br

**Ricardo Franci Gonçalves – UFES**

Engenheiro civil, D.Ing. em Ingénierie du Traitement et de l'Épuration des Eaux pelo Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse, Professor Titular da Universidade federal do Espírito Santo.

E-mail: franci@npd.ufes.br

**Roque Passos Piveli – USP**

Engenheiro Civil, Doutor em Engenharia Hidráulica e Sanitária, Escola Politécnica da USP. Professor Titular da Escola Politécnica da USP.

E-mail: rppiveli@usp.br

**Sérgio Francisco de Aquino – UFOP**

Químico, PhD em Engenharia Química, Imperial College London, Inglaterra. Professor Associado da Universidade Federal de Ouro Preto.

E-mail: sergio@iceb.ufop.br

**Simone Bittencourt – SANEPAR**

Engenheira Agrônoma, Doutora em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Universidade Federal do Paraná, Brasil. Profissional da Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR) e professora da Faculdade FAEL.

E-mail: sbittencourt@sanepar.com.br

**Thaís Andrade de Sampaio Lopes – UFBA**

Bacharel em Ciências Biológicas, Mestre em Meio Ambiente, Águas e Saneamento, UFBA, Brasil. Estudante de Doutorado do Centro de Energia e Ambiente da UFBA. E-mail: thaistlopes84@yahoo.com.br

**Thiago Bressani Ribeiro – UFMG**

Engenheiro Ambiental, Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil. Doutorando no Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da UFMG.

E-mail: thiago.bressani@hotmail.com

**Thiago Keller Franci – UFES**

Administrador, Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável da Universidade Federal do Espírito. Diretor financeiro da empresa Fluxo Máquinas e Equipamentos Ltda. EPP.

E-mail: [thiago@fluxoambiental.com.br](mailto:thiago@fluxoambiental.com.br)

**Valderi Duarte Leite – UEPB**

Engenheiro Químico, Doutor em Engenharia Civil, Escola Politécnica da USP, Brasil. Professor Associado do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba.

E-mail: [mangabeiraleite@gmail.com](mailto:mangabeiraleite@gmail.com)



## EQUIPES DOS PROJETOS DE PESQUISA

### Universidade Federal do Ceará (UFC)

André Bezerra dos Santos	Coordenador-Geral
Amanda Maria Meneses Dutra	Bolsista PIBIC
Ana Paula Sobrinho da Silva	Bolsista DTI-C
Anderson Barbosa Araújo	Estudante de Graduação
Alexandre Colzi Lopes	Pesquisador
Antonio Lima Farias Filho	Bolsista DTI-C
Carla Bastos Vidal	Estudante de Doutorado
Carla Jamile Sobreira de Oliveira	Estudante de Mestrado
Daniel David de Lima	Bolsista DTI-C
David Nogueira Melo	Bolsista ITI-A
Elisa Maria Rodríguez-Rodríguez	Pesquisador
Gabriel Alfredo Garcia Neto	Bolsista PIBIC
Germana Paiva Pessoa	Bolsista DTI-B
Gervina Brady Moreira Holanda	Bolsista DTI-C
Ivna Fernanda Viana Segundo	Bolsista ITI-A
Jade Müller Carneiro	Bolsista PIBIC
Jéssyca de Freitas Lima	Estudante de Doutorado
Joana Angélica Correia Alves	Estudante de Graduação
José Gilmar da Silva do Nascimento	Estudante de Doutorado
Livia Maria Galdino Pereira	Bolsista DTI-C
Márcia Rodrigues de Sousa	Estudante de Doutorado
Marina Santiago Maciel	Bolsista ITI-A
Marcos Erick Rodrigues da Silva	Pesquisador
Patrícia Gadelha de Castro Landim	Pesquisadora
Patrícia Marques Carneiro Buarque	Estudante de Doutorado
Paulo Igor Milen Firmino	Pesquisador
Rafael Ataíde da Silva	Estudante de Graduação
Ricardo Bruno Pinheiro de Lima	Bolsista ITI-A
Ronaldo Ferreira do Nascimento	Pesquisador
Thais Gadelha Carvalho	Bolsista ITI-A

### Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)

Carlos Augusto de L. Chernicharo	Coordenador
Cláudio Leite de Souza	Subcoordenador
Aracele Vieira Santos	Estudante de Doutorado
Belinazir Costa Do Espirito Santo	Estudante de Mestrado
Amanda N M de Carvalho	Bolsista ITI-A
Bárbara Batista Dos Santos	Bolsista ITI-A
Bernardo Ornelas Ferreira	Bolsista DTI-C

Carla Vieira Serufo	Bolsista ATP-B
Carlos Andrés Díaz Flórez	Estudante de Mestrado
Cecília Moreira de Barros	Bolsista ITI-A
Cristiane de Almeida Barbosa	Bolsista ATP-B
Débora Faria Silva	Bolsista ITI-A
Emanuel Manfred Freire Brandt	Estudante de Doutorado
Erika Ferreira A. Mac Connel	Estudante de Doutorado
Flávia Oliveira Perucci	Bolsista ITI-A
Gabriel Rodrigues Vasconcellos	Bolsista DTI-C
Gabriel Tadeu de Oliveira Freitas	Bolsista DTI-C
Iacy Maria Pereira de Castro	Estudante de Mestrado
Ítalo Cordeiro e Lellis	Bolsista ATP-B
Jocilene Ferreira da Costa	Estudante de Doutorado
Karoline Elis Lopes Martins	Bolsista ITI-A
Kátia Gonçalves Gutierrez	Estudante de Doutorado
Lara Ghiotto Mendes	Bolsista ITI-A
Lucas Martins Machado	Estudante de Mestrado
Luciana Prado Leite Praça	Bolsista ITI-A
Luciano Albuquerque R Junior	Bolsista IC
Paulo Gustavo S. de Almeida	Estudante de Doutorado
Poliana S. G. de Sousa	Bolsista ITI-A
Priscila da Costa	Bolsista ITI-A
Priscila E. da Silva de Oliveira	Bolsista DTI-C
Priscila Vieira Oliveira e Silva	Bolsista ITI-A
Priscilla Natalie Pereira Neves	Bolsista ITI-A
Ramon Danilo de Souza	Bolsista ITI-A
Roberto Meireles Gloria	Estudante de Doutorado
Sara Espeschit Ajudarte	Bolsista ATP-B
Taciano A. S. Wanderley	Bolsista ATP-B
Thiago Bressani Ribeiro	Estudante de Mestrado
Tomás Miranda Motta	Bolsista DTI-C
Vanessa Rodrigues de Melo	Bolsista ATP-B
Weber Luiz Pinto Martins	Bolsista ATP-B

## Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)

Delmira Beatriz Wolff	Coordenadora
Arci Dirceu Wastowsk	Colaborador
Desirê Armboost Alves	Estudante de Mestrado
Gabriel de Menezes Trevisan	Estudante de Mestrado
Ronaldo Kanopf de Araújo	Estudante de Doutorado
Samara Terezinha Decezaro	Estudante de Doutorado
Rolando Jose Manuel Gonzalez Ramirez	Estudante de Mestrado
Pablo Heleno Sezerino (professor colaborador UFSC)	Pesquisador

## Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

Flávio Rubens Lapolli	Coordenador
Ana Beatriz Bastos Alves	Estudante de Graduação
André Aguiar Battistelli	Estudante de Doutorado
Caroline Rodrigues	Bolsista DTI-B
Chelsea Eichholz Marchi	Estudante de Graduação
Daniele Damaceno Silveira	Pesquisadora
Diego Calza	Estudante de Graduação
Eduardo Henrique Ribeiro	Estudante de Graduação
Emerson Souza	Estudante de Mestrado
Fernanda Caldeira Andrada Poerch	Bolsista DTI-C
Gustavo Hassemer	Bolsista DTI-C
Jaqueline Cremonini	Bolsista ITI-A
Joana Weck André	Bolsista ITI-A
Jossy Karla Brasil Bernardelli	Estudante de Doutorado
Leonardo Dalri Cecato	Estudante de Mestrado
Luiza Jovily Miranda Cruz	Bolsista ITI-A
Maria Ángeles Lobo Recio	Pesquisador
Maria Eliza Nagel Hassemer	Pesquisador
Marina Costa Laus	Bolsista ITI-A
Rayra Emanuely Da Costa	Estudante de Doutorado
Ronaldo Luis Kellner	Estudante Mestrando
Tiago José Belli	Estudante de Doutorado

## Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

José Tavares de Sousa	Coordenador
Andressa Muniz Santos	Estudante de Mestrado
Aldre Jorge Moraes Barros	Pesquisador
Catarina Chagas de Andrade	Estudante de Mestrado
Fabiane Lira Rodrigues	Bolsista DTI-C
Israel Nunes Henrique	Pesquisador
Juliana Marçal da Rocha Paredes	Bolsista DTI-C
Luciana Leôncio Bertino Cabral	Estudante de Doutorado
Maria Luciana Dias de Luna	Estudante de Doutorado
José Lima de Oliveira Júnior	Estudante de Doutorado
Jéssyca de Freitas Lima	Estudante de Mestrado
Jéssica Caroline Freitas Cavalcante	Bolsista ITI-A
Júlia Soares Pereira	Bolsista DTI-C
Rodrigo de Andrade Barbosa	Estudante de Mestrado
Valderi Duarte Leite	Pesquisador
Valquíria Cordeiro da Silva	Bolsista DTI-C
Virgínia da C. Albuquerque	Bolsista DTI-C
Wagner Moreira de Almeida	Bolsista DTI-C
Wilza Silva Lopes	Estudante de Doutorado
Wilton Silva Lopes	Pesquisador

## Universidade Federal da Bahia (UFBA)

Luciano Matos Queiroz	Coordenador
Ana Paula Borges Guimarães	Bolsista ITI-A
Ana Rosa Pinto Guedes	Bolsista DTI-C
Asher Kiperstok	Pesquisador
Bárbara Costa Lima	Bolsista DTI-C
Carlane Oliveira da Silva	Bolsista ITI-A
Daniele Vital Vich	Pesquisadora
Gabriela Mendes Vieira	Bolsista ITI-A
Juliana Cabral Pereira Cavalcanti	Bolsista ITI-A
Karla Patrícia S. O. Rodriguez-Esquerre	Pesquisadora
Luiz Felipe Tavares de Santana	Bolsista DTI-C
Luciana Costa dos Santos	Bolsista ITI-A
Marco Antônio de Almeida Dantas	Bolsista ITI-A
Thaís Andrade de Sampaio Lopes	Bolsista DTI-B
Tiago Rocha Santos	Bolsista ITI-A
Viviana Maria Zanta	Pesquisadora

## Universidade de São Paulo (USP)

Marcelo Antunes Nolasco	Coordenador
Alexandre Antonio Jacob de Mendonça	Estudante de Mestrado
André Lopes Santos	Bolsista ITI-A
Daniele Vital Vich	Bolsista DTI-A
Dayana A. Brito dos Santos	Bolsista DTI-C
Dennis Lai	Bolsista DTI-C
Ervin Sriubas Júnior	Técnico de Laboratório
Gabriel Inácio da Silva Neto	Bolsista ITI-A
Gabriela Ribeiro Lourenço Silva	Bolsista ITI-A
Helisson H. Borsato de Andrade	Estudante de Doutorado
João Guilherme Kimura Moreira	Bolsista ITI-A
Juliana Dália Resende	Estudante de Doutorado
Julio Cano	Bolsista IC-FAPESP
Julio Cesar Costa	Bolsista ITI-A
Kelliton J. Mendonça Francisco	Especialista Laboratório
Leandro Lopez Barbosa	Bolsista ITI-A
Letícia Stevanato Rodrigues	Bolsista PIBIC
Líndon de Souza Guimarães	Técnico Administrativo
Luciano do Valle Monteiro	Bolsista DTI-A
Mariana Cardoso Chrispim	Estudante de Doutorado
Neildes de Souza Santana	Estudante de Doutorado
Renata Colombo	Pesquisador
Roque Passos Piveli	Pesquisador
Sérgio Almeida Pacca	Pesquisador
Vania Rodrigues Lopes	Bolsista DTI-C
Vitor Cano	Estudante de Doutorado

## Universidade Federal de Alagoas (UFAL)

Marcio Gomes Barboza	Coordenador
Bruna da Silva Granja	Bolsista DTI-C
Brunna Mariane Neri Donato Moura	Colaboradora
Caio Cesar Lima de França	Bolsista ATP-A
Diego Narciso Buarque Pereira	Bolsista ITI-A
Elina Wanessa Ribeiro Lopes	Colaboradora PIBIC
Elysson David de Santana Lima	Bolsista DTI-C
Emmanuelle Leite Wanderley	Bolsista DTI-C
Ivete Vasconcelos Lopes Ferreira	Pesquisadora
Ivo Gabriel Guedes Alves	Bolsista PIBIC
Jéssica Kalliny Pereira dos Santos	Bolsista ITI-A
Laura Honório de Oliveira Silva	Colaboradora PIBIC
Marcone C. de Oliveira Lima Filho	Bolsista PIBIC
Maryelli Ludmilla R. da Silva	Bolsista PIBIC
Maurício de Gois Gomes	Colaborador PIBIC
Nareida Simone Delgado da Cruz	Bolsista ITI-A
Olga Eliza Rocha e Silva	Bolsista ITI-A
Raphaella Machado Barbosa	Bolsista PIBIC
Rute Márcia C. de Melo Bezerra	Bolsista PIBIC

## Universidade de Brasília (UnB)

Marco Antonio Almeida de Souza	Coordenador
Antônio Cândido Ribeiro	Técnico de Laboratório
Adriane Dias da Silva	Estudante de Doutorado
Alana Mioranza	Bolsista ITI-A
Anne Relvas Pereira	Estudante de Mestrado
Ariela Araújo Fonseca	Estudante de Mestrado
Ariuska Karla Amorim	Pesquisadora
Carla Simone Vizzotto	Técnica de Laboratório
Demetrios Christofidis	Pesquisador
Édio Damasio	Estudante de Doutorado
Elisa de Castro Souza	Bolsista PIBIC
Felipe Duarte Machado	Técnico em Automação
Felipe Fileni	Bolsista ITI-A
Felipe Musardo Firmino	Bolsista DTI-B
Irioman Francisco Ramos de Souza Jr	Técnico de Laboratório
Jorge Thiago Duarte da Silva Vianna	Estudante de Mestrado
Lucas Achaval Silva	Estudante de Mestrado
Marina de Mendonça Pereira	Bolsista PIBIC
Mauro Roberto Felizatto	Estudante de Doutorado
Norma Mendes Pinheiro Gontijo	Bolsista DTI-C
Paulo Victor Cornélio e Silva	Bolsista ITI-A
Rafael Braga	Estudante de Graduação



Rodolfo Siqueira de Brito	Pesquisador
Sara Kollar	Técnica de Laboratório
Thaís Costa Moreira	Estudante de Graduação
Thallyta Manuela Tosário	Estudante de Mestrado
Yovanka Perez Ginoris	Pesquisadora
Yuseiji Brant Rocha Kudo	Estudante de Graduação

### Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

Mario Takayuki Kato	Coordenador
Armando Dias Duarte	Estudante de Mestrado
Bruno Linhares	Estudante de Mestrado
Danubia Freitas	Técnico de Laboratório
Edjailson Jurandi Celestino	Estudante de Mestrado
Gabriela Valones	Estudante de Doutorado
Gilson Lima da Silva	Pesquisador
Janaína Peres	Estudante de Doutorado
José Andro de Souza	Estudante de Mestrado
Josete Florêncio Santos	Pesquisadora
Juliana Cardoso de Moraes	Pesquisadora
Lourdinha Florêncio	Pesquisadora
Marcus Vinicius Andrade	Estudante de Doutorado
Maria Caroline Carneiro Silva	Estudante de Mestrado
Mariana Nanes	Estudante de Mestrado
Ronaldo Fonseca	Técnico de Laboratório
Sávia Gavazza	Pesquisadora
Wanderli Rogério Leite	Pesquisador

### Universidade Federal do Pará (UFPA)

Neyson Martins Mendonça	Coordenador
André Luiz da Silva Salgado Coelho	Pesquisador
Aurea Martins Gabriel	Bolsista DTI-C
Brenda Gonçalves Piteira Carvalho	Bolsista ITI-A
Bruno José Costa da Cunha	Bolsista ITI-A
Cleyton Eduardo Costa Ferreira	Bolsista ITI-A
Leiliane Cristina Cardoso Araújo	Bolsista DTI-C
Lia Martins Pereira	Estudante de Mestrado
Luciana Otoni de Souza	Estudante de Mestrado
Luiza Carla Girard Teixeira	Pesquisadora
Washington Olegário Vieira	Bolsista ITI-A

## Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS)

Paula Loureiro Paulo	Coordenadora
Adriana Farina Galbiati	Bolsista EXP-B
Aline Garcia	Estudante de Doutorado
Amilcar Machulek Junior	Pesquisador
Anderson Teodoro	Estudante de Doutorado
Carlos Nobuyoshi Ide	Pesquisador
Fernando Silva Bernardes	Estudante de Doutorado
Felipe Ramos Marques	Estudante de Mestrado
Hugo Henrique de Simone Souza	Estudante de Doutorado
Ingrid Moreno Mamedes	Estudante de Mestrado
Jhonatan Barbosa da Silva	Estudante de Doutorado
Karen Midori Takahashi	Bolsista DTI-C
Khoo Yin Teng	Bolsista ITI-A
Larissa de Oliveira Prado	Estudante de Doutorado
Letícia Zen da Silva Caputo	Bolsista DTI-C
Priscila Guenka Scarcelli	Bolsista ITI-A
Marc Árpád Boncz	Pesquisador
Mayara Leite Serejo	Pesquisadora
Willian Ribeiro Ide	Bolsista DTI-C

## Universidade Federal do Espírito Santo (UFES)

Ricardo Franci Gonçalves	Coordenador
Demétrio José Gazzoni Sabino	Bolsista ITI-A
Gabriele Carvalho Bahiense	Bolsista ITI-A
Gisele Gavazza Lamberti	Bolsista DTI-C
Guilherme Souza Jantorno	Bolsista DTI-C
Gustavo Henrique Loureiro Ferreira	Bolsista DTI-C
Jared Firme Leite	Bolsista ITI-A
Letícia Edwrigens Josefe Ferreira	Bolsista DTI-C
Lohane Barcelos Palaoro	Bolsista ITI-A
Luan Nunes de Assis	Bolsista ITI-A
Ludimila Zotele Azeredo	Bolsista DTI-C
Mariana Della Valentina	Bolsista ITI-A
Nelson Agostinho Pereira Lucas	Bolsista ITI-A
Sallis Nazareth dos Santos	Bolsista DTI-C
Thamires Alvim Silva	Bolsista DTI-C

# SUMÁRIO

## **Apresentação - 19**

*André Bezerra dos Santos*

## Capítulo 1

### **Oportunidades e desafios na implementação de estações de tratamento de esgoto descentralizadas - 23**

*Mario Takayuki Kato, Flávio Rubens Lapolli, José Tavares de Sousa, Marcelo Antunes Nolasco, Ricardo Franci Gonçalves e Valderi Duarte Leite*

## Capítulo 2

### **Aspectos quantitativos de correntes de esgotos segregadas e não segregadas - 48**

*Luciano Matos Queiroz, Ivete Vasconcelos Lopes Ferreira, José Tavares de Sousa, Karla Patrícia Oliveira-Esquerre, Marcio Gomes Barboza e Neyson Martins Mendonça*

## Capítulo 3

### **Aspectos qualitativos de correntes de esgotos segregadas e não segregadas - 118**

*Cláudio Leite de Souza, André Bezerra dos Santos, Marcos Erick Rodrigues da Silva e Sérgio Francisco de Aquino*

## Capítulo 4

### **Tecnologias de tratamento de correntes de esgotos não segregadas aplicadas a empreendimentos habitacionais - 219**

*André Bezerra dos Santos, Carlos Augusto de Lemos Chernicharo, Flávio Rubens Lapolli, Marcos von Sperling, Mário Takayuki Kato, Roque Passos Piveli e Thiago Bressani Ribeiro*

## Capítulo 5

### **Tecnologias de tratamento de correntes de esgotos segregadas aplicadas a empreendimentos habitacionais - 392**

*Ricardo Franci Gonçalves, André Bezerra dos Santos, Luciano Matos Queiroz e Thiago Keller Franci*

## Capítulo 6

### **Gerenciamento dos subprodutos sólidos do tratamento de esgotos em empreendimentos habitacionais - 493**

*Neyson Martins Mendonça, Carlos Augusto de Lemos Chernicharo, Cleverson Vitório Andreoli, Lia Martins Pereira e Marco Antonio Almeida de Souza*

## Capítulo 7

### **Subprodutos gasosos do tratamento de esgotos - 573**

*Cláudio Leite de Souza, Carlos Augusto de Lemos Chernicharo, Emanuel Manfred Freire Brandt e Gustavo Rafael Collere Possetti*

## Capítulo 8

### **Aspectos legais e normativos sobre o gerenciamento de água, lodo e emissões gasosas em sistemas descentralizados de coleta e tratamento de esgotos - 664**

*Marco Antonio Almeida de Souza, André Bezerra dos Santos, Delmira Beatriz Wolff, Marcio Gomes Barboza, Naassom Wagner Sales Morais e Simone Bittencourt*

## Capítulo 9

### **Ferramentas de avaliação de sustentabilidade em sistemas de tratamento de esgotos descentralizados - 746**

*Paula Loureiro Paulo, Asher Kiperstok, Hugo Henrique de Simone Souza, Juliana Cardoso de Morais, Laila de Oliveira Vaz Oliveira, Luciano Matos Queiroz, Marcelo Antunes Nolasco, Maria Elisa Magri e Thaís Andrade de Sampaio Lopes*

## Apresentação

A Rede Nacional de Tratamento de Esgotos Descentralizados (RENTED) foi um projeto de pesquisa e desenvolvimento financiado pela Financiadora de Estudos e Projetos (Finep) a partir de recursos oriundos do Edital Chamadas Públicas MCT/Finep/Ação Transversal Saneamento Ambiental e Habitação 06/2010 no valor de R\$ 5.704.961,20, acrescido de R\$ 1.650.480,00 para financiamento de bolsas, as quais foram geridas pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), perfazendo um investimento total de R\$ 7.329.961,20.

A RENTED, iniciada no ano de 2012 e concluída no mês de abril de 2018, foi coordenada pelo Prof. Dr. André Bezerra dos Santos, lotado no Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental (DEHA) da Universidade Federal do Ceará (UFC).

O projeto objetivou o desenvolvimento de sistemas locais e descentralizados de manejo de águas residuárias de origem doméstica, incluindo aspectos de avaliação da sustentabilidade dos sistemas e de gerenciamento de subprodutos líquidos, sólidos e gasosos, sendo dividido em cinco subprojetos integrados, dos quais participaram as 13 instituições, conforme descrito a seguir:

- Subprojeto 1: Gestão da rede, coordenado pelo Prof. Dr. André Bezerra dos Santos (UFC).
- Subprojeto 2: Caracterização de águas residuárias de origem domésticas segregadas ou não segregadas, coordenado pelo Prof. Dr. Luciano Matos Queiroz (UFBA).
- Subprojeto 3: Sistemas de manejo de águas residuárias de origem doméstica em empreendimentos habitacionais, coordenado pelo Prof. Dr. André Bezerra dos Santos (UFC).
- Subprojeto 4: Gerenciamento de subprodutos líquidos, sólidos e gasosos do tratamento de águas residuárias de origem doméstica em empreendimentos habitacionais, coordenado pelo Prof. Dr. Cláudio Leite de Souza (UFMG).

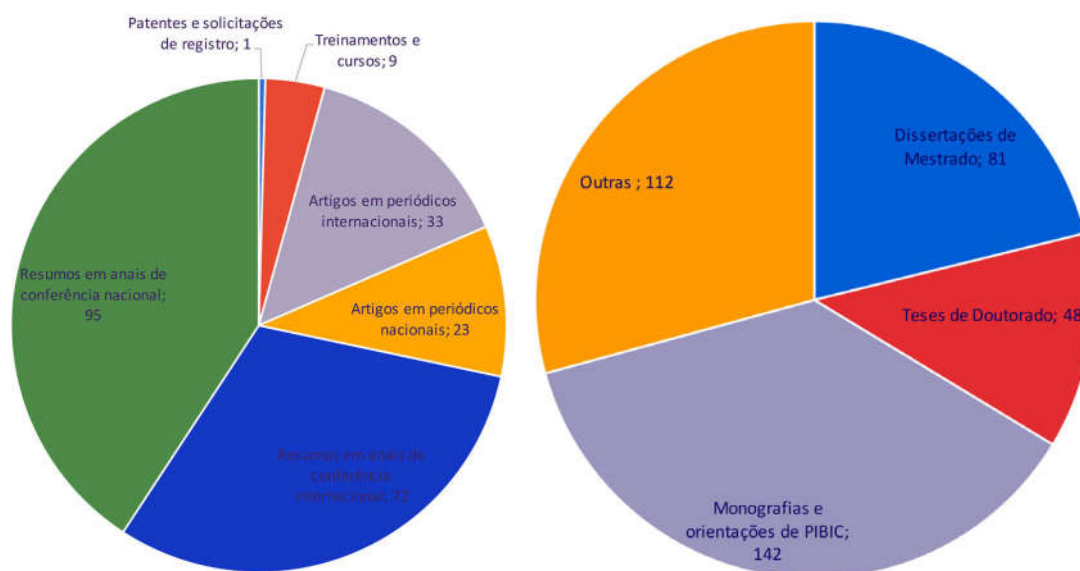


- **Subprojeto 5:** Avaliação da sustentabilidade de sistemas de manejo de águas residuárias de origem doméstica em empreendimentos habitacionais, coordenado pela Profa. Dra. Paula Loureiro Paulo (UFMS).

No âmbito da capacitação de recursos humanos de alto nível, a RENTED promoveu a realização de cursos sobre temas importantes e atuais como: Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) (realizado nas dependências da UFMG em Belo Horizonte/MG), Cromatografia aplicada à detecção de poluentes emergentes e disruptores endócrinos (realizado nas dependências da Universidade Federal de Ouro Preto/MG) e Avaliação Quantitativa de Risco Microbiológico (AQRM) (nos campi da UFMS na cidade de Campo Grande/MS e da UFC em Fortaleza/CE).

A Rede esteve sempre atenta à necessidade de disseminação dos conhecimentos obtidos, sobretudo, visando à transferência dos resultados para o setor produtivo, consultores, estudantes, órgãos financiadores, reguladores e fiscalizadores envolvidos direta ou indiretamente com a gestão, operação e manutenção de sistemas de esgotamento sanitário. Para tanto, promoveram-se, também, quatro Workshops sobre tratamento de esgotos descentralizados em empreendimentos habitacionais, realizados concomitantemente às reuniões de acompanhamento da rede. Os eventos ocorreram nas cidades de Belém/PA, Santa Maria/RS, Vitória/ES e Maceió/AL, envolvendo um público total superior a 400 participantes. Esses fóruns constituíram importante espaço de divulgação das pesquisas da RENTED e discussões atuais sobre temas relacionados à prestação dos serviços de esgotamento sanitário.

Não se pode deixar de destacar a importantíssima contribuição da RENTED para a melhoria da infraestrutura de pesquisa nas várias IES participantes da Rede por meio da aquisição de modernos equipamentos científicos, instalações em escala de laboratório e piloto, além da recuperação de laboratórios. Adicionalmente, atenta-se para as inúmeras publicações científicas e recursos humanos formados a partir dos resultados obtidos, conforme mostrado na Figura a seguir e também divulgados no sítio: [www.rented.ufc.br](http://www.rented.ufc.br).



Este livro resulta da intenção dos integrantes da Rede de apresentar alguns dos resultados alcançados no âmbito da RENTED, mas, principalmente, em gerar uma publicação técnica no formato de um manual prático com foco em sistemas descentralizados de tratamento de esgotos, que possa ser utilizado nas aulas das disciplinas dos cursos de graduação e pós-graduação, assim como, por empresas de consultoria, companhias de saneamento, prefeituras, órgãos governamentais, profissionais do saneamento e engenharia sanitária e ambiental, entre outros.

Buscaram-se incluir assuntos e tópicos consolidados e outros recentemente incorporados ao campo da engenharia sanitária e ambiental como os aspectos quantitativos e qualitativos das correntes segregadas e não segregadas de esgotos, a detecção dos contaminantes de preocupação emergente (CEC), o lodo granular aeróbio (LGA) e os sistemas microaeróbios na área de tratamento de esgotos. Incluíram-se, ainda, algumas ferramentas de sustentabilidade como: a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) e Avaliação Quantitativa de Risco Microbiológico (AQRM). Buscou-se, também, contemplar os avanços em sistemas mais consolidados de tratamento de esgotos como reatores UASB, FBP, lodo ativado, biorreatores com membranas, os *wetlands* construídos, dentre outros.

Por fim, o presente livro é fruto de um trabalho de cooperação de pesquisas na forma de rede, da mesma forma que ocorreu durante mais de dez anos no âm-

bito do Programa Nacional de Pesquisas em Saneamento Básico – PROSAB. Portanto, tais ações devem ser entendidas como prioritárias nas esferas Federal e Estadual, e espera-se que novos programas de pesquisa sejam criados.

*André Bezerra dos Santos*

Capítulo



## Oportunidades e desafios na implementação de estações de tratamento de esgoto descentralizadas

*Mario Takayuki Kato, Flávio Rubens Lapolli, José Tavares de Sousa, Marcelo Antunes Nolasco, Ricardo Franci Gonçalves e Valderi Duarte Leite*

### 1.1 INTRODUÇÃO GERAL

Os processos de centralização e de descentralização de sistemas de esgotos sanitários têm sido mais aplicados às grandes cidades, em função do fenômeno da urbanização que ocorreu em nível nacional e internacional, em especial a partir das décadas de 1960 e 1970. Se até então a distribuição percentual da população entre zona urbana e rural era de respectivamente 20/80, houve uma inversão para 80/20 em muitos países, tanto desenvolvidos quanto em desenvolvimento. Um dos resultados dessa mudança tem sido a tendência de desigualdades em vários setores da vida urbana, particularmente na infraestrutura, aí incluso o binômio habitação-saneamento, com histórico de notório deficit.

Investimentos em empreendimentos habitacionais devem ser considerados como uma das prioridades das políticas urbanas, envolvendo não somente os aspectos econômicos, mas principalmente os sociais. Uma residência ou casa não pode ser vista meramente como um local de abrigo e proteção; conjuntos habitacionais que são comumente construídos para atender a uma parcela significativa da população não podem ser vistos apenas como conjuntos de tijolos e paredes. Os lares e famílias, os principais alvos das políticas habitacionais, devem ser contemplados de forma integrada na comunidade, com equipamentos e meios para lazer, educação e convivência. Ao mesmo tempo, é importante não dissociar o processo de ocupação urbana das questões de conservação da água e minimização do esgoto sanitário. Logo, num mundo urbano moderno, essas necessidades coletivas mínimas devem ser atendidas para se exercer a cidadania.

Desequilíbrios nos serviços e equipamentos urbanos levaram à segregação de grande parte da população. A descentralização e a universalização de serviços básicos de habitação e saneamento vêm sendo defendidas como formas de progresso e melhoria da qualidade de vida, reivindicadas por movimentos sociais e organizados. Assim, considera-se que essa descentralização possa servir como uma estratégia para superar o elevado déficit habitacional e de saneamento básico, desde que acompanhada de medidas paralelas para promover a modernização das políticas e gestão públicas no setor. No caso de saneamento básico, em especial os sistemas de esgotos sanitários, já são utilizados há algum tempo instrumentos como parceria, terceirização e privatização, além das concessões.

Por outro lado, sistemas descentralizados de esgotos significarão também um maior número de estações de tratamento, e a recuperação da qualidade da água tem sido um gargalo perene, mesmo em estações centralizadas. Daí que outro elemento importante seja a tecnologia de tratamento de esgotos, não meramente no aspecto de sua qualidade para disposição final em algum corpo receptor, e sim considerando-os como fontes de água, nutrientes e energia.

Sistemas centralizados estão geralmente associados a regiões metropolitanas ou grandes cidades, com extensa rede coletora e bombeamento para transporte, além de estações de tratamento de esgoto (ETE) de grande porte, as quais frequentemente estão associadas a sistemas convencionais de tratamento, com uso intensivo de energia, geração excessiva de lodo e certas dificuldades operacionais, consideradas mais sofisticadas; portanto, com necessidade de maior aporte de capital para a construção e custos significativos para operação e manutenção. Hoje em dia, as ETE modernas de todos os portes incluem necessariamente a integração das linhas de água, lodo e gases, visando o reaproveitamento e reúso dos produtos e subprodutos.

Sistemas descentralizados estão geralmente associados a sistemas alternativos com custos de implantação e operação reduzidos, menor porte e tratamento de esgoto no próprio local da comunidade servida. Em geral, as redes coletoras têm extensão reduzida e o tratamento é mais simplificado. Até recentemente, os sistemas descentralizados foram a opção preferencial, no caso de regiões metropolitanas, para atender zonas periféricas, habitações subnormais, vilas e conjuntos habitacionais distantes e áreas de baixa renda, ou seja, sistemas isolados, não interligados aos sistemas centralizados de maior porte. No passado,



o tratamento era com o uso de tecnologias simplificadas, como lagoas de estabilização, tanques sépticos, tanques *Imhoff*, tanques sépticos seguidos de filtros anaeróbios e valos de oxidação (VASCONCELOS, 1995). Tais tecnologias foram no passado erroneamente associadas a desempenho baixo ou insatisfatório, quando na maioria das vezes o que acontecia – e acontece ainda hoje, mesmo para sistemas centralizados – era a falta ou a inadequação operacional e de manutenção. O importante não é se as tecnologias de tratamento são convencionais, clássicas ou novas, mas sim se são adequadas à situação e se sua operação e manutenção não são relegadas a segundo plano, e se não há funcionamento irregular dos sistemas, inoperância e paralisação. Deve-se buscar o reúso e reaproveitamento dos produtos do tratamento e todo o sistema de esgotos deverá ter integração com os outros serviços de saneamento básico (água, resíduos sólidos e drenagem); além disso, é essencial fomentar a educação sanitária e ambiental dos usuários.

Hoje, uma das características dos sistemas de esgotos é, primeiramente, evitar coleta e transporte, mas sem tratamento, ou seja, meramente a transferência da poluição. É desejável evitar os excessos de centralização, cujas dificuldades de implantação são: a) necessidade de significativo montante de investimentos indisponíveis e de mão de obra mais especializada; b) escala dos serviços de operação e manutenção; c) alto consumo de energia, pela necessidade de mecanização e automação, manejo de grandes volumes de líquidos, lodo, escumas, areia, resíduos sólidos e gases; e d) menor flexibilidade operacional frente a variações hidráulicas e orgânicas. Por sua vez, excessos de descentralização resultam em microssistemas pulverizados em grande quantidade, distribuídos em enormes centros urbanos e multiplicando os serviços de manejo e gestão. Em ambos os sistemas e independentemente da escala deverá prevalecer a viabilização econômica das obras, com uso de tecnologia para transporte com menos água e tratamento que facilite, simplifique e barateie as operações e os dispositivos para integrar os processos de recuperação do efluente e o reúso da água e dos subprodutos sólidos e gasosos para fins energéticos, hídricos e nutricionais.

Em função do déficit habitacional e de saneamento existente, paralelamente ao crescimento populacional e considerando a necessidade de se otimizar os recursos que não serão abundantes, os sistemas descentralizados poderão voltar a prevalecer, ou ao menos desempenhar papel importante para suprir a de-

manda atual e futura. Este será um desafio a ser enfrentado, mas que oferece oportunidades para o desenvolvimento de tecnologias novas ou adaptadas para a realidade nacional.

A abordagem deste livro apresenta questões relevantes para o uso de sistemas descentralizados de esgotos e discute aspectos importantes relacionados às diversas variáveis que influenciam a seleção, implantação e operação de estações de tratamento voltadas a empreendimentos habitacionais em pequenas comunidades, no interior ou, em especial, em grandes cidades, com unidades de menor porte. Engloba a tecnologia de tratamento disponível, integrada com o manejo de correntes segregadas e não segregadas, gerenciamento dos subprodutos líquidos, sólidos e gasosos gerados, além do uso de ferramentas para avaliar a sustentabilidade de uma ETE com essas características.

## 1.2 DEFICIT HABITACIONAL

O direito à habitação poderá ser considerado como um elemento de produção e reprodução social, relacionado a outros direitos como educação, saúde, transporte público, lazer, emprego e renda, segurança pública e saneamento básico. Estes direitos norteiam os fundamentos de sustentação da dignidade humana e deveriam estar ao alcance de todos os cidadãos brasileiros; contudo, na conjuntura atual estas demandas têm sido atendidas apenas minimamente.

No Brasil, as ocupações irregulares estão presentes em todo território nacional, o que retrata uma das mais cruéis realidades sociais, que é a falta de moradia. O acesso informal à moradia é um dos maiores problemas das últimas décadas, fortemente agravado pela ausência de políticas habitacionais adequadas para atender a população mais carente. O principal agente responsável pela exclusão territorial e degradação ambiental é a segregação espacial, que propicia consolidados problemas sociais e econômicos (FUNES, 2005). A carência de habitação no Brasil pode ser considerada como uma dívida social que se acumula progressivamente e não se constata, até a presente data, qualquer ação substancial que possa frear esta demanda; a população mais carente é a mais prejudicada, respondendo por 92% do deficit habitacional brasileiro. O enfrentamento deste problema está associado diretamente ao compromisso político dos governos em todos os seus níveis e não somente a ações de políticas paliativas e pontuais, com aplicações irrisórias e não sequenciadas de recursos financeiros (HOLZ; MONTEIRO, 2008).

Segundo dados estatísticos do Banco Mundial, constata-se que cerca de 70% das moradias construídas no Brasil são ilegais, denotando que o modelo de produção habitacional se encontra no campo da informalidade. Este descaso conta com a complacência do setor público, haja visto que na legislação brasileira o registro do imóvel é constitutivo de propriedade, valendo ainda a máxima de que “quem não registra não é o dono”. Portanto, esta insegurança jurídica perante a moradia deixa a população residente nestas áreas em estado de vulnerabilidade absoluta. Levando em consideração este quadro social, na Constituição Federal de 1988 foi instituído um capítulo destinado à Política Urbana, procurando regularizar a função social da propriedade no campo da política de habitação social. No que concerne especificamente à Política Urbana, esta foi regulamentada pela Lei Federal nº 10.257/2001, denominada de Estatuto da Cidade, objetivando tornar o direito à moradia mais viável para os milhões de brasileiros moradores de cidades ilegais.

Historicamente, observa-se que a partir da metade do século XX há o crescente processo de urbanização das cidades brasileiras, causado tanto pela industrialização em expansão como pelo êxodo rural, que agravaram os problemas das moradias ilegais (HOLZ; MONTEIRO, 2008). Segundo Osório (2007), no período de 1940-60 a população brasileira passou de 41 milhões para 70 milhões de habitantes e a taxa de urbanização aumentou de 31% para 45%, fazendo crescer os assentamentos ilegais, que avançaram sobre as cidades para dar moradia às pessoas de baixa renda. Pressionado por vários fatores de ordem social, o Governo Federal criou nesse período o Sistema Financeiro de Habitação (SFH), instituído pela Lei Federal nº 4.380/64, que objetivava a dinamização da política de captação de recursos para o financiamento de habitações, utilizando-se dos recursos financeiros aplicados às cadernetas de poupança e dos recursos advindos dos depósitos do Fundo de Garantia por Tempo de Serviço (FGTS).

Para atender à demanda, o Banco Nacional de Habitação (BNH), responsável pela gestão dos recursos financeiros, desmembrou o SFH em duas unidades. Uma era direcionada a financiamento de habitação para as classes média e alta da população, e seus recursos financeiros eram geridos por agentes privados ligados à construção civil. A segunda unidade do SFH objetivava financiar a construção de moradias para a classe de baixa renda e era operada por agências estatais, por meio de Companhias Estaduais e Municipais de Habitação. O ponto de estrangulamento deste modelo de autofinanciamento era a exigência da capacidade de pagamento,

que passou a prejudicar as populações de baixa renda, cujo poder aquisitivo não era capaz de arcar com o financiamento.

Nas décadas de 1980-90, o Brasil foi submetido a fortes crises econômicas e, conseqüentemente, houve intensos arrochos salariais, perdas do poder aquisitivo da classe trabalhadora e correção de reajustes das prestações habitacionais em desacordo com os aumentos salariais, o que gerou acentuada inadimplência. O resultado de todos estes conflitos é que com tal política o SFH beneficiou mais as classes com renda superior a 8 salários mínimos da época. Com o intuito de quantificar o deficit habitacional no País, em 1995 a Fundação João Pinheiro (FJP) desenvolveu uma metodologia baseada em quatro componentes (Quadro 1.1): (1) domicílios precários; (2) coabitação familiar; (3) ônus excessivo com aluguel urbano; e (4) adensamento excessivo de domicílios alugados. Essa metodologia continua a ser utilizada por pesquisadores, sociedade civil e instituições governamentais para estimar o deficit habitacional no País.

**Quadro 1.1** – Metodologia de estimativa de deficit habitacional

<b>Componentes</b>	<b>Definição</b>
Habitações precárias	São considerados: a) os domicílios rústicos: sem paredes de alvenaria ou madeira aparelhadas; b) os domicílios improvisados: locais e imóveis sem fins residenciais e lugares que servem como moradia alternativa; por exemplo, embaixo de pontes e viadutos.
Coabitação familiar	São considerados: a) cômodos alugados, cedidos e próprios: os cômodos são domicílios particulares compostos por um ou mais aposentos localizados em casa de cômodo, cortiço, cabeça de porco e outros; b) famílias conviventes secundárias com intenção de constituir domicílio exclusivo: diz respeito às famílias secundárias que dividem a moradia com a família principal e desejam constituir novo domicílio.
Ônus excessivo com aluguel urbano	Corresponde ao número de famílias urbanas com renda familiar de até três salários mínimos que moram em casa ou apartamento (domicílios urbanos duráveis) e que despendem 30% ou mais de sua renda com aluguel.
Adensamento excessivo de moradores em domicílios alugados	Corresponde aos domicílios alugados com um número médio superior a três moradores por dormitório.

Fonte: FJP (2015)

No Quadro 1.2 estão os dados básicos fornecidos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (2014), Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD), elaborado pela FJP e pelo Centro de Estatística e Informações (CEI).

**Quadro 1.2** – Deficit habitacional expresso em percentual por regiões do Brasil em 2013

Região	Componente			
	Precárias (%)	Coabitação (%)	Ônus (%)	Adensamento (%)
Norte	27	43,2	23,3	6,5
Nordeste	31	33,4	31,8	3,8
Sudeste	4,5	29,3	56,0	10,1
Sul	17,3	32,3	47,3	3,0
Centro-Oeste	8,3	30,7	54,5	6,5
Brasil	17,62	33,78	42,58	5,98

Fonte: PNAD (IBGE, 2014)

No ano de 2003 houve a criação do Ministério das Cidades, que passou a ser o órgão responsável pela Política de Desenvolvimento Urbano e, dentro dela, pela Política Setorial de Habitação. A Política de Habitação inscreve-se dentro da concepção de desenvolvimento urbano integrado, no qual a habitação não se restringe à casa, mas incorpora também o direito à infraestrutura, saneamento ambiental, mobilidade e transporte coletivo, equipamentos e serviços urbanos e sociais, buscando garantir direitos à cidade. Nesse mesmo ano foi realizada a Conferência Nacional das Cidades, da qual resultou a criação do Conselho das Cidades e a aprovação das diretrizes para a nova Política Nacional de Desenvolvimento Urbano. Como resultado de todo este processo nasceu a proposta da nova Política Nacional de Habitação, incorporando em suas linhas gerais o conjunto de recomendações consensuadas no Conselho das Cidades, em especial no Comitê Técnico de Habitação.

Segundo as estimativas da FJP, com base nas informações da PNAD (IBGE, 2014), o deficit total acumulado de unidades novas no Brasil alcançava 7,9 milhões em 2006. A este deficit acumulado deveria ser acrescida a demanda demográfica futura que, segundo projeções realizadas pelo CEDEPLAR/UFMG (2007) e adotadas pelo Plano Nacional de Habitação (PlanHab) do Ministério das Cidades (MCidades) (2006), somaria cerca de 27 milhões de unidades no horizonte temporal até o ano de 2023. Segundo o PlanHab, uma avaliação estratificada da projeção da demanda de moradia no Brasil seria a apresentada na Tabela 1.1.



**Tabela 1.1** – Projeção de demanda futura de unidades habitacionais no Brasil

Período	Nº de unidades
2007 a 2011	8.743.874
2012 a 2015	5.205.857
2016 a 2019	5.858.258
2020 a 2023	7.180.364
2007 a 2023	27.000.000

Fonte: PlanHab (MCidades, 2006)

Numa visão mais ampla, a redução do déficit habitacional possui uma relação direta com a reestruturação do ciclo urbano da água no Brasil. De fato, o consumo de água residencial representa a maior parte do consumo total de água nas áreas urbanas. Na região metropolitana de São Paulo, o consumo de água residencial corresponde a 84,4% do consumo total urbano (incluindo também o consumo de pequenas indústrias). Na cidade de Vitória, a porcentagem desse consumo é bem similar, tendo correspondido a aproximadamente 85% desse total nos anos de 2002 e 2003 (RODRIGUES, 2005). Portanto, é evidente que, do ponto de vista estratégico, atuar no controle da demanda residencial de água é a melhor alternativa para prorrogar o estresse hídrico disseminado em várias regiões brasileiras.

Por outro lado, uma tendência nítida do setor da construção civil habitacional é a construção de edifícios sustentáveis, conceito decorrente da intensificação do debate sobre o desenvolvimento sustentável do planeta. Esta nova geração de edifícios surgiu nos mercados dos países industrializados há cerca de 20 anos, com o propósito de contribuir tanto para a melhoria da qualidade de vida do usuário final quanto para a qualidade do ambiente, sendo pontos de grande importância a conservação de água, a qual abrange o uso racional ou eficiente da água e o uso de fontes alternativas de água.

Para a efetiva redução do consumo de água, são práticas particularmente eficientes a eliminação ou a redução extrema de água potável como meio de transporte para os dejetos humanos e, num segundo momento, a sua substituição por águas menos nobres provenientes, por exemplo, de componentes não sanitários da edificação. Soluções que preservam a quantidade e a qualidade da água passam necessariamente por uma revisão do uso da água nas residências, tendo como meta a redução do consumo de água potável e, concomitantemente,

da produção de águas residuárias. Nesse contexto, as fontes alternativas de água e o reúso de água na escala das residências são opções que despertam o maior interesse, considerando-se a importância deste componente de consumo em áreas densamente urbanizadas. Nesse sentido, os primeiros municípios brasileiros já iniciaram a promulgação de legislação específica, visando regulamentar a prática do uso de fontes alternativas de água em edificações. A Associação Brasileira de Norma Técnicas (ABNT) também vem trabalhando no sentido de publicar duas normas técnicas no ano de 2018, abordando diretrizes e procedimentos para a conservação de águas e o uso de fontes alternativas de água não potável em edificações.

Baseadas nesses conceitos, novas edificações começaram a ser implantadas em 2006 no município de Vitória (ES) aparelhadas com sistemas hidrossanitários capazes de realizar o reúso de águas cinza. Atualmente, inúmeras edificações em várias cidades brasileiras contam com sistemas de aproveitamento de fontes de água não potáveis. Água de chuva, água de condensação e, principalmente, águas cinza são o foco do aproveitamento; no caso desta última, a principal etapa componente do sistema de reúso é a estação de tratamento de águas cinza (ETAC). Por se tratar de um setor com mais recursos e com maior dinamismo do que o setor de saneamento, o setor da construção civil habitacional deve ser encarado como estratégico para a implantação das práticas conservacionistas da água e de controle da poluição nas cidades brasileiras.

### **1.3 ASPECTOS HISTÓRICOS E CONJUNTURAIS DO SANEAMENTO BÁSICO NO BRASIL**

Em um contexto geral, saneamento pode ser conceituado como um conjunto articulado de ações que possa propiciar promoção da saúde e prevenir doenças. As matrizes de sustentação do saneamento básico, voltadas principalmente para o alcance da salubridade ambiental, compreendem o abastecimento de água potável em níveis de padrões já regulamentados; a coleta, o tratamento e a disposição final de águas residuárias; a coleta regular e o tratamento e disposição final dos resíduos sólidos, em especial a dos resíduos sólidos urbanos (RSU); a drenagem urbana das águas pluviais; e o controle de vetores de doenças.

No Brasil, as primeiras iniciativas com relação à implementação de políticas de saneamento básico tiveram início no período colonial, quando surgiram as primeiras cidades brasileiras. Com o surgimento das cidades, houve o desloca-



mento de grande parte da população da zona rural para a zona urbana, o que propiciou uma maior densidade populacional e, conseqüentemente, maior geração de resíduos, o que passou a demandar serviços de infraestrutura na área de saneamento. Em princípio, a infraestrutura de saneamento básico era norteada basicamente pela instalação de chafarizes objetivando a distribuição coletiva, embora ainda precária, de água à população, e pela drenagem de terrenos.

Com a chegada da Corte Portuguesa no Brasil, no início do século XIX, houve paralelamente a abertura dos portos e as cidades brasileiras passaram a ser detentoras de significativa importância econômica e social, em especial para a classe dominante; mesmo assim, a infraestrutura sanitária não acompanhou o crescimento social e econômico. Neste contexto, pode ser constatado que no Rio de Janeiro, à época sede do Império, as precárias unidades sanitárias eram instaladas nos quintais das casas para receber parte dos resíduos produzidos, que eram, porém, em sua grande maioria armazenados em recipientes de recepção até completada a capacidade e só eram esvaziados quando do início da exalação de odores desagradáveis. Alcançado este estágio, estes resíduos eram transportados por escravos e lançados principalmente na Praça da República ou nas praias. Infelizmente, já passados mais de 200 anos, esta prática sanitária ainda continua sendo realizada em grande parte das cidades brasileiras, nos rios e no solo.

O resultado da ausência de infraestrutura sanitária no Rio de Janeiro no período de 1830 a 1851 foi o surgimento de 23 epidemias letais, que em sua maioria foram causadas por doenças de veiculação hídrica. A decisão política tomada pelos gestores de plantão da época foi comercializar a água, que deixou de ser um bem público para ser um bem mercadológico. Foi neste cenário que nasceu pela primeira vez no Brasil uma organização dos serviços de saneamento básico, e logo em seguida as províncias transferiram as concessões destes serviços para empresas estrangeiras. As concessionárias estrangeiras não resolveram os problemas cruciais de saneamento básico das cidades brasileiras, haja vista haver persistido o surgimento cada vez mais acentuado de epidemias de tifo, febre amarela, varíola e peste bubônica, denotando o fracasso total e absoluto dos serviços de concessão de saneamento básico. Foi neste nebuloso cenário que surgiram as campanhas de erradicação das epidemias, organizadas pelos médicos Emílio Ribas, no período de 1862 a 1925, e por Osvaldo Cruz, no período de 1872 a 1917, que consistiam em vacinação da população. Por uma série de

razões, as campanhas de vacinação geraram determinados tipos de conflitos, em particular não sendo aceitas pela população, que considerava excessivo o autoritarismo no processo das campanhas e contra elas se revoltou na denominada Revolta da Vacina.

Frente às constatações da ineficiência dos serviços prestados pelas empresas estrangeiras na área de saneamento, no início do século XX o governo da época estatizou os serviços de saneamento, surgindo então os primeiros projetos direcionados para coleta e transporte de esgotos destinados a locais de tratamento. No ano de 1930 as capitais brasileiras eram detentoras de algum tipo de sistema de distribuição de água e de coleta de esgoto e estes sistemas foram projetados utilizando-se das bases conceituais dos estudos realizados pelo engenheiro Saturnino de Brito.

Com a urbanização do Brasil na década de 1940-50, as principais cidades brasileiras cresceram desenfreadamente, principalmente as da região Sudeste, estrangulando, conseqüentemente, os já caóticos serviços de saneamento básico. Este cenário aconteceu durante o curso de um governo que era assentado politicamente em um estado controlador e que realizou inúmeras alterações no contexto social e econômico, apontando para a construção de um país moderno. A solução encontrada foi comercializar os serviços de saneamento básico, passados para concessão às autarquias.

Na década seguinte, foram instituídas as empresas de serviço de saneamento de economia mista e os serviços de saneamento básico cresceram significativamente, devido à utilização de recursos contratados por empréstimos ao Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID). A partir da década de 1960, foram criados o Banco Nacional da Habitação (BNH), que passou a ser o principal gestor financeiro dos serviços de saneamento, o Fundo Nacional de Financiamento para Abastecimento de Água e o Plano Nacional de Saneamento (PLANASA). Porém, as questões básicas de saneamento não foram resolvidas e os problemas advindos da ausência de saneamento básico em todo o território nacional continuam aumentando.

### **1.3.1 Panorama do saneamento nas últimas décadas**

A partir dos anos 2000 ocorreram alguns avanços, em especial nos aspectos legais e institucionais. Neste sentido pode-se citar a Lei do Saneamento (Lei Federal nº 11.445/07), a criação do MCidades, da Secretaria Nacional de Saneamento

Ambiental (SNSA), formalização de Parcerias Público-Privadas (PPP) e da Agência Nacional das Águas (ANA). Nos últimos anos, foram instituídos o Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB) e o Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB), que reconhecidamente foi um grande programa na vertente do desenvolvimento científico e tecnológico e na formação de recursos humanos no campo da Engenharia Sanitária brasileira, embora extinto posteriormente pelo Governo Federal. A estrutura institucional e jurídica da Gestão dos Recursos Hídricos foi inicialmente estabelecida pela Lei das Águas (Lei Federal nº 9.433), promulgada no ano de 1997. Por outro lado, a estrutura institucional do Saneamento Básico foi estabelecida pela Lei Federal nº 11.445 no ano de 2007 e é denominada lei de Diretrizes Nacionais para o Saneamento Básico (LDNSB). Somente no ano de 2014 foi aprovado o PLANSAB, denotando cabalmente um forte descompasso governamental no que concerne à política de saneamento básico.

Do ponto de vista dos investimentos, é de responsabilidade do MCidades e da SNSA a gestão dos recursos onerosos. Com relação aos recursos do Orçamento Geral da União (OGU), os empenhos são realizados por diversos órgãos do Governo Federal. Para municípios com população superior a 50 mil habitantes ou inseridos em regiões metropolitanas e regiões integradas de desenvolvimento (RIDE), a gestão de recursos onerosos é de responsabilidade do MCidades. Quando se tratar de municípios com população inferior a 50 mil habitantes, áreas de zona rural, população de quilombolas e população vulneráveis a endemias, a responsabilidade pela gestão é da Fundação Nacional de Saúde (FUNASA).

A gestão estadual de saneamento não conta com órgãos formais, ficando esta responsabilidade em geral a cargo das companhias estaduais de saneamento básico (CESBS). Com relação aos municípios, apesar de a Constituição Federal atribuir competência para organizar e prestar direta e indiretamente, ou em regime de concessão ou permissão, os serviços ligados a saneamento de necessidade local, nem sempre estes serviços são prestados. No Brasil, os agentes responsáveis pelo setor de saneamento são organizados basicamente pela Associação Brasileira das Empresas Estaduais de Saneamento (AESBE), Associação Nacional dos Serviços Municipais de Saneamento (ASSEMAE) e a Associação Brasileira das Concessionárias Privadas de Serviços Públicos de Água e Esgoto.

Conforme o Quadro 1.3, a carga orgânica, expressa na forma de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), gerada por dia no Brasil é cerca de 9,1 mil toneladas. Essa elevada carga de DBO lançada diariamente sem o adequado tratamento

causa severos impactos à malha hídrica nacional. Atualmente, cerca de 4,5% dos nossos rios, correspondentes a 83.450 km de extensão, estão com concentração de matéria orgânica, em termos de DBO, superior a 10 mg/L (ANA, 2017), restringindo a possibilidade de uso dessas águas, conforme Resolução CONAMA nº 357/05.

**Quadro 1.3** – Percentual de coleta e tratamento de esgotos, carga orgânica em termos de DBO, por região geográfica do Brasil

Regiões	Percentual de atendimento (%)				Carga orgânica (kg DBO/dia)	
	Coletado e tratado	Coletado e não tratado	Não coletado e não tratado	Solução individual	Gerada	Remanescente
Norte	15,76	3,07	60,64	20,53	684.042	540.633
Nordeste	26,33	10,16	46,76	16,75	2.250.377	1.169.697
Centro-Oeste	48,9	1,36	35,35	14,39	717.329	376.250
Sul	38,18	12,66	21,63	27,53	1.319.336	706.685
Sudeste	47,48	18,37	26,05	8,1	3.334.522	1.745.139
Brasil	43,45	18,20	26,33	12,03	9.144.475	5.533.695

Fonte: PLANSAB (MCidades, 2013); ANA (2017)

Segundo o PNAD (IBGE, 2014), do total dos municípios brasileiros, somente nove são atendidos em sua plenitude (100%) por redes coletoras de esgoto e em onze as redes coletoras de esgoto atendem a 98% dos domicílios, percentual que permite considerar o atendimento de coleta de esgoto como universalizado. No geral, conforme o Quadro 1.3, o indicador médio de coleta de esgoto no Brasil é de aproximadamente 62% e este percentual não tem sofrido alterações significativas ao longo dos últimos anos. No entanto, considerando a solução individual mais o esgoto coletado e tratado, somam-se 55% de esgotos tratados adequadamente. Analisando o desempenho dos serviços de coleta de esgoto por região geográfica do Brasil, pode ser constatado que os melhores indicadores estão situados nas regiões Sul e Sudeste e os piores estão nas regiões Nordeste e Norte; verifica-se mesmo que existem municípios da região Norte com índice de atendimento de 0%, indicando que do volume total de esgoto produzido nada é coletado.

Segundo o PLANSAB (MCIDADES, 2013), os serviços de saneamento básico poderão ser considerados no limite do atendimento adequado quando a população

é atendida em sua plenitude por rede de distribuição de água potável, redes de coleta de esgotos domésticos e o necessário tratamento, serviços regulares e universalizados de coleta, transporte e tratamento de resíduos sólidos, em especial de RSU e de serviços consolidados de drenagem urbana. Por outro lado, o atendimento poderá ser considerado deficitário quando os serviços forem prestados de forma inadequada, quando se tem solução individual precária ou ainda quando não se tem atendimento, seja por falta de oferta de serviço coletivo, seja por ausência de solução individual.

### **1.3.2 Investimento para universalização da coleta e do tratamento de esgotos**

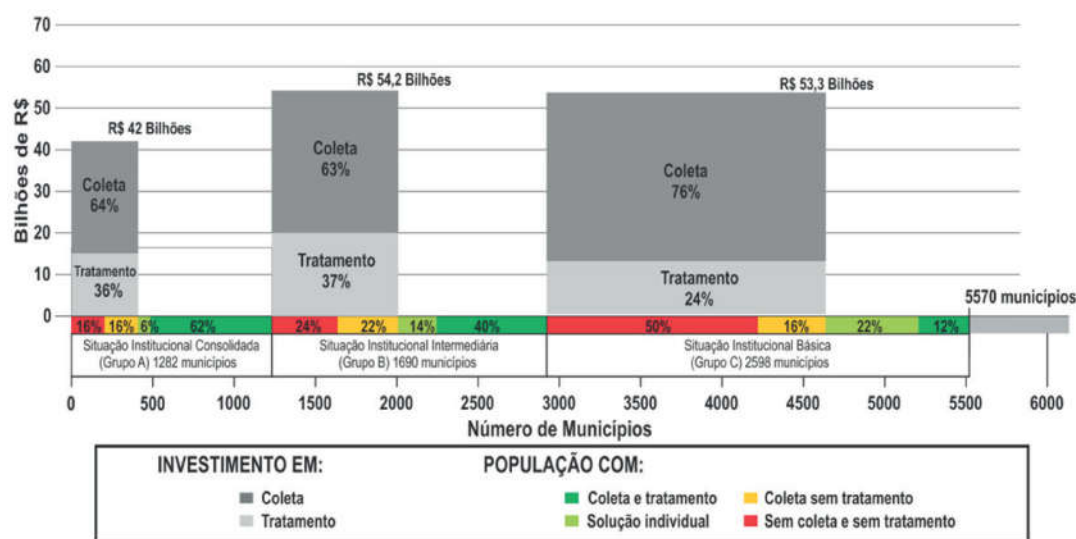
Conforme Figura 1.1, a ANA (2017) agrupou num atlas a situação institucional dos serviços de obras e coleta de esgotos, bem como o seu tratamento, em três categorias:

- Grupo A – Situação Institucional Consolidada. São colocados nesse grupo municípios com serviços de saneamento mais estruturados, com melhores condições técnicas e operacionais. Contempla as maiores cidades brasileiras situadas nos estados de São Paulo, Bahia, Minas Gerais, Paraná e o Distrito Federal. O Grupo A tem 79% de esgoto coletado e trata 62%, no entanto ainda carece de R\$ 42 bilhões em investimento para atingir a universalização até 2035.
- Grupo B – Situação Institucional Intermediária. São municípios distribuídos em todo o País nas regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste e Nordeste, especificamente nos estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco. Esse grupo agrega regiões metropolitanas, além de 1.239 pequenas cidades com menos de 20 mil habitantes; coleta 62% dos seus esgotos e trata 40%, requer um investimento de R\$ 54,2 bilhões.
- Grupo C – Situação Institucional Básica. Compreende uma menor fração da população brasileira, porém mais afetada pela ausência de saneamento: são 39,9 milhões de habitantes. Concentra 47% dos municípios, dos quais 86% são de pequeno porte, e conta com apenas 28% de coleta e 12% de tratamento. Diante dessa realidade, o investimento requerido é de R\$ 53,3 bilhões, sendo 76% destinados a obras de coleta de esgotos.

Dessa forma, a estimativa de custos apresentada pela ANA (2017) para coleta e tratamento de esgotos com eficiência mínima de 60% de remoção de matéria orgânica, na busca da universalização desses serviços nas 5.570 cidades brasi-



leiras até 2035, é de R\$ 149,5 bilhões (Figura 1.1). Essa ação vai desde a ampliação na melhoria das eficiências de tratamento de sistemas já existentes, até a implementação de coleta e tratamento para as cidades que ainda não possuem tais benefícios. Desse montante estimado, as maiores demandas são para as regiões Sudeste, devido ao grande número de aglomerados urbanos com alta densidade populacional, e Nordeste, pelo baixo nível de cobertura de esgotamento e a forte presença de rios intermitentes, com baixa capacidade de diluição. A estimativa de investimento em esgotos sanitários para o período 2014-2033, efetuada pelo PLANSAB (MCidades, 2013), foi de R\$ 181,9 bilhões, sendo que 26,2% desse valor seria utilizado para expansão das instalações hidrossanitárias. Esta parcela não foi considerada na estimativa efetuada no atlas da ANA (2017). A etapa de implantação de rede coletora requer investimento inicial mais elevado, já que cerca de 60% dos municípios brasileiros têm menos de 50% da população com rede coletora de esgotos.



**Figura 1.1** – Investimento total com coleta e tratamento de esgoto por situação institucional até 2035

Fonte: Adaptado de ANA (2017)

## 1.4 OPORTUNIDADES E DESAFIOS NO TRATAMENTO DE ESGOTOS E A RECUPERAÇÃO DE RECURSOS

O conceito *Nexus* aplicado ao tratamento de águas residuárias tem por base evoluir do modelo ainda vigente, de uso, processamento e descarte, para um modelo cíclico, em que os resíduos líquidos, sólidos e gasosos possuem valor agregado como recursos (MO; ZHANG, 2013; CHRISPIM et al., 2017).

Os setores água, energia e alimentos estão interligados de modo intrínseco e a abordagem integrada será crucial para enfrentar a crescente pressão sobre os recursos vitais, incluindo a escassez de água, o crescimento da população e as mudanças climáticas.

No Brasil, os sistemas de produção de alimentos ainda dependem de importações externas, enquanto os resíduos gerados e os excessos de nutrientes frequentemente terminam descartados em aterros sanitários ou corpos d'água. Ou seja, nos dias atuais, dado ao conhecimento técnico-científico acumulado, os resíduos deveriam ser considerados além dos aspectos de tratamento ou estabilização. Energia, nutrientes e água são três recursos valiosos que estão presentes nos esgotos domésticos e podem ser recuperados e reutilizados (CHRISPIM et al., 2015). No entanto, em geral esses recursos não são convenientemente utilizados, uma vez que a gestão tradicional de resíduos procura apenas prevenir impactos ambientais diretos.

A matéria orgânica, em geral associada à poluição, medida através da Demanda Química de Oxigênio (DQO), também pode representar um potencial energético químico de aproximadamente  $1,5 \text{ kWh/m}^3$  caso se utilize a digestão anaeróbia para converter essa matéria em biogás (metano). Os esgotos domésticos contêm nutrientes, como enxofre e principalmente fósforo e nitrogênio, que podem ser recuperados e reutilizados. Já os fertilizantes químicos são produzidos principalmente através de combustíveis fósseis, necessitando de grande consumo de energia. Portanto, a reutilização de nutrientes também pode contribuir consideravelmente para diminuir o uso de fontes de energia não renováveis. Ademais, o esgoto doméstico contém 99,9% de  $\text{H}_2\text{O}$ , que é mais concentrado do que a água do mar, de 96,5% de  $\text{H}_2\text{O}$ .

O desafio está no uso e desenvolvimento de processos que permitam a recuperação rentável destes recursos. Alguns dos processos propostos envolvem a combinação de tecnologia anaeróbia para produção de biogás e liberação de nutrientes, processos de membrana e precipitação de estruvita (nitrogênio, fósforo e magnésio). É possível utilizar diretamente na agricultura água de esgoto tratado ou lodo estabilizado, conservando os macronutrientes (N, P, K, S) ou micronutrientes (Fe, Zn), visando a produtividade e fortificação das plantas, por exemplo (SILVA et al., 2016). De qualquer maneira, nesse contexto, a recuperação dos recursos água, energia, nutrientes e biomateriais dos esgotos, sejam de correntes segregadas ou de não-segregadas, pode proporcionar um avanço ao conceito Nexus.



Deste modo, a quebra de paradigmas do setor de saneamento, especificamente no tratamento de águas residuárias urbanas, consiste em transformar as estações de tratamento de esgoto (ETE) de consumidoras em produtoras de recursos (CAI et al., 2013; CANO; NOLASCO, 2017). Essa mudança de orientação cria novos modelos de negócios e oportunidades no desenvolvimento de tecnologias inovadoras, como transformar ETE em biofábricas para produção de bioenergia e recuperação de inúmeros outros recursos a partir das águas residuárias (ANDERSSON et al., 2017).

Essa nova abordagem vem sendo reforçada em função da rápida urbanização no país e no mundo. Desde o ano de 2010, metade da população mundial habita em áreas urbanizadas e 38% desses 3,5 bilhões de pessoas vivem em grandes aglomerações urbanas ou megacidades. A urbanização acelerada e as megacidades crescentes apontam para a necessidade de cidades mais inteligentes e mais resilientes, que possuam a capacidade de amortecer os choques do crescimento populacional, crises econômicas, mudanças demográficas rápidas na população e catástrofes ambientais.

As cidades impulsionam a economia do futuro. No entanto, embora o desenvolvimento da cidade seja uma oportunidade para o crescimento econômico, é também uma ameaça à capacidade de se viver nela. À medida que a população aumenta, a infraestrutura existente torna-se incapaz de acompanhar a crescente demanda da população e demais usuários. Muitas cidades carecem de infraestrutura sanitária para águas residuárias, por estar ausente ou ser inadequada. Como a tendência de crescimento da população em áreas urbanas tende a se elevar, constata-se uma maior necessidade de gerenciar as águas residuárias de forma mais inteligente do que se observa no momento, buscando-se construir a resiliência urbana.

Assim, a gestão das águas residuárias nas cidades não deve apenas centrar-se na prevenção de impactos ao meio ambiente e na salvaguarda da saúde pública, mas também ser encarada como recurso alternativo para ampliar a oferta de água e outros recursos à cidade (SANTOS, 2016). Os objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Organização das Nações Unidas (ONU) fornecem uma agenda inovadora para uma gestão sustentável das águas urbanas para que tenhamos cidades mais seguras, inclusivas e resilientes (UN, 2015).

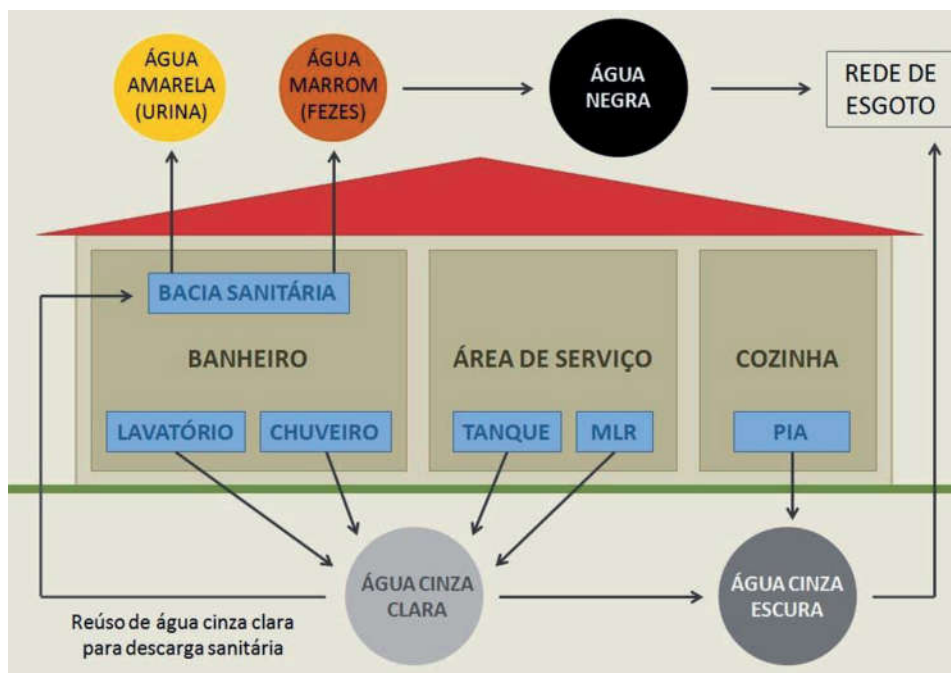
## 1.5 DIRETRIZES PARA PROJETOS DE SISTEMAS DESCENTRALIZADOS DE ESGOTOS

### 1.5.1 Segregação das águas residuárias domésticas

Para projetos de sistemas descentralizados de esgotos, devem ser considerados diversos aspectos na seleção e dimensionamento das unidades de transporte e, em especial, das de tratamento. Um dos primeiros aspectos a considerar é a possível segregação das águas residuárias na residência, integrada com as outras fontes, como as águas de chuva, se for o caso.

As águas residuárias geradas em edificações residenciais, tanto uni quanto multifamiliares, são compostas por quatro correntes líquidas distintas (Figura 1.2): águas amarelas, águas marrons e águas cinza; a mistura de águas marrons e águas amarelas, provenientes das bacias sanitárias, forma as águas negras. As águas cinza são geradas pelo uso da água potável nos chuveiros, lavatórios, máquinas de lavar, tanques e pia de cozinha. O paradigma tecnológico dominante prevê o gerenciamento destas águas residuárias misturadas em uma só corrente líquida, denominada esgoto doméstico.

Sob condições específicas, a segregação das correntes líquidas pode ser vantajosa para um determinado empreendimento sob vários aspectos: econômico, ambiental e sanitário. A solução que vem ganhando aceitação no Brasil nos dias de hoje é a segregação do esgoto em águas negras e cinza para efeito de tratamento. O reúso de águas cinza pode resultar em economia de água potável, economia de energia elétrica e menor produção de esgoto doméstico na escala das edificações. Em uma escala maior, resulta em preservação dos mananciais de água, por diminuir a quantidade de água captada e por reduzir o lançamento de esgoto sanitário pelas áreas urbanas, além de reduzir o consumo de energia elétrica.



**Figura 1.2** – Segregação das águas residuárias domésticas

Fonte: Silva e Gonçalves (2017)

Tal opção não exige o emprego de peças sanitárias especiais, como as bacias sanitárias segregadoras, mas requer que os sistemas de coleta e transporte destas águas residuárias nas edificações sejam separados. Requer também a instalação de uma estação de tratamento para cada corrente líquida, sendo a de águas cinza voltada para a produção de água de reúso para fins não potáveis. Evidentemente, esta concepção deve ser definida por ocasião do projeto, porque na maioria dos casos é inviável economicamente modificar o sistema hidrossanitário de uma edificação existente para segregar correntes líquidas.

Neste tipo de concepção, o gerenciamento de águas negras é norteado pela segurança sanitária e a preservação ambiental das áreas em que se encontram. Em outras palavras, as águas negras segregadas devem ser gerenciadas da mesma forma que o esgoto doméstico nos sistemas convencionais de saneamento.

Por outro lado, o gerenciamento de águas cinza deve atender a quatro critérios: segurança sanitária, qualidade estética e viabilidades técnica e econômica. A principal dificuldade encontrada no tratamento dessa corrente líquida é a grande variação quali-quantitativa na sua composição, com significativas variações de vazão e alterações químicas em períodos de poucas horas. Por isso, as

tecnologias de tratamento de águas cinza devem ser robustas o suficiente para produzir, de forma estável, um efluente tratado com qualidade compatível com as normas para o reúso.

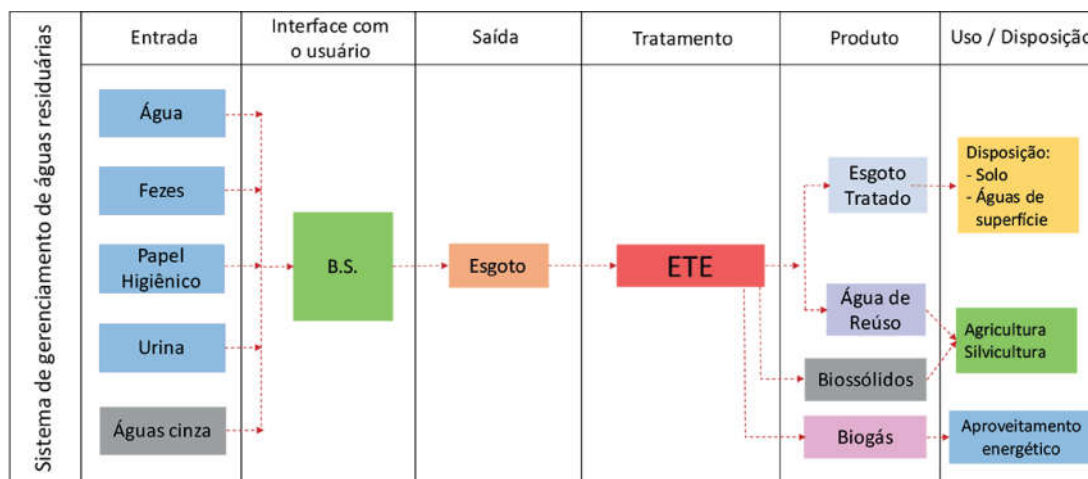
É importante ressaltar que os aspectos quantitativos, como os hidrogramas de vazão de cada corrente, devem ser considerados para o caso de reúso para fins não potáveis, bem como os qualitativos com a caracterização físico-química e microbiológica.

### **1.5.2 Possíveis configurações dos sistemas de segregação e de tratamento das águas residuárias segregadas**

Os sistemas de saneamento com segregação de águas residuárias devem ser concebidos levando-se em consideração as edificações (escala micro) e os sistemas públicos (escala meso). Neste livro não são abordadas as tecnologias de saneamento sem carreamento hídrico de excretas, ou seja, de “saneamento seco”. Logo, todas as configurações dos sistemas hidrossanitários consideradas a seguir compreendem o emprego de peças sanitárias com descarga hidráulica. As diferentes configurações de bacia sanitária (BS), assim como a existência de mictórios nas edificações, determinam as características das águas residuárias produzidas e os diferentes produtos passíveis de recuperação (nutrientes, energia e água). Esta recuperação depende do destino a ser dado a cada produto, o que deve ser objeto de definição por ocasião da concepção do sistema.

#### **OPÇÃO 1 – SISTEMA HIDROSSANITÁRIO CONVENCIONAL**

Esta opção tecnológica é a mais utilizada no Brasil e contempla o gerenciamento das águas residuárias domésticas misturadas. Esta mistura resulta na produção de esgoto doméstico, cujo tratamento deve ser realizado em uma ETE (Figura 1.3). Do ponto de vista do sistema hidrossanitário, a rede de coleta e transporte é única na edificação e conecta-se diretamente à ETE. O tratamento de esgoto pode ser concebido para viabilizar a sua disposição na natureza (solo ou corpos d'água) ou para a recuperação de produtos para fins produtivos. Tais produtos são a água de reúso, os nutrientes presentes no esgoto e o biogás. A reciclagem de nutrientes é possível mediante o aproveitamento dos bio sólidos na agricultura. O reúso de água pode requerer um sistema de tratamento a nível terciário, com filtração terciária (areia e carvão ativado) e desinfecção.

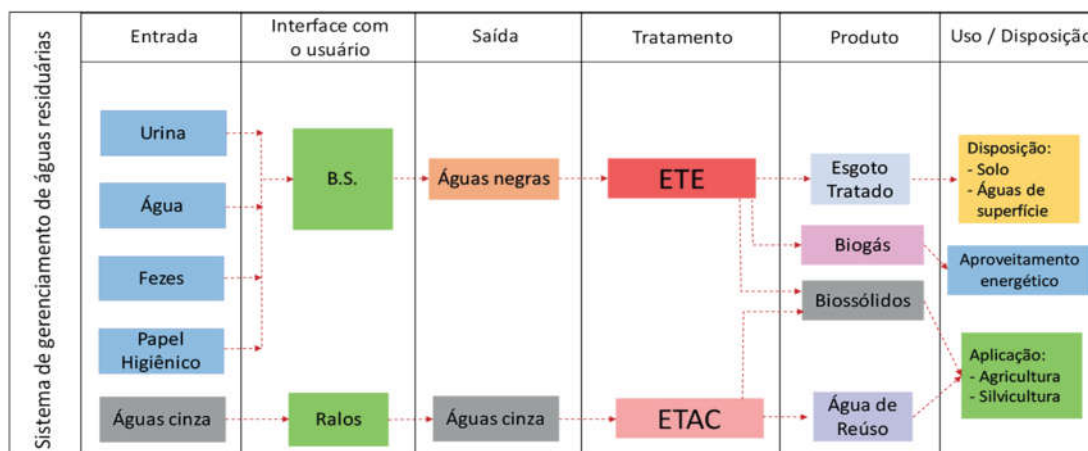


**Figura 1.3** – Sistema hidrossanitário convencional

Fonte: Gonçalves e Fardin (2018)

**OPÇÃO 2 – SISTEMA HIDROSSANITÁRIO COM SEGREGAÇÃO E REÚSO DE ÁGUAS CINZA**

A coleta segregada de águas cinza requer que a edificação possua uma rede coletora de águas residuárias duplicada: uma para águas negras e outra para águas cinza (Figura 1.4). A rede de águas negras conecta-se à ETE e a rede de águas cinza à estação de tratamento de águas cinza (ETAC). A justificativa para esta configuração está no fato de que as águas cinza podem ser tratadas mais facilmente para se produzir água de reúso, uma vez que possuem menores concentrações de matéria orgânica, óleos, graxa e microrganismos patogênicos do que as águas negras. A depender das características do empreendimento, a recuperação de nutrientes e de biogás pode ser interessante do ponto de vista econômico.



**Figura 1.4** – Sistema hidrossanitário com segregação e reúso de águas cinza

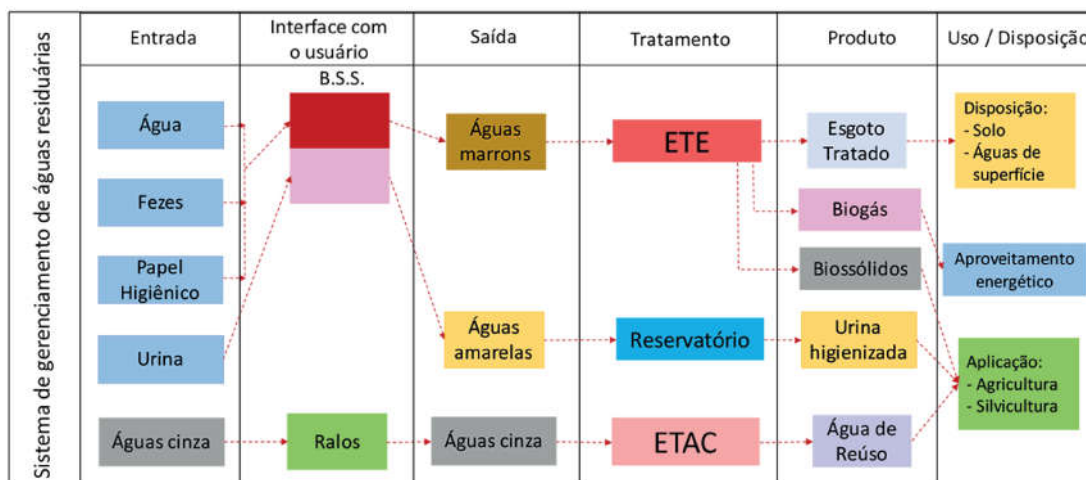
Fonte: Gonçalves e Fardin (2018)



### OPÇÃO 3 – SISTEMA HIDROSSANITÁRIO COM SEGREGAÇÃO DE ÁGUAS AMARELAS E ÁGUAS CINZA

Este tipo de sistema é capaz de produzir águas amarelas, águas marrons e águas cinza segregadas (Figura 1.5). A segregação das duas primeiras correntes líquidas é realizada na bacia sanitária segregadora (BSS) de urina que, nos dias de hoje, ainda não é fabricada em escala industrial no Brasil. O sistema hidrossanitário prevê a instalação de três redes coletoras independentes, uma para cada tipo de água residuária. Evidentemente, esta opção somente faz sentido se o objetivo for a reciclagem dos nutrientes na agricultura, a produção de água de reúso e, dependendo da escala do empreendimento, o aproveitamento energético do biogás.

Devem ser observados os aspectos legais quanto à qualidade dos produtos gerados na estação, como os resíduos ou produtos líquidos, sólidos e gasosos, bem como a quantificação de cada um, para fins de lançamento, descarte ou, no caso desejado, de reaproveitamento e reúso. As tecnologias de tratamento dos esgotos, seja de corrente segregada ou não, devem considerar os aspectos de construção, operação e manutenção, atentando ao máximo possível à diretriz de se ter uma ETE sustentável econômica e ambientalmente. Por fim, deve-se avaliar esta sustentabilidade empregando ferramentas como o conceito Nexus, o uso da avaliação de ciclo de vida (ACV), os possíveis riscos microbiológicos do manejo e uso de produtos e subprodutos do tratamento, como a partir da Análise Quantitativa de Riscos Microbiológicos (AQRM), bem como a análise de viabilidade econômico-financeira (AVE) dos empreendimentos. Nos capítulos seguintes serão abordadas e detalhadas cada uma dessas diretrizes para projetos de sistemas descentralizados de esgotos.



**Figura 1.5** – Sistema hidrossanitário com segregação de águas amarelas e águas cinza

Fonte: Gonçalves e Fardin (2018)

## BIBLIOGRAFIA

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. *Atlas esgotos: despoluição de bacias hidrográficas* / Agência Nacional de Águas, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Brasília: ANA, 2017.

ANDERSSON, K.; OTOO, M.; NOLASCO, M. Innovative sanitation approaches could address multiple development challenges. *Water Science and Technology*, v. 77, n. 3, 2017. DOI: 10.2166/wst.2017.600.

CAI, T.; PARK, S. Y.; LI, Y. Nutrient recovery from wastewater streams by microalgae: Status and prospects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 19, p. 360-369, 2013.

CEDEPLAR/UFGM – CENTRO DE DESENVOLVIMENTO E PLANEJAMENTO REGIONAL. *Projeção da demanda demográfica habitacional, o deficit habitacional e assentamentos subnormais*. Estudo para o Ministério das Cidades. 2007.

CHRISPIM, M.C.; CANO, V.; SALINAS, D.T.P.; NOLASCO, M.A. Linking Sanitation to Agriculture: Recycling Nutrients from Human Excreta in Food Production. In: 5th INTERNATIONAL WORKSHOP ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION, 2015, SAO PAULO. Anais, 2015.

CHRISPIM, M.C.; TARPEH, W.A.; SALINAS, D. T. P.; NOLASCO, M.A. The sanitation and urban agriculture Nexus: urine collection and application as fertilizer in Sao Paulo, Brazil. *Journal of Water Sanitation and Hygiene for Development*, 7 (3), 455-465 p. DOI: 10.2166/washdev.2017.163.



CANO, V.; NOLASCO, M.A. . Energy generation in wastewater treatment using a granular activated carbon microbial fuel cell: preliminary data. In: INTERNACIONAL RESOURCES RECOVERY CONFERENCE, 2017, New York. Anais, 2017.

FJP – FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. Centro de Estatística e Informações. *Deficit Habitacional no Brasil 2013*. Belo Horizonte, 2015.

FUNES, S.M.M. *Regularização Fundiária na Cidade de Piracicaba – SP: Ações e Conflitos*. 2005. 205 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2005.

GONÇALVES, R.F.; FARDIN, P. Selection of excrete treatment systems for rural areas using the Hierarchic Analytic Process. Artigo submetido ao *Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development*, 2018.

HOLZ, S.; MONTEIRO, T.V.A. Política de habitação social e o direito à moradia no Brasil. In: COLOQUIO INTERNACIONAL DE GEOCRÍTICA, 10: Diez años de cambios en el Mundo, en la Geografía y en las Ciencias Sociales, 1999-2008. Barcelona, 26-30 de maio de 2008. *Actas...* Barcelona: Universidad de Barcelona, 2008.

IBGE. *Pesquisa Nacional por Amostra de Domicilio: PNAD*. Rio de Janeiro, 2014.

MARICATO, E. Metrópole periférica, desigualdade social e meio ambiente. In: VIANA, G. et al. (orgs.) *O desafio da sustentabilidade*. São Paulo: Fundação Perseu Abramo, 2001.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. *Deficit Habitacional no Brasil: Municípios selecionados e microrregiões demográficas*. Belo Horizonte: FJP, 2004.

MINISTÉRIO DAS CIDADES/ Secretaria Nacional de Habitação. *Plano Nacional de Habitação*– PlanHab. Brasília, dezembro de 2009.

MINISTÉRIO DAS CIDADES/ Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. *Plano Nacional de Saneamento Básico* – PLANSAB. Brasília, dezembro de 2013.

MO, W; ZHANG, Q. Energy-nutrients-water nexus: Integrated resource recovery in municipal wastewater treatment plants. *Journal of Environmental Management*, n. 127, p. 255-267, 2013.

OSÓRIO, L.M. Direito à moradia no Brasil. *Fórum Nacional de Reforma Urbana*. Disponível em: <<http://www.forumreformaurbana.org.br>>. Acesso em: 22 set. 2007.

RODRIGUES, L.C.S. *Avaliação da eficiência de dispositivos economizadores de água em edifícios residenciais em Vitória-ES*. 2005. 89 f. Dissertação (Mestrado

em Engenharia Ambiental). Centro Tecnológico, Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, 2005.

SANTOS, D.C. *Saneamento para a gestão integrada das águas urbanas*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016.

SAULE JUNIOR, N. O direito à moradia como responsabilidade do Estado Brasileiro. In:\_\_\_\_\_. *Direito à cidade*. Trilhas legais para o direito às cidades sustentáveis. São Paulo: Max Limonad, 1999.

SILVA, R. J. ; GAVAZZA, S.; FLORENCIO, L.; NASCIMENTO, C.W.A.; KATO, M.T. Uso de agua residual doméstica tratada y lodo en el cultivo de dos especies de frijol: productividad y efectos nutricionales en los granos. In: THE FIFTH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ENVIRONMENTAL BIOTECHNOLOGY AND ENGINEERING, 2016, Buenos Aires. Anais, 2016.

SILVA, L.M.; GONÇALVES, R.F. Soluções arquitetônicas para reúso de água cinza em habitações de interesse social (HIS). In: CONGRESSO ABES/FENASAN 2017, 3 a 5 de outubro de 2017, São Paulo. *Anais eletrônicos*. 2017. Disponível em: <https://www.abesfenasan2017.com.br/>. Acesso em: 05 mar.2018.

UN –UNITED NATIONS. *Transforming Our World, the 2030 Agenda for Sustainable Development*. General Assembly Resolution A/RES/70/1. 2015. Disponível em: <[http://www.un.org/en/development/desa/population/migration/generalassembly/docs/globalcompact/A\\_RES\\_70\\_1\\_E.pdf](http://www.un.org/en/development/desa/population/migration/generalassembly/docs/globalcompact/A_RES_70_1_E.pdf)>. Acesso em: 06 abr. 2018.

VASCONCELOS, R.F.A. *Descentralização político-administrativa na cidade do Recife. O caso do esgotamento sanitário na gestão da Frente Popular 1986-1988*. 1995. 247 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Urbano e Regional). Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pernambuco, 1995.