



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS E ESCOLA DE ENGENHARIA
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

RAFAELA CAMARGO CAZANOVA

**POTENCIAL DE UTILIZAÇÃO DE POTÁSSIO ORIUNDO DE
ESGOTOS DOMÉSTICOS DE EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS E
COMERCIAIS DE GRANDE PORTE COMO PRODUTO
COMERCIALIZÁVEL**

Porto Alegre

Mai 2021

RAFAELA CAMARGO CAZANOVA

**POTENCIAL DE UTILIZAÇÃO DE POTÁSSIO ORIUNDO DE ESGOTOS
DOMÉSTICOS DE EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS E COMERCIAIS DE GRANDE
PORTE COMO PRODUTO COMERCIALIZÁVEL**

TRABALHO DE CONCLUSÃO
APRESENTADO AO CURSO DE ENGENHARIA
AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO
RIO GRANDE DO SUL COMO PARTE DOS
REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
ENGENHEIRA AMBIENTAL.

Orientadora: Andréa Moura Bernardes

Co-orientador: Alexandre Giacobbo

Porto Alegre

Maiο 2021

CIP - Catalogação na Publicação

Camargo Cazanova, Rafaela
POTENCIAL DE UTILIZAÇÃO DE POTÁSSIO ORIUNDO DE
ESGOTOS DOMÉSTICOS DE EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS E
COMERCIAIS DE GRANDE PORTE COMO PRODUTO
COMERCIALIZÁVEL / Rafaela Camargo Cazanova. -- 2021.
133 f.
Orientador: Andréa Moura Bernardes.

Coorientador: Alexandre Giacobbo.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto
de Pesquisas Hidráulicas, Curso de Engenharia
Ambiental, Porto Alegre, BR-RS, 2021.

1. Potássio. 2. Esgotos domésticos. 3. Edificações
Residenciais. 4. Edificações comerciais. I. Moura
Bernardes, Andréa, orient. II. Giacobbo, Alexandre,
coorient. III. Título.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UFRGS com os
dados fornecidos pelo(a) autor(a).

RAFAELA CAMARGO CAZANOVA

POTENCIAL DE UTILIZAÇÃO DE POTÁSSIO ORIUNDO DE ESGOTOS DOMÉSTICOS
DE EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS E COMERCIAIS DE GRANDE PORTE COMO
PRODUTO COMERCIALIZÁVEL

Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul defendido e aprovado em **28/05/2021** pela Comissão avaliadora constituída pelos professores:

Banca Examinadora:

.....
Prof^a. Dra. Andréa Moura Bernardes - Orientadora

.....
Prof. Dr. Alvaro Meneguzzi – Departamento de Materiais/EE

.....
Prof. Dr. Gino Roberto Gehling – Departamento de Obras Hidráulicas/IPH

Conceito:.....

Dedico este trabalho a meus pais, Alcino e Marisete, que sempre me apoiaram e especialmente durante o período do meu Curso de Graduação estiveram ao meu lado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha orientadora, Prof. Andréa Moura Bernardes, pela atenção, carinho e aconselhamentos importantes para a execução deste trabalho.

Agradeço ao meu co-orientador, Alexandre Giacobbo, pela dedicação e empenho em me ajudar ao longo de todas as demandas deste trabalho.

Agradeço aos professores Alvaro Meneguzzi e Gino Roberto Gehling, pelos apontamentos fornecidos para a melhora deste trabalho.

Agradeço aos meus pais e aos meus irmãos, pelo apoio ao longo de minha trajetória. Agradeço à minha família, por todo o carinho, amor, educação.

Agradeço ao meu namorado, pela compreensão nos momentos em que precisei me fazer ausente.

Agradeço aos meus professores do ensino fundamental e médio, alguns dos quais foram exemplo para a minha escolha pelo curso de Engenharia Ambiental.

Agradeço aos meus professores do curso de Engenharia Ambiental/UFRGS, aos meus amigos e a todos que de alguma forma me apoiaram para eu chegar aonde estou.

Tu te tornas eternamente responsável por aquilo que cativas.

Antoine de Saint-Exupery

RESUMO

CAZANOVA, R. C. Utilização de potássio oriundo de esgotos domésticos de edificações residenciais e comerciais de grande porte como produto comercializável. 2021. 133 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Este estudo se concentra no uso de potássio oriundo de esgoto doméstico de aglomerações urbanas como produto comercializável. Nesse contexto, o objetivo deste estudo é avaliar o potencial de aproveitamento do potássio proveniente de águas residuais domésticas em grandes edifícios residenciais e comerciais como produto comercializável. Para tanto, inicialmente conceituou-se edifícios residenciais e comerciais de grande porte, em seguida analisou-se os possíveis usos do potássio oriundo do esgoto doméstico e, por fim, foram discutidas as possíveis formas de recuperação do potássio do esgoto doméstico como produto comercializável. Abordar o uso do potássio proveniente de esgoto doméstico de grandes edificações residenciais e comerciais como produto comercializável se justifica pela tendência ao tratamento descentralizado como forma de sanar a necessidade de tratamento de esgoto no Brasil e nos grandes centros urbanos, bem como à demanda premente por fontes alternativas de potássio, tendo em vista sua escassez de produção em um território com bases agrícolas fortes. Este estudo consiste em uma pesquisa exploratória. Seus resultados são tratados de forma qualitativa e quantitativa, com a coleta de informações de fontes secundárias. Com o levantamento de informações e análises, foi possível concluir que existe potencial para a utilização de um produto comercializável proveniente de esgoto doméstico apenas em um futuro distante, embora estudos de prototipagem sejam necessários para verificar a real aplicabilidade da ideia.

Palavras-chave: potássio; esgotos domésticos; edificações residenciais; edificações comerciais.

ABSTRACT

CAZANOVA, R. C. Use of potassium from domestic sewage in big residential and commercial buildings as a marketable product. 2021. 133 f. Course Conclusion Paper (Graduation in Environmental Engineering) - Institute of Hydraulic Research. Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

This study focuses on using potassium from domestic sewage of urban agglomerations as marketable product. In this context, the objective of this study is to evaluate the potential use of potassium from domestic wastewater in big residential and commercial buildings. For that, we firstly conceptualize residential and commercial buildings, then we analyze the uses of potassium obtained from domestic sewage and, finally, discuss potential ways of recovering this potassium as a marketable product. Addressing the use of potassium from domestic sewage in big residential and commercial buildings as a marketable product is justified by the trend towards decentralized treatment as a way to remedy the need for sewage treatment in Brazil and in large urban centers, as well as the pressing demand for alternative sources of potassium in view of its scarcity of production in a territory with strong agricultural bases. This study consists of exploratory research. Its results are treated in a qualitative and quantitative way, from the collection of secondary sources information. With the survey of information and analysis, it was possible to conclude that there is potential for the use of a marketable product from domestic sewage only in a far future, although prototyping studies are needed to verify the real applicability.

Keywords: potassium; domestic sewage; residential buildings; commercial buildings.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: População residente por região brasileira.	22
Figura 2: Comparação da conformação da Radial Leste na altura do atual Viaduto Carlos Ferraci, em São Paulo, nos anos de 1930 (à esquerda) e 2019 (à direita).	23
Figura 3: Coeficiente de aproveitamento básico retirado do Plano Diretor do RJ.....	27
Figura 4: Dimensões máximas de uma quadra na cidade de São Paulo.	28
Figura 5: Índice de tratamento de esgotos referido à água consumida (IN046).	33
Figura 6: Distribuição dos nutrientes fósforo e potássio nos principais fluxos de águas domésticas.....	35
Figura 7: Porcentagem de Águas Negras e Cinzas produzidas em uma residência.	43
Figura 8: Tipos de esgotamento sanitário.	46
Figura 9: Preço da matéria prima.	58
Figura 10: Balança agrícola (déficits e superávits em bilhões de US\$) dos principais países extortadores e importadores em 2017.	59
Figura 11: Modelo esquemático de um apartamento de 2 quartos.....	68
Figura 12: Modelo esquemático de um apartamento de 3 quartos.....	68
Figura 13: Loteamento residencial e área computável dos edifícios.	71
Figura 14: Representação esquemática de duas ETEs, com e sem recuperação de estruvita, respectivamente.....	82
Figura 15: Imagem de uma estruvita clássica.	82
Figura 16: Estação Compacta Clássica.	84
Figura 17: Estação Compacta Avançada.....	85
Figura 18: Início do tratamento na ETE compacta sugerida.	88
Figura 19: Segunda etapa de tratamento na ETE compacta sugerida.	89
Figura 20: Terceira etapa sugerida: Etapa de recuperação de potássio em uma ETE compacta. .	89
Figura 21: Terceira etapa sugerida, com POA: Etapa de recuperação de potássio em uma ETE compacta.....	91

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: População urbana e rural brasileira de 1950 a 2010.....	22
Tabela 2: Porte das edificações conforme a altura.	24
Tabela 3: Coeficientes de aproveitamento, gabarito da edificação e número máximo de pavimentos conforme o Plano Diretor do município de São Paulo.	26
Tabela 4: Informações gerais sobre os Lançamentos Residenciais (verticais e horizontais) Município de São Paulo.....	29
Tabela 5: Áreas por categoria de uso no Município de São Paulo.....	30
Tabela 6: Índice de tratamento de esgoto coletado (IN016) nos municípios brasileiros.	32
Tabela 7: Características físico-químicas dos esgotos sanitários.....	37
Tabela 8: Água e Esgoto por categoria de uso em duas distintas aglomerações urbanas.	39
Tabela 9: Valores do consumo médio per capita de água (IN022) dos prestadores de serviços participantes do SNIS, em 2016, 2017 e 2018, segundo estado, macrorregião geográfica e Brasil.....	40
Tabela 10: Modelos para previsão do consumo médio mensal de água em grandes edificações residenciais e comerciais.....	42
Tabela 11: Contribuição diária de esgoto (C) e de lodo fresco (Lf) por tipo de prédio e de ocupante, em Litros/(Unidade.dia).	44
Tabela 12: Áreas mínimas de instalações sanitárias.	48
Tabela 13: Número mínimo de instalações sanitárias.....	48
Tabela 14: Lotação para locais de reuniões.	49
Tabela 15: Propriedades químicas – potássio.	50
Tabela 16: Composição química típica, em base seca, do produto.....	54
Tabela 17: Médias e medianas das concentrações do esgoto doméstico do tratamento preliminar.	55
Tabela 18: Composição química e propriedades do lodo.	56

Tabela 19: Valores médios de fertilidade do lodo desaguado aplicado no solo para matéria orgânica, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, acidez potencial, soma de bases e capacidade de troca catiônica (CTC).	56
Tabela 20: Concentração de potássio por separação na fonte.	57
Tabela 21: Gasto médio em importação de potássio no ano de 2020.	59
Tabela 22: Principais produtores e consumidores de fertilizante potássico mundial.	62
Tabela 23: Conceituação das edificações residencial e comercial de grande porte.	67
Tabela 24: Dimensões, aparelhos hidrossanitários e quantidade de habitantes por apartamento.	70
Tabela 25: Número de apartamentos e dimensões totais do andar.	70
Tabela 26: Vazão de água por andar (Demanda Mínima para Suprimento Constante).	72
Tabela 27: Estimativa de habitantes e vazão de água consumida na edificação residencial – Demanda Mínima para Suprimento Constante.	73
Tabela 28: Estimativa de vazão de água consumida - Método SABESP.	74
Tabela 29: Vazão de água estimada para o shopping center de Passo Fundo.	74
Tabela 30: Estimativa do número mínimo de instalações sanitárias.	76
Tabela 31: Comparativos duas modalidades de consumo de água para uma mesma área (761 m ²).	76
Tabela 32: Distribuição do potássio no esgoto doméstico segundo o tipo de edificação.	77
Tabela 33: Potássio no esgoto bruto de cada tipo de edificação.	79
Tabela 34: Comparativo entre as modalidades de ETEs.	85
Tabela 35: Custos de implantação estimados sob o viés de GOMES e HANSEN (2019).	86
Tabela 36: Custo de ETE proposta por GOMES e HANSEN (2019) com relação aos valores ao loteamento residencial.	87
Tabela 37: Estimativa de custo do reagente para o reator de leito fluidizado.	91
Tabela 38: Custo estimado para ETE compacta do protótipo sugerido.	91
Tabela 39: Custos de implantação e operação de sistemas de tratamento de esgotos.	92
Tabela 40: Estimativa de áreas demandadas pelo sistema de ETE compacta.	92
Tabela 41: Adaptação dos custos dos sistemas para os sistemas utilizados no projeto.	93

Tabela 42: Estimativa de custo de elementos de projeto.	93
Tabela 43: Correção dos valores dos sistemas e elementos.	94
Tabela 44: Teor comercial de nutrientes na k-estruvita.	95
Tabela 45: Custo de K ₂ O por produto – Análise.....	96
Tabela 46: Preço médio do K ₂ O.....	97
Tabela 47: Preço médio P ₂ O ₅	97
Tabela 48: Preço médio MgO.	97
Tabela 49: Fluxos e custos dos nutrientes da k-estruvita.	98
Tabela 50: Custo da K-estruvita com relação a pureza do produto.	98
Tabela 51: Preços praticados para Gasolina Comum (R\$/L).....	100
Tabela 52: Valor gasto em combustível.	100
Tabela 53: Custos tarifados com relação à quantia de fertilizante descarregada no porto.....	100

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1: Coeficiente de Aproveitamento.....	25
Equação 2: Demanda mínima de água para suprimento constante.....	41
Equação 3: Correção do dólar para o valor atual.....	86

LISTA DE SIGLAS

COE-SP: Código de Obras e Edificações de São Paulo

DAP: Fosfato Diamônico

DBO: Demanda Bioquímica De Oxigênio

DQO: Demanda Química De Oxigênio

EE: Escola de Engenharia

ETE: Estação de Tratamento de Esgotos

IPH: Instituto de Pesquisas Hidráulicas

K: Potássio

KCl: Cloreto de Potássio

MAP: Fosfato Monoamônico

MBBR: Reator de Leito Móvel

Mg: Magnésio

N: Nitrogênio

P: Fósforo

POA: Processo Oxidativo Avançado

SOP: Sulfato de Potássio (K_2SO_4)

SSP: Superfosfato Simples

TSP: Superfosfato Triplo

UFRGS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul

LISTA DE SÍMBOLOS

A = área (m²)

CA = coeficiente de aproveitamento (adimensional)

H = altura (m)

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	18
2.	OBJETIVOS	20
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
3.1.	EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS E COMERCIAIS DE GRANDE PORTE	21
3.2.	ESGOTOS DOMÉSTICOS GERADOS EM EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS E COMERCIAIS DE GRANDE PORTE	30
3.2.1.	Esgotos: Problemática e Panorama Nacional	30
3.2.2.	Caracterização qualitativa dos esgotos domésticos	34
3.2.3.	Caracterização quantitativa dos esgotos domésticos	38
3.2.4.	Esgotamento Sanitário e instalações sanitárias	46
3.3.	POTÁSSIO	49
3.3.1.	Características do potássio	49
3.3.2.	Importância do potássio	51
3.3.3.	Presença de potássio em esgotos domésticos	55
3.3.4.	Demanda por fontes alternativas de potássio	58
4.	METODOLOGIA	63
4.1.	EDIFICAÇÕES COMERCIAIS E RESIDENCIAIS DE GRANDE PORTE	63
4.2.	ESGOTOS DOMÉSTICOS GERADOS EM EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS E COMERCIAIS DE GRANDE PORTE	65
4.3.	POTÁSSIO	66
5.	RESULTADOS	67
5.1.	EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS E COMERCIAIS DE GRANDE PORTE	67
5.2.	ESGOTOS DOMÉSTICOS GERADOS EM EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS E COMERCIAIS DE GRANDE PORTE	68
5.2.1.	Edificação Residencial de Grande Porte	68
5.2.2.	Edificação Comercial de Grande Porte	74
5.3.	POTÁSSIO	76
5.3.1.	Presença de potássio nos esgotos	76
5.3.2.	Utilização do potássio presente em esgotos domésticos	80
5.3.3.	Possíveis usos e tecnologias	83
5.3.4.	Proposta de Projeto Piloto para Recuperação de K	84
5.3.5.	Potencial como produto comercializável	91
6.	CONCLUSÃO	105

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	106
APÊNDICE A – Presença de potássio, segundo relatos da literatura.....	126
APÊNDICE B – Planta Baixa de Condomínio Residencial.....	129
APÊNDICE C – Planilhas de Cálculo: custos dos fertilizantes de fósforo e magnésio.....	132

1. INTRODUÇÃO

O tratamento descentralizado de esgotos domésticos ocorre principalmente em regiões de pouco adensamento populacional. Contudo, essa demanda está se tornando necessária inclusive em grandes aglomerações urbanas, dada a crescente situação de escassez dos recursos hídricos como resultado do crescimento populacional nessas áreas e consequente despejo de esgotos em corpos hídricos (IWA, 2013), pois mesmo nas grandes cidades, o tratamento centralizado não abrange a totalidade populacional nela incluída.

Frente a isso, evidencia-se a grande importância por novas tecnologias, capazes de fornecer alternativas ao tratamento centralizado convencional e que incentivem novos negócios por meio do tratamento desse efluente. O incentivo comercial e consequente geração de “valor econômico e social” aos esgotos domésticos pode ser um mecanismo para “assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos”, objetivo este presente na Política Nacional dos Recursos Hídricos (Lei Federal nº 9.433/1997).

O volume de esgotos liberado nos corpos hídricos cresce pontualmente com o aumento dos adensamentos populacionais, elevando também o porte das edificações, que precisam se sofisticar para agregar parcelas populacionais maiores nestes núcleos urbanos. Frente a isso, é imperativo um foco mais aprofundado na questão do saneamento, uma vez que a sofisticação dos sistemas prediais exige também maior ênfase no aumento do volume de esgotos por eles produzidos.

Além disso, dentre os constituintes presentes nos esgotos domésticos, há fertilizantes importantes para a agricultura, alguns dos quais são minerados, ou seja, extraídos de recursos não renováveis, como é o caso do potássio, do qual o Brasil depende, em cerca de 95%, de importação para suprir o mercado nacional (GLOBALFERT, 2020). Produzir fertilizantes por meio de esgotos domésticos não só auxilia na redução da criticidade de escassez hídrica devido ao maior incentivo ao seu tratamento, como também elabora um produto gerado de fonte alternativa à mineração, abrindo possibilidade ao surgimento de novos mercados no setor.

Discutir sobre a utilização de potássio oriundo de esgotos domésticos de edificações residenciais e comerciais de grande porte como produto comercializável justifica-se pelo crescente aumento populacional e aglomeração nas grandes cidades, as quais liberam dejetos nos corpos hídricos, contaminando-os e reduzindo a qualidade das

águas. Além disso, o Brasil possui alta dependência em importação de fertilizantes, os quais são majoritariamente oriundos de fontes não renováveis. Sendo assim, utilizar o potássio provindo de esgotos domésticos de edificações residenciais e comerciais de grande porte como produto comercializável não só agrega valor econômico e social ao tratamento do efluente doméstico em nível local, como também fornece uma alternativa à produção deste composto em território nacional. Para tanto, é preciso analisar os usos do potássio oriundo de esgotos domésticos e discutir potenciais formas de sua utilização como produto comercializável.

Considerando os principais elementos do cenário até aqui apresentado, este trabalho apresenta como questão central de investigação: “Há potencialidade de utilização de potássio oriundo de esgotos domésticos de edificações residenciais e comerciais de grande porte como produto comercializável?”. Para a responder, este estudo está organizado nos capítulos de 3 a 6. No capítulo 3 é apresentada uma revisão bibliográfica com conceitos e estudos pertinentes ao tema. No capítulo 4 é apresentada a metodologia utilizada para se alcançar os resultados com base na análise da literatura disponível. O capítulo 5 aborda os resultados das análises e demais discussões. Por fim, no capítulo 6 é abordada a conclusão final, que responde à pergunta chave deste trabalho.

2. OBJETIVOS

1.1 Objetivo Geral

Avaliar a potencialidade de utilização de potássio oriundo de esgotos domésticos de edificações residenciais e comerciais de grande porte como produto comercializável.

1.2 Objetivos Específicos

- Conceituar edificações residenciais e comerciais de grande porte e caracterizar seus esgotos.
- Analisar os usos do potássio oriundo de esgotos domésticos.
- Discutir potenciais formas de recuperação e utilização de potássio oriundo de esgotos domésticos como produto comercializável.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste Capítulo será realizada uma explanação da literatura acerca do potássio oriundo de esgotos domésticos de edificações residenciais e comerciais de grande porte. Para isso, é abordada a temática das edificações (item 3.1), seguida da questão dos esgotos domésticos nelas gerados (3.2) e, por fim, será dado maior enfoque ao potássio (3.3).

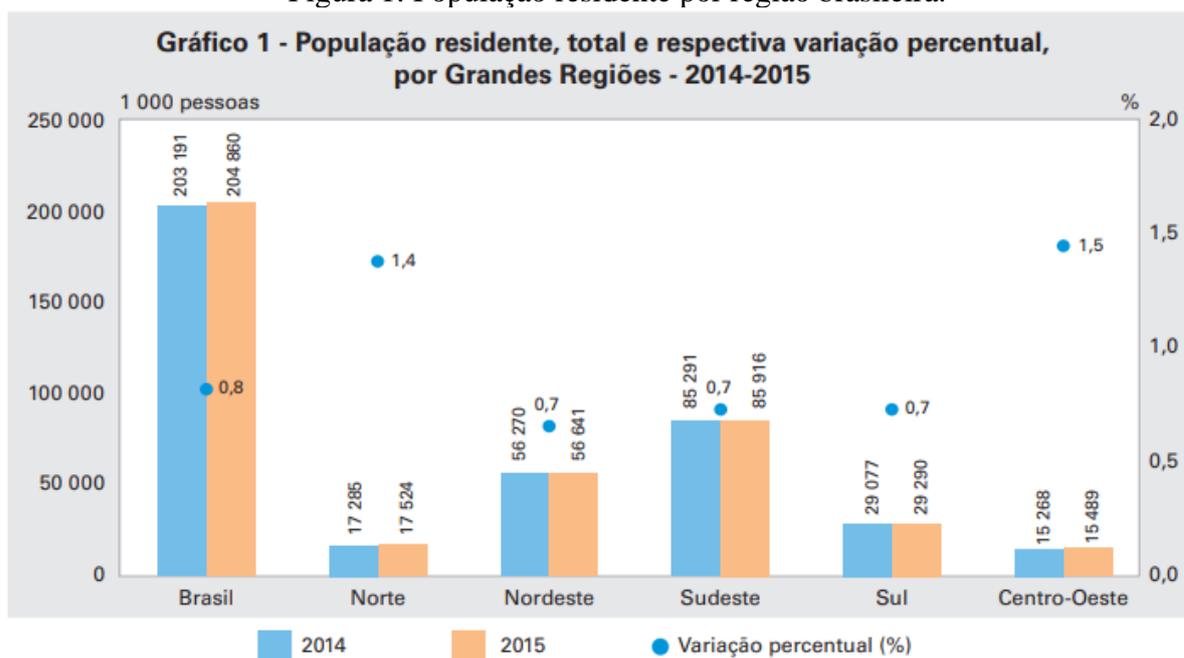
3.1. EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS E COMERCIAIS DE GRANDE PORTE

À medida em que as populações se adensam, aumenta a necessidade por edificações de porte maior, produzindo uma estrutura simultaneamente compacta e difusa (ABRAMO, 2007) ocasionada pelo crescimento desordenado, com boa parcela da população nas periferias das cidades. Com o intuito de otimizar o espaço urbano, mecanismos legislativos imprimem a ordenação e controle do uso do solo como forma de “conter o processo de expansão horizontal da aglomeração urbana” e “reduzir a necessidade de deslocamento, equilibrando a relação entre os locais de emprego e de moradia” (Plano Diretor de São Paulo – Lei Municipal N° 16.050/2014).

O Estatuto das Cidades, definido pela Lei Federal n° 10.257 de 2001, auxilia no preenchimento de vazios urbanos, e com ele há também uma série de instrumentos normativos para gestão e ocupação do solo urbano. Desses, destaca-se o Plano Diretor dos Municípios. Já o Zoneamento e o Licenciamento Ambiental estão previstos na Política Nacional do Meio Ambiente (Lei Federal n° 6.938 de 1981). Esses três instrumentos regulam o uso do solo. Eles, juntamente com outros arcabouços legais (MP 2220/2001, Lei Federal n° 6.766/1979, Lei Federal n° 13.465/2017, entre outros), auxiliam na ordenação e na organização da ocupação urbana, contribuindo para que com o tempo as cidades possam se tornar mais dinâmicas e funcionais.

A tendência de verticalização do ambiente urbano é causada pelo adensamento da população nos grandes centros urbanos, visando abrigar atividades comerciais e residenciais (COSTA *et al.*, 2018). Sendo assim, grande parcela da população se concentra em focos, denominados aglomerações urbanas, cuja maior ocorrência se dá na região Sudeste do país (Figura 1).

Figura 1: População residente por região brasileira.



Fonte: IBGE (2015).

Conforme apresentado na segunda parte da publicação Áreas Urbanizadas do Brasil 2015, divulgada pelo IBGE em 2018, além do alto índice de adensamento ocorrer especialmente nas principais capitais do país, a predominância de regiões adensadas nas manchas urbanas pode indicar um processo de consolidação no processo de urbanização, o que também pode ser observado na Tabela 1, que mostra a concentração da população brasileira cada vez mais na zona urbana.

Tabela 1: População urbana e rural brasileira de 1950 a 2010.

Ano	1950	1960	1970	1980	1991	2000	2010
Rural	33.161.506	38.987.526	41.603.839	39.137.198	36.041.633	31.835.143	29.830.007
% Rural	64%	55%	44%	32%	25%	19%	16%
Urbana	18.782.891	32.004.817	52.904.744	82.013.375	110.875.826	137.755.550	160.925.792
% Urbana	36%	45%	56%	68%	75%	81%	84%
Total	51.944.397	70.992.343	94.508.583	121.150.573	146.917.459	169.590.693	190.755.799

Fonte: Adaptado de IBGE (2010).

É, portanto, evidente a tendência de migração da população rural para o ambiente urbano e o crescimento das grandes cidades, o que gera a necessidade por sistemas cada vez mais otimizados e funcionais, verticalizando o ambiente urbano para abrigar uma quantidade populacional cada vez maior (Figura 2).

Figura 2: Comparação da conformação da Radial Leste na altura do atual Viaduto Carlos Ferraci, em São Paulo, nos anos de 1930 (à esquerda) e 2019 (à direita).



Fonte: DA SILVA (2020).

Tais edificações necessitam de planos de controle, tanto por questões de planejamento do espaço urbano antes da execução das obras, quanto por questões de risco contra incêndios na etapa de uso.

O DECRETO Nº 63.911/ 2018 do Estado de São Paulo (ASSEMBLÉIA LEGISLATIVA DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2018) conceitua edificação como “área construída destinada a abrigar atividade humana ou qualquer instalação, equipamento ou material”, e ocupação como “atividade ou uso de uma edificação”. A delimitação do escopo deste trabalho será as edificações cujas ocupações são os usos residencial e comercial.

As classificações quanto às categorias de ocupação nos decretos que guiam os corpos de bombeiros em cada Estado brasileiro podem variar entre si, mas de forma geral podemos classificar edificações residenciais e comerciais nas elencadas a seguir, obtidas dos Decretos 63.911/ 2018 do Estado de São Paulo e 44270/2006 do Estado de Minas Gerais, elaborados por suas respectivas Assembleias Legislativas:

Residencial:

A1 – Habitação Unifamiliar: Casas térreas ou assobradadas (isoladas e não isoladas) e condomínios horizontais.

A2 – Habitação Multifamiliar: Edifícios de apartamento em geral.

A3 – Habitação Coletiva: Pensionatos, internatos, alojamentos, mosteiros, conventos, residências geriátricas. Capacidade máxima de 16 leitos, sem acompanhamento médico.

Comercial:

C1 – Comércio com baixa carga de incêndio: Armarinhos, artigos de metal, louças, artigos hospitalares e outros.

C2 – Comércio com alta carga de incêndio: Edifícios de lojas de departamentos, magazines, galerias comerciais, supermercados em geral, mercados e outros.

C3 – Centro de compras: Centro de compras em geral (shopping centers).

Quanto ao porte da edificação, há diferentes vieses que os classificam, seja no âmbito de Proteção e Controle de Riscos de Incêndio, de Licenciamento Ambiental ou de Planejamento Urbano.

Pelo viés de Proteção e Controle de Riscos de Incêndio, as edificações podem ser classificadas quanto à altura (ASSEMBLÉIA LEGISLATIVA DO ESTADO DE MINAS GERAIS, 2006; ASSEMBLÉIA LEGISLATIVA DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2018), conforme ilustrado na Tabela 2.

Tabela 2: Porte das edificações conforme a altura.

Tipo	Denominação	Altura
I	Edificação Baixa	$H \leq 12,00$ m
II	Edificação de Média Altura	$12,00 \text{ m} < H < 30,00$ m
III	Edificação Mediamente Alta	$30,00 \text{ m} < H \leq 54,00$ m
IV	Edificação Alta	Acima de 54,00 m

Fonte: ASSEMBLÉIA LEGISLATIVA DO ESTADO DE MINAS GERAIS (2006).

Pelo viés do licenciamento ambiental, um loteamento residencial pode ser classificado como grande conforme a quantidade de habitantes por hectare (Densidade Bruta > 70 hab/ha), ou em casos de área total excepcional (área total > 100 ha). Já o comercial pode ser classificado pela área ou pelo número de empregados. Em “Comércio atacadista de produtos, subprodutos e resíduos de origem animal exclusive produtos alimentícios”, por exemplo, é considerado grande porte empreendimento com área útil acima de 10 hectares ou com um número de empregados acima de 80 (CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL - COPAM, 2017; REVISTA DO MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DE MINAS GERAIS, 2017).

O órgão ambiental pode ainda classificar o porte dos empreendimentos conforme o faturamento anual ou receita bruta (CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE - COEMA - DO CEARÁ, 2019; PLANALTO, 1981). A Política Nacional do Meio Ambiente (Lei Federal Nº 6.938/81), por exemplo, considera “empresa de grande porte, a pessoa jurídica que tiver receita bruta anual superior a R\$ 12.000.000,00 (doze milhões de reais)”.

Pelo viés de Planejamento Urbano, o porte do empreendimento pode ser considerado conforme a área edificável, capaz de determinar a quantidade de pavimentos de um edifício. Para o Plano Diretor de Porto Alegre/RS (PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE, 2010), por exemplo, no contexto de empreendimentos, “considera-se de grande porte o empreendimento ou atividade com área adensável

superior a 30.000 m² (trinta mil metros quadrados) ou com guarda de veículos superior a 400 (quatrocentas) vagas”.

Quanto à altura das edificações, em Porto Alegre/RS, estas podem variar de 9 a mais de 52 m dependendo da região onde se localizam dentro do município ou se houve aquisição de índices adensáveis (IA). Já o Plano Diretor do município do Rio de Janeiro (PREFEITURA MUNICIPAL DO RIO DE JANEIRO, 2009) apresenta, por meio do Decreto Municipal 322/1976, o gabarito de altura (altura máxima dos prédios) variando de 5 a 18 pavimentos, o que, tomando como 3,5 m a altura de cada andar, pode corresponder a valores de 18 a 63 m.

Na Lei Municipal Nº 9069/2016, que dispõe sobre o plano diretor de Salvador (BA) (PREFEITURA MUNICIPAL DE SALVADOR, 2016), em seu artigo 165, entende-se que as Zonas Predominantemente Residenciais (ZPR) – sem exclusão dos usos não residenciais – podem ser classificadas conforme o porte, e o que dita esse fator é o coeficiente de aproveitamento máximo das edificações:

III - ZPR-3, de alta densidade construtiva e demográfica, compreendendo edificações com padrão vertical de grande porte, destinados a usos residenciais, admitindo também usos não residenciais.

§ 1º Serão enquadradas como ZPR as quadras destinadas à habitação uniresidencial e multiresidencial, tendo como referência o **coeficiente de aproveitamento máximo das edificações** desses loteamentos para o enquadramento em ZPR-1, ZPR-2 ou ZPR-3, prevalecendo sobre esses loteamentos as regras de uso e ocupação do solo definidas nos respectivos Termos de Acordo e Compromisso, conforme estabelece o art. 162 desta Lei.

O **Coefficiente de Aproveitamento (CA)**, ou Índice de Aproveitamento (IA), está relacionado com o porte da edificação, pois indica a quantidade total de pavimentos que podem ser construídos em um terreno, considerando a área do terreno e a soma das áreas de cada pavimento a ser construído (Equação 1).

$$CA = \frac{\text{Área construída computável}}{\text{Área total do terreno}} \quad (1)$$

Entende-se por Área construída computável as áreas de qualquer pavimento, excetuando-se as destinadas a uso comum (tais como garagens, áreas de lazer, ou mesmo o térreo caso sua destinação também seja de uso comum) (PREFEITURA DE SÃO JOSÉ DOS PINHAIS, [s. d.]; PREFEITURA DE SÃO PAULO, [s. d.]). O coeficiente de aproveitamento varia conforme os objetivos do Plano Diretor para cada área do município, uma vez que cada município deve ser capaz de realizar o zoneamento e avaliar as potencialidades e necessidades de suas zonas.

Em municípios do Paraná, tem-se que, em áreas sem definição de zoneamento, CA = 1 (CÂMARA MUNICIPAL DE SAUDADE DO IGUAÇU, 2010). Em São Paulo, também de forma bastante genérica, o CA básico é 1 (Tabela 3). Já, no Rio de Janeiro, pode chegar a 11 dependendo da localidade, embora a maioria dos bairros se localizem em áreas de CA = 3,5 e 4 (Figura 3).

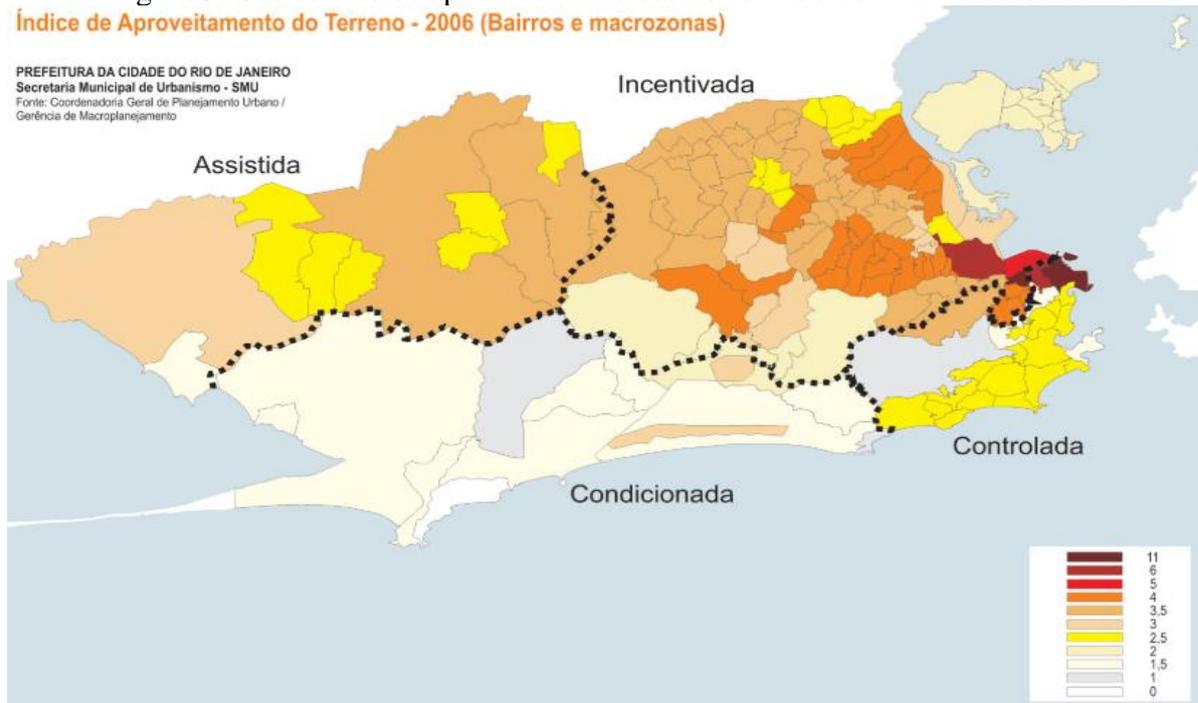
Tabela 3: Coeficientes de aproveitamento, gabarito da edificação e número máximo de pavimentos conforme o Plano Diretor do município de São Paulo.

Macrozonas	Macroáreas	Coeficiente de aproveitamento			Gabarito da edificação (m)	Nº máximo de pavimentos	
		mínimo	básico	máximo			
Macrozona de Estruturação e qualificação Urbana	Arco Tietê	0,5	1	2	28	Térreo mais 8	
	Centro	0,5	1	2	28	Térreo mais 8	
	Arco Jurubatuba	0,5	1	2	28	Térreo mais 8	
	Arco Pinheiros	0,5	1	2	28	Térreo mais 8	
	Arco Tamanduateí	0,5	1	2	28	Térreo mais 8	
	Estruturação Metropolitana Faria Lima/Águas Espraiadas/Chucri Zaidan	0,5	1	2	28	Térreo mais 8	
	Arco Jacu-Pêssego	0,5	1	2	28	Térreo mais 8	
	Avenida Cupecê	0,5	1	2	28	Térreo mais 8	
	Arco Leste	0,3	1	2	28	Térreo mais 8	
	Noroeste	0,3	1	2	28	Térreo mais 8	
	Fernão Dias	0,3	1	2	28	Térreo mais 8	
	Urbanização Consolidada	0,3	1	2	28	Térreo mais 8	
	Qualificação da Urbanização	0,3	1	2	28	Térreo mais 8	
	Redução da Vulnerabilidade	0,3	1	2	28	Térreo mais 8	
Macrozona de proteção e recuperação ambiental	Fora da área de proteção aos mananciais	Redução da Vulnerabilidade Urbana e Recuperação Ambiental	NA	1	1	15	Térreo mais 4
	Área de proteção aos mananciais	Controle e Qualificação Urbana Ambiental	NA	1	1	15	Térreo mais 4
		Preservação de ecossistemas Naturais	NA	NA	NA	NA	NA
		Contenção Urbana e Uso Sustentável	NA	0,1	0,1	15	NA
		Preservação de Ecossistemas Naturais	NA	NA	NA	NA	NA

NA: Não se Aplica

Fonte: Adaptado de PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO (2014).

Figura 3: Coeficiente de aproveitamento básico retirado do Plano Diretor do RJ.
Índice de Aproveitamento do Terreno - 2006 (Bairros e macrozonas)



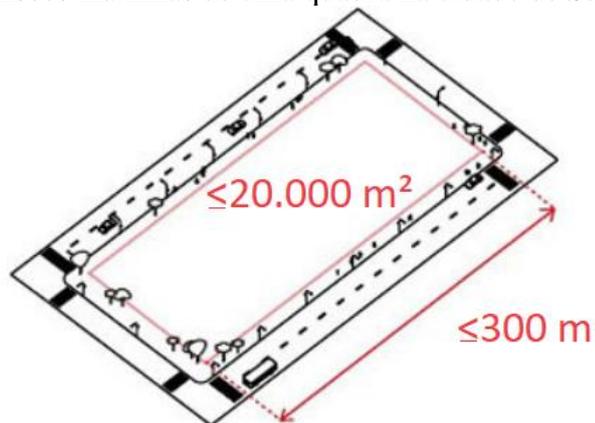
Fonte: PREFEITURA MUNICIPAL DO RIO DE JANEIRO (2009, p. 63).

Há três tipos de CAs, os quais delimitam da menor à maior faixa construtiva: mínimo, básico e máximo (Tabela 3). O CA básico se refere ao quanto de área pode ser construída sem receber autorização e tarifa extra (outorga onerosa). A diferença entre o quanto a edificação pode “crescer” e o quanto é permitido pelo CA básico é denominado Potencial Construtivo, Outorga Onerosa do Direito de Construir ou Solo Criado. Sendo assim, é possível haver edificações acima do CA indicado pela região, desde que o porte do empreendimento seja assim outorgado e licenciado pelo órgão municipal competente.

Contudo, de forma geral, há nos Planos Diretores Municipais impeditivos para que determinadas edificações não sejam grandes demais em certas áreas, buscando dessa forma conter o processo de verticalização dispersa. Em São Paulo, a altura máxima nas zonas centrais dos bairros é de 28 m (“térreo mais 8 pavimentos”), em áreas de urbanização consolidada e centros urbanos, e de 15 m (“Térreo mais 4 pavimentos”) em áreas de “Redução da Vulnerabilidade Urbana e Recuperação Ambiental”. Além disso, caso a área computável de construção ultrapasse 20.000 m², a construtora deve fornecer auxílio a moradias populares, chamada de “cota pela solidariedade”, no equivalente a 10% da área construída computável. Essa cota pode ser fornecida ao Fundo de Desenvolvimento Urbano (FUNDURB) tanto na forma de construção de edificações, quanto de concessão de terreno ou de envio de recursos financeiros (PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO, 2014; SECRETARIA DO GOVERNO MUNICIPAL

DE SÃO PAULO, 2016; SECRETÁRIO DO GOVERNO MUNICIPAL DE SÃO PAULO, 2014). Conforme ilustrado na Figura 4, a área de 20.000 m² também é considerada como área máxima permitida para o tamanho de uma quadra em zona urbana de São Paulo, tendo as dimensões da face da quadra de no máximo 300 m.

Figura 4: Dimensões máximas de uma quadra na cidade de São Paulo.



Fonte: Adaptado de SECRETARIA MUNICIPAL DE URBANISMO E LICENCIAMENTO (SMUL) DA PREFEITURA DE SÃO PAULO, [s. d.].

Além dos vieses de Segurança Contra Incêndio, de Licenciamento Ambiental e de Planejamento Urbano, na questão de escolha dos tipos de unidades residenciais, unidades de 2 e 3 quartos costumam ser as preferidas, nessa mesma ordem, para compra. Dados da Empresa Brasileira de Estudos de Patrimônio (EMBRAESP) apontam o lançamento de 4.011 unidades de 3 dormitórios e 11.639 unidades de 2 dormitórios no ano de 2016 (EMBRAESP, 2017, p. 20), conforme se observa na Tabela 4.

Tabela 4: Informações gerais sobre os Lançamentos Residenciais (verticais e horizontais) no Município de São Paulo.

Especificação	Ano	1 Dor	2 Dor	3 Dor	4 ou + Dorm	Todos
Nº Lançamentos	2012	29	146	73	39	287
	2013	61	241	147	42	491
	2014	74	175	104	26	379
	2015	40	197	85	17	339
	2016	20	111	52	18	201
Nº Unidades-tipo	2012	4.800	14.321	6.566	2.830	28.517
	2013	9.477	13.671	8.588	2.452	34.188
	2014	10.918	14.369	7.094	1.574	33.955
	2015	6.058	12.615	3.710	657	23.040
	2016	2.917	11.639	4.011	792	19.359
Nº Médio de Garagens	2012	0,92	1,13	1,71	3,27	1,44
	2013	0,84	1,12	1,81	3,08	1,36
	2014	0,74	1,17	1,80	2,83	1,24
	2015	0,56	1,00	1,82	3,6	1,09
	2016	0,78	0,98	1,71	2,99	1,18
Nº Médio de Banheiros	2012	1,00	1,50	2,09	3,28	1,73
	2013	1,01	1,52	2,09	3,25	1,65
	2014	1,00	1,56	2,10	3,02	1,56
	2015	1,00	1,34	2,06	3,28	1,42
	2016	1,00	1,47	2,11	3,23	1,60
Total	2012	379.636	337.334	559.610	1.645.212	525.426
	2013	443.200	385.436	669.933	2.039.646	591.556
	2014	444.181	431.664	732.422	1.718.476	558.175
	2015	373.694	352.370	677.541	3.265.109	493.396
	2016	367.204	363.057	739.873	2.362.592	523.558
Preço médio em R\$ Por m² de Área Útil	2012	9.607	5.969	6.513	8.860	7.174
	2013	10.936	6.742	7.635	10.513	8.445
	2014	12.184	7.620	8.322	10.330	9.033
	2015	10.792	6.767	7.896	14.918	8.555
	2016	10.153	6.994	8.834	13.980	8.593
Por m² de Área Total	2012	4.790	3.219	3.477	4.533	3.729
	2013	5.446	3.741	3.997	5.785	4.510
	2014	6.305	4.004	4.330	5.696	4.746
	2015	5.857	3.802	4.303	8.352	4.743
	2016	5.509	3.794	4.782	7.509	4.653

Fonte: EMBRAESP (2017, p. 20).

Dos dados da PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO (2019), é possível deduzir que as edificações residenciais do tipo vertical de médio padrão constituem o uso predominante do município de São Paulo. Já, quanto às atividades comerciais, a tipologia de uso classificada como “comércio e serviço horizontal” apresenta a maior quantidade de lotes destinadas para esta categoria (Tabela 5).

Tabela 5: Áreas por categoria de uso no Município de São Paulo.

Unidades Territoriais	Uso H		A. Terreno	A. Construída	Nº Lotes	A.Construída/A.Terreno
Município de São Paulo	1	RES.HOR.BAIXO PADRÃO	123.965.667	57.939.471	639.489	0,48
	2	RES.HOR.MEDIO PADRÃO	115.791.161	88.257.457	588.733	0,76
	3	RES.HOR.ALTO PADRÃO	29.184.430	18.964.968	53.872	0,65
	4	RES.VERT.MEDIO PADRÃO	22.708.375	97.268.636	980.605	4,28
	5	RES.VERT.ALTO PADRÃO	13.327.535	70.262.178	314.155	5,27
	6	COMÉRCIO E SERVIÇO HORIZONTAL	87.179.531	66.917.529	234.052	0,78
	7	COMÉRCIO E SERVIÇO VERTICAL	16.014.675	52.305.955	209.962	3,27
	8	INDUSTRIAL	28.148.514	17.921.502	13.273	0,64
	9	ARMAZÉNS E DEPÓSITOS	15.543.697	8.361.995	8.429	0,54
	10	USO ESPECIAL (Hotel, Hospital, Cartório, Etc.)	28.487.329	12.765.551	31.542	0,45
	11	ESCOLA	19.149.300	10.475.101	6.859	0,55
	12	USO COLETIVO (Cinema, Teatro, Clube, Templo, Etc.)	26.666.578	10.720.824	9.851	0,40
	13	TERRENOS VAGOS	83.511.157	0	110.836	0,00
	14	RES.VERT.BAIXO PADRÃO	11.678.342	15.914.951	231.488	1,36
	15	GARAGENS	2.727.575	1.261.429	11.999	0,46
	99	OUTROS USOS (Uso e Padrão não previsto)	1.349.702	1.363.180	5.712	1,00
	Total		625.433.568	530.700.727	3.450.857	0,85

Fonte: Adaptado de PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO (2019).

3.2. ESGOTOS DOMÉSTICOS GERADOS EM EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS E COMERCIAIS DE GRANDE PORTE

As edificações residenciais e comerciais de grande porte têm alta capacidade de adensamento populacional, gerando maior volume de esgotos domésticos, os quais serão tratados neste item.

3.2.1. Esgotos: Problemática e Panorama Nacional

3.2.1.1. Problemática

Dentre as preocupações relacionadas aos esgotos domésticos estão as doenças de veiculação hídrica: Diarreias, Febres entéricas, Hepatite A, Helmintíases, Teníases, Tracoma, doenças de pele e micoses, entre outros. Estima-se que nos anos de 1996 a 1999, os “óbitos por Doenças Infecto-Parasitárias (DIP)” representavam cerca de 5,3% dos

óbitos no país (Costa et al; 2004, p. 8). Os cuidados com o tratamento de esgoto doméstico são, portanto, uma importante questão de saúde pública e econômica, devido aos gastos com o sistema de saúde.

Além das doenças, a liberação de esgotos sem o devido tratamento acarreta sérios problemas aos corpos hídricos receptores, como redução de oxigênio dissolvido (OD) e eutrofização. O primeiro, em níveis abaixo de 2 mg/L, culmina na morte de peixes, alguns inclusive de valor comercial. O segundo acarreta problemas no abastecimento público e encarecimento de seu sistema de tratamento, liberação de amônia livre (NH_3^+ , que é tóxica para peixes), sabor e odor desagradáveis na água, liberação de gás sulfídrico, problemas com navegabilidade, redução do potencial turístico da localidade, e custos associados à remoção da camada vegetal (CETESB, 2020a; VON SPERLING, 2014).

Somado a isso também há a questão dos produtos medicamentosos e de higiene e cuidados pessoais, dos quais alguns compostos podem causar danos à biota e aos ecossistemas (SANTOS *et al.*, 2010). Dos potenciais danos ambientais relacionados aos poluentes de preocupação emergente, podem-se citar: desenvolvimento de bactérias multiresistentes (DA SILVA e COLLINS, 2011; LORAINE e PETTIGROVE, 2006; WHO, 2018); alteração dos ecossistemas edáfico (DALKMANN *et al.*, 2012; LIU *et al.*, 2009) e aquático (DIAS, 2019; KIDD *et al.*, 2007; LEE e ARNOLD, 1983).

Todas essas questões resumidamente relatadas fazem notar a importância de se atentar aos esgotos urbanos como forma de garantir a manutenção da sustentabilidade e do bem-estar social.

3.2.1.2. Panorama Nacional

O saneamento no Brasil vem avançando, mas ainda há muito a ser feito. Cerca de 28% do total de 5.570 municípios brasileiros tratam acima de 90% do esgoto que é coletado, 12,66% possuem tratamento inferior a 30% e os que não possuem rede coletora de esgotos ou não possuem informação referente a isso na plataforma SNIS, juntos, somam 54,83% (Tabela 6) (SNIS, 2019, p. 69).

Tabela 6: Índice de tratamento de esgoto coletado (IN016) nos municípios brasileiros.

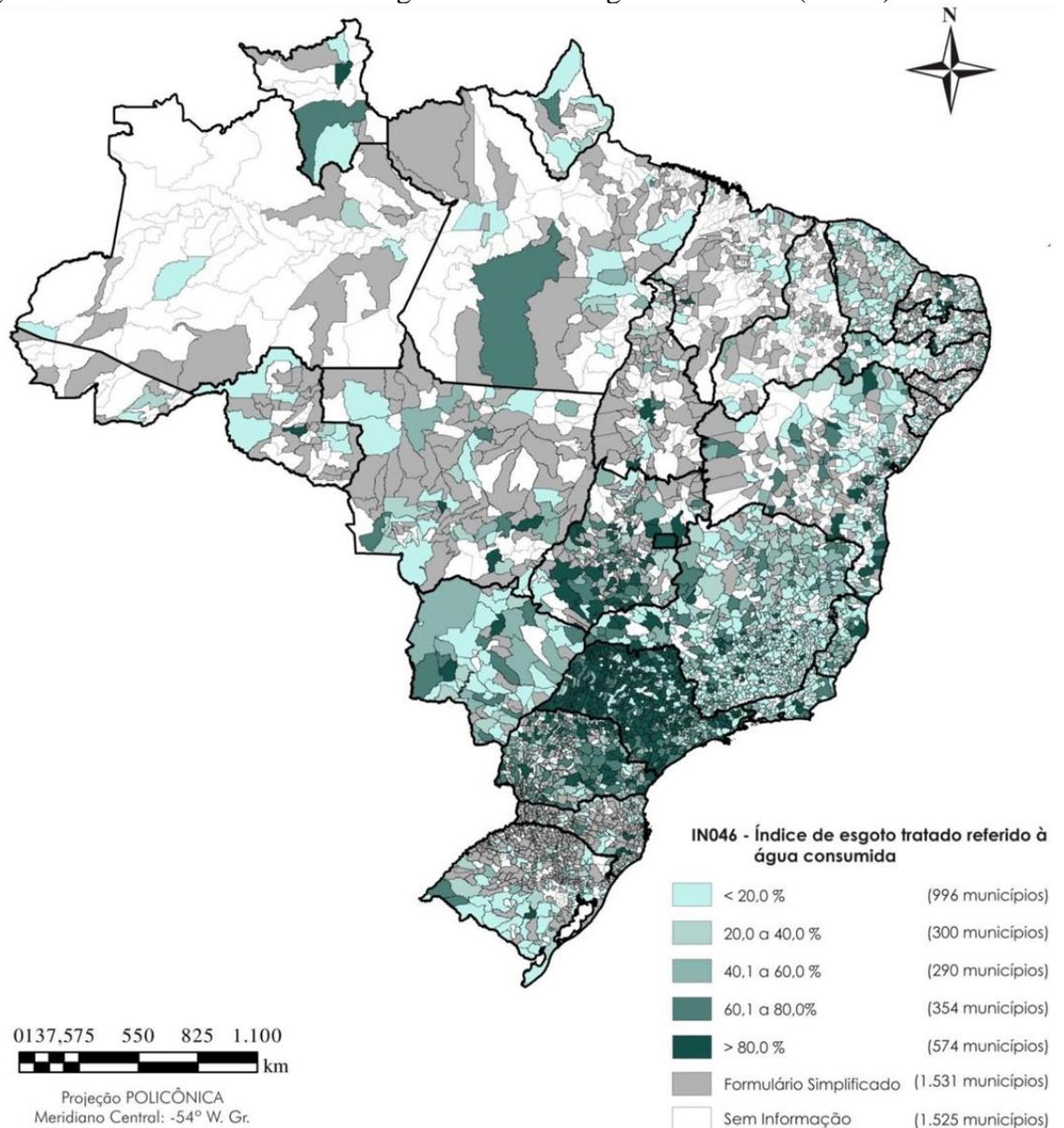
Tratamento de esgoto coletado	Municípios	% Municípios
Acima de 90,0%;	1.580	28,37%
De 60,1 a 90,0%;	133	2,39%
De 30,0 a 60,0%;	98	1,76%
Inferior a 30%.	705	12,66%
Não possuem rede coletora de esgotos	1.531	27,49%
Não possuem informação	1.523	27,34%
Total	5.570	100,00%

Fonte: Adaptado de SNIS (2019).

Mesmo nos casos em que há coleta de esgotos, nem sempre este é efetivo. A exemplo disso tem-se o caso da Barra Limpa/RJ, no qual, segundo MOURA (2021), a falta de funcionamento de bombas da CEDAE e demais equipamentos inoperantes ou em situação precária, somada à presença de cerca de 356 condomínios não ligados à rede coletora de esgotos e sem estação de tratamento de esgotos (ETE) própria ocasionou em poluição visível na praia “balneável” da região.

Na Figura 5 se ilustra o volume de esgoto tratado que foi medido ou estimado nas entradas das ETES em relação ao que se tem de informações de volume de água consumida na plataforma SNIS (m³/ano). Vale ressaltar que esse valor dificilmente ultrapassará 90%, pois ocorrem perdas no consumo de água antes de chegar no esgoto. Caso o valor resulte acima de 100%, deduz-se que o motivo é entrada de água pluvial na rede de esgoto (SNIS, 2019).

Figura 5: Índice de tratamento de esgotos referido à água consumida (IN046).



Fonte: Malha municipal digital do Brasil, Base de Informações Municipais 4. IBGE, 2003. Dados: SNIS, 2018.

Fonte: SNIS (2019, p. 71).

Como é possível perceber, ainda há grandes desafios a serem cumpridos quanto ao tratamento de esgotos no Brasil. Sob esse aspecto, faz-se importante buscar novos meios de tratá-lo e preferencialmente gerar um produto capaz de incentivar a questão do tratamento de esgotos domésticos no país.

3.2.2. Caracterização qualitativa dos esgotos domésticos

As principais características físicas dos esgotos domésticos são **temperatura, cor, odor e turbidez**. A temperatura tende a ser ligeiramente superior à água limpa posta sobre as mesmas condições climáticas; a cor gira em torno de cinza a preto, sendo mais escuro quanto mais séptico; odor de relativamente desagradável a fétido, devido à liberação de gás sulfídrico por processos de biodegradação; elevada turbidez devido aos sólidos em suspensão, sendo que quanto maior a concentração de esgoto ou o seu frescor, maior a turbidez (VON SPERLING, 2014).

As principais características físico-químicas dos esgotos domésticos normalmente registradas são **sólidos totais, matéria orgânica, nitrogênio total, fósforo, pH, alcalinidade, cloretos e óleos e graxas** (VON SPERLING, 2014).

Os sólidos totais presentes na matéria líquida podem ser classificados como orgânicos e inorgânicos, suspensos e dissolvidos, e sedimentáveis. Os sólidos suspensos (ou em suspensão) correspondem à fração de sólidos orgânicos e inorgânicos que são retidos em filtros de abertura padronizada entre 0,45 e 2,0 μm . Já os sólidos dissolvidos se tratam da fração de sólidos orgânicos e inorgânicos que não foram retidos no filtro. Tanto os sólidos em suspensão quanto os dissolvidos podem ser subdivididos em fixos ou voláteis. Fixos significa que se tratam de componentes minerais, enquanto voláteis, de componentes orgânicos.

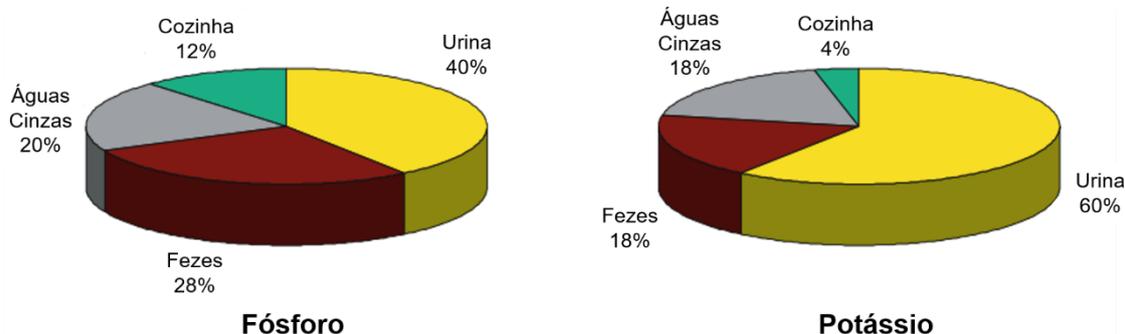
A Matéria Orgânica é uma mistura heterogênea formada de diversos compostos orgânicos, cujos principais componentes são proteínas, carboidratos e lipídios. Sua determinação pode se dar de forma indireta, utilizando-se como medidores a DBO_5 (Demanda Bioquímica de Oxigênio, medida a 5 dias, a 20°C – está associada à fração biodegradável dos componentes carbonáceos do esgoto, significando o oxigênio consumido após 5 dias de oxidação bioquímica da matéria orgânica por parte dos microrganismos), DQO (Demanda Química de Oxigênio – quantidade de oxigênio requerida para estabilização química da Matéria Orgânica Carbonácea, sua medição utiliza fortes agentes oxidantes, tais como Dicromato de Potássio, em condições ácidas), DBO última (Demanda Última de Oxigênio – consumo total de oxigênio necessário para oxidação bioquímica da matéria orgânica por parte dos microrganismos ao final de vários dias), como também de forma direta, por meio do COT (Carbono Orgânico Total – essa medida direta da matéria orgânica carbonácea se obtém pela conversão do carbono orgânico a gás carbônico).

O nitrogênio (N) é um nutriente indispensável para o desenvolvimento dos microrganismos no esgoto. O nitrogênio total inclui as seguintes formas deste nutriente: nitrogênio orgânico (N presente na forma de proteínas e ureia), amônia (fruto da primeira reação de oxidação do nitrogênio orgânico), nitrito (primeira oxidação da amônia) e nitrato (segunda oxidação da amônia). A presença de nitritos e nitratos indica a idade da contaminação de um corpo hídrico por esgoto bruto, sendo este praticamente ausente em nitritos e nitratos, que são compostos oriundos indiretamente da degradação do nitrogênio orgânico.

Assim como o nitrogênio, o fósforo (P) é outro nutriente comumente avaliado, sendo considerado indispensável ao tratamento biológico. O fósforo total se subdivide em orgânico (presente de forma combinada à Matéria Orgânica) e inorgânico (ortofosfatos e polifosfatos).

O potássio, apesar de ser outro nutriente igualmente importante, juntamente com o nitrogênio e o fósforo, não costuma ser avaliado. Em termos de nutriente limitante, tende-se a focar no fósforo como medida de potencial crescimento ou redução vegetal nos corpos hídricos (VON SPERLING, 2014, p. 226). O fósforo apresenta grandes concentrações nos corpos hídricos contaminados com esgotos domésticos, estando associado às “fezes humanas, detergentes para limpeza doméstica e outros subprodutos das atividades humanas” (VON SPERLING, 2014, p. 227). Não coincidentemente, nas excretas humanas (fezes e urina) e detergentes (Águas Cinzas, ou *Greywater*) há teores significativos de potássio, os quais poderiam ser aproveitados como fertilizante agrícola (Figura 6).

Figura 6: Distribuição dos nutrientes fósforo e potássio nos principais fluxos de águas domésticas.



Fonte: KUJAWA-ROELEVELD e ZEEMAN (2006, p. 117).

O pH é um indicador das características ácidas ou básicas do efluente. Seu controle é importante para garantir a manutenção adequada dos processos biológicos usados no tratamento do efluente, uma vez que a oxidação da matéria orgânica tende a reduzir o pH, e o avanço do processo de biodegradação tende a gerar faixas de pH adequadas à sobrevivência de tipos específicos de microrganismos de interesse para a biodegradação do esgoto (tratamento do efluente).

A alcalinidade indica por vezes a resistência de variação do pH por meio do efeito tampão, ocorrido pela presença de bicarbonatos, carbonatos e íons hidroxila. Já os cloretos são bons indicadores de águas provenientes de abastecimento e dos dejetos humanos. Por fim, os óleos e graxas presentes nos esgotos domésticos são provenientes em geral de utilizações alimentícias.

Quanto aos parâmetros biológicos, eles são importantes tanto pela questão de degradação da matéria orgânica e inorgânica presente nos esgotos quanto pelo entendimento do grau de contaminação por parasitas e de seu potencial infeccioso. Sob este último viés, os coliformes fecais são importantes indicadores biológicos no quesito contaminação e saúde, visto que apontam a existência de excretas nos corpos hídricos. Sob o viés de tratamento do efluente, são analisados o crescimento de bactérias decompositoras diversas, bem como algas decompositoras, como forma de auxílio à transformação do esgoto bruto em formas menos complexas e, posteriormente, obtenção de um clarificado com teor reduzido de contaminação deste efluente.

Assim como a quantidade e tipo de esgotos domésticos liberados das edificações variam consideravelmente, o mesmo ocorre quanto às suas características físicas, químicas e biológicas gerais. Como padrão, VON SPERLING (2014, p.110) apresenta alguns valores de referência (Tabela 7), os quais devem ser utilizados apenas para se elucidar valores comuns encontrados para esgotos sanitários (sistema centralizado e sem separação na fonte).

Tabela 7: Características físico-químicas dos esgotos sanitários.

Parâmetro	Contribuição per capita (g/hab.d)		Concentração		
	Faixa	Típico	Unidade	Faixa	Típico
Sólidos totais	120 – 220	180	mg/L	700 – 1350	1100
• Em suspensão	35 – 70	60	mg/L	200 – 450	350
○ Fixos	7 – 14	10	mg/L	40 – 100	80
○ Voláteis	25 – 60	50	mg/L	165 – 350	320
• Dissolvidos	85 – 150	120	mg/L	500 – 900	700
○ Fixos	50 – 90	70	mg/L	300 – 550	400
○ Voláteis	35 – 60	50	mg/L	200 – 350	300
• Sedimentáveis	-	-	mL/L	10 - 20	15
Matéria orgânica					
• DBO ₅	40 – 60	50	mg/L	250 – 400	300
• DQO	80 – 120	100	mg/L	450 – 800	600
• DBO _{última}	60 – 90	75	mg/L	350 – 600	450
Nitrogênio total	6,0 – 10,0	8,0	mgN/L	35 – 60	45
• N orgânico	2,5 – 4,0	3,5	mgN/L	15 - 25	20
• Amônia	3,5 – 6,0	4,5	mgNH ₃ -N/L	20 – 35	25
• Nitrito	≈ 0	≈ 0	mgNO ₂ ⁻ - N/L	≈ 0	≈ 0
• Nitrato	0,0 – 0,2	≈ 0	mgNO ₃ ⁻ - N/L	0 – 1	≈ 0
Fósforo	0,7 – 2,5	1,0	mgP/L	4 – 15	7
• P orgânico	0,2 – 1,0	0,3	mgP/L	1 – 6	2
• P inorgânico	0,25 – 1,5	0,7	mgP/L	3 – 9	5
pH	-	-	-	6,7 – 8,0	7,0
Alcalinidade	20 – 40	30	mgCaCO ₃ /L	100 – 250	200
Metais tóxicos	≈ 0	≈ 0	mg/L	Traços	Traços
Compostos orgân. tóxicos	≈ 0	≈ 0	mg/L	Traços	Traços

Fonte: Adaptado de VON SPERLING (2014, p. 110).

Quanto às características biológicas, há que se atentar para o crescimento de vegetação, relacionado aos altos teores de nutrientes. Outro fator microbiológico de interesse são os parasitas presentes nos corpos hídricos, nos quais se destaca a análise dos coliformes totais

Não é usual analisar a carga de potássio presente no esgoto doméstico. Mesmo assim, nos estudos apresentados no item 3.3.3 (página 55), há estimativas da composição deste elemento nos esgotos domésticos.

A análise qualitativa dos esgotos permite também entender sobre a eficiência de um processo de tratamento de esgotos. O tratamento de esgotos domésticos pode se dar de diversas formas, seja utilizando-se culturas vegetais, tais como o wetlands construídos (IWA, 2013; WETLANDS CONSTRUÍDOS, [s. d.]), seja utilizando outros processos físicos ou biológicos, como o que ocorre em estações compactas de tratamento de esgotos, envolvendo ou não processo avançados, dentre os quais se encontram as membranas. Esse assunto será melhor abordado a partir do item 5.3.3.

Como prévia, ao que será abordado, acrescenta-se que o reúso, o qual já ocorre em certos aglomerados urbanos de grande porte, auxilia na redução da pressão sobre as fontes hídricas. Sob esse aspecto, tecnologias de membranas, tanto as conduzidas por gradiente e pressão (microfiltração, ultrafiltração, nanofiltração e osmose reversa) como as conduzidas por gradiente de potencial elétrico (eletrodialise), são aplicáveis ao tratamento de água e esgoto (BERNARDES; RODRIGUES; FERREIRA, 2014). O custo de um processo de membranas é proporcional a fatores como o número de íons removidos da solução, capacidade e tamanho da planta, área de membrana necessária, vida útil, viscosidade e propriedades do fluido a ser tratado. Segundo BERNARDES e RODRIGUES (2014, p. 73), há avaliação favorável da eletrodialise por causa de vários fatores, tais como: alta recuperação de água, pré-tratamento simples da água de alimentação, menos suscetibilidade a incrustações e depósitos e menores custos operacionais.

3.2.3. Caracterização quantitativa dos esgotos domésticos

Os esgotos domésticos são o produto resultante do uso da água em domicílios, atividades comerciais e institucionais. Sua vazão normalmente é calculada com base no consumo de água da respectiva localidade, o qual se faz por meio da população de projeto (ou seja, população estimada para a respectiva edificação) e do consumo diário médio de cada habitante. Pode-se estimar vazões de esgotos equivalentes a 80% (ABNT, 1993) ou entre 80% e 85% (SNIS, 2018, p. 17) do consumo de água.

O consumo varia significativamente conforme o uso da edificação, o qual é influenciado pelo clima, situação social e econômica, e hábitos da população (VON SPERLING, 2014, p. 83). Ele pode ser subdividido conforme as seguintes categorias de uso: residencial, comercial, industrial e público (TOMAZ, 1999; TSUTIYA, 2006).

Ao comparar essas categorias (Tabela 8), TSUTIYA (2006) nos mostra, por meio de fontes da SAPESP (2002), que o número de ligações de águas de uso residencial na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) são predominantes aos demais usos. FIORI, FERNANDES e PIZZO (2006) têm conclusões semelhantes ao analisar, ao invés de ligações de água, o esgoto coletado para uma aglomeração urbana presente no Estado do Rio Grande do Sul por meio de fontes da Prefeitura de Passo Fundo. Portanto, em zonas onde há adensamentos urbanos, os consumos predominantes são de natureza residencial e comercial, respectivamente (Tabela 8).

Tabela 8: Água e Esgoto por categoria de uso em duas distintas aglomerações urbanas.

Categoria	Ligações de água na RMSP	Esgoto coletado em Passo Fundo/ RS
Residencial	89,7%	76,3%
Comercial	9,2%	21,2%
Industrial	0,9%	0,0%
Pública	0,2%	2,4%
Total	100%	100%

Fonte: Adaptado de FIORI, FERNANDES e PIZZO (2006) e TSUTIYA (2006).

Na RMSP, o consumo diário de água por habitante no ano de 2017 foi de cerca de 130 L/hab.dia (SABESP, 2017, p. 22). Enquanto isso, o consumo de água populacional do Estado de São Paulo para esse mesmo ano foi de 167,8 L/hab.dia (Tabela 9). A média estadual possivelmente é aumentada pelos usos industriais distantes das aglomerações urbanas. Mesmo assim, conforme (SANTOS, 2019, p. 30), 84,4% do consumo total urbano da região metropolitana de São Paulo corresponde ao residencial, merecendo enfoque especial quanto ao controle do estresse hídrico.

Na Tabela 9 há o consumo para todos os Estados brasileiros entre os anos 2016 e 2018, além do já referido para o Estado de São Paulo. Por meio dela é possível perceber as variações de consumo por região, com destaque para as regiões Sudeste, Sul e Nordeste respectivamente. Observa-se que, embora a região Nordeste seja a segunda com maior número populacional (Figura 1, página 22), a segunda em maior consumo diário por habitante é a região Sul, o que pode ser devido ao padrão de consumo e renda da população, fatores estes que, conforme serão citados mais a frente (página 44), também influem no consumo de água.

Tabela 9: Valores do consumo médio per capita de água (IN022) dos prestadores de serviços participantes do SNIS, em 2016, 2017 e 2018, segundo estado, macrorregião geográfica e Brasil.

Estado / Macrorregião	IN022 (L/hab/dia)			Desvio Padrão
	Ano 2016	Ano 2017	Ano 2018	
Acre	159,7	156,4	150,2	4,8
Amapá	178,5	183,9	178,6	3,1
Amazonas	170,4	95,7	92,1	44,2
Pará	143,3	154,2	153,9	6,2
Rondônia	166,3	138,6	140,2	15,6
Roraima	152,4	132,7	132,1	11,6
Tocantins	140,2	128,9	124,5	8,1
Norte	154,5	132,3	131,8	13,0
Alagoas	96,7	95,8	143,0	27,0
Bahia	111,3	115,6	115,6	2,5
Ceará	125,0	117,6	126,7	4,8
Maranhão	136,5	141,3	136,5	2,8
Paraíba	113,6	116,3	115,3	1,4
Pernambuco	92,3	95,5	95,3	1,8
Piauí	125,7	132,5	105,5	14,0
Rio Grande do Norte	113,8	112	108,1	2,9
Sergipe	116,6	111,9	112,3	2,6
Nordeste	112,5	113,6	115,4	1,5
Espírito Santo	165,1	156,5	160,6	4,3
Minas Gerais	155,2	154,1	155,2	0,6
Rio de Janeiro	248,3	249,7	254,9	3,5
São Paulo	166,0	167,8	169,3	1,7
Sudeste	179,7	180,3	182,6	1,5
Paraná	137,8	139,7	137,9	1,1
Rio Grande do Sul	147,7	147,7	149,9	1,3
Santa Catarina	149,8	151,0	154,0	2,2
Sul	144,2	145,2	146,1	1,0
Distrito Federal	150,5	132,4	135,2	9,7
Goiás	136,8	142,0	139,2	2,6
Mato Grosso	167,4	160,4	161,2	3,8
Mato Grosso do Sul	153,5	157,7	152,5	2,8
Centro-Oeste	148,5	146,1	144,9	1,8
Brasil	154,1	153,6	154,9	0,7

Fonte: Adaptado de SNIS (2019, p. 74).

Segundo JAQUES (2005), o ser humano consome diariamente cerca de 100 a 200 L/hab.dia. Ao analisar os trabalhos de JAQUES (2005) e TOMAZ (1999), percebe-se que alguns autores adotam 189 L/hab.dia, enquanto outros se baseiam no valor limite de 200 L/hab.dia para questões de projeto. Os valores estimados para a RMSP e para o estado de São Paulo, de 130 L/hab.dia e 167,8 L/hab.dia, também estão dentro da faixa proposta por JAQUES (2005), o que mostra que esse intervalo de variação pode ser plausível em termos de quanto um ser humano necessita para as suas atividades diárias.

Reforçando ainda o que foi citado anteriormente quanto às vazões domésticas, segundo a Norma Técnica da Sabesp (NTS 62), que trata do “Estudo de concepção de sistema de esgoto sanitário”, considera-se vazão doméstica os esgotos provindos dos usos residencial, comercial e público (SABESP, 2002), e, das categorias presentes na vazão doméstica, a comumente mais expressiva é a residencial, seguida da comercial.

Há diversas formas de se estimar o consumo de água, desde a previsão de consumo por meio de dispositivos sanitários e de economia utilizados (TOMAZ, 1999; TSUTIYA, 2006) – tal como o Método da Raiz Quadrada (ABNT, 1998) –, até previsão da quantia de usuários ou área construída.

O Método da Raiz Quadrada, também chamado de Método Alemão, utiliza o sistema de distribuição Direta (as tubulações de entrada de água na edificação não estão conectadas na caixa da água, mas diretamente ao sistema público de abastecimento). Contudo, na cidade de São Paulo estima-se que cerca de 80% dos domicílios possuem reservatórios, sendo que os sistemas predominantes no Brasil como um todo são de distribuição indireto (com caixa da água abastecida pela rede pública) e misto (torneiras externas com ligação direta à rede pública e outras, com menor pressão de água, sendo conectadas à caixa da água) (TOMAZ, 1999). Dessa forma, esse método destoa da realidade do Brasil.

O consumo via sistema indireto de distribuição pode ser calculado pela **Demanda Mínima para Suprimento Constante** (TOMAZ, 1999) por meio da Equação 2 :

$$Q_{\text{mínimo}} = \frac{\text{Consumo diário (litros)}}{\text{Segundos em 1 dia (86.400 segundos)}} \quad (2)$$

Outra forma bastante citada é calculada tendo por base estabelecimentos no Estado de São Paulo. Segundo TOMAZ (1999), o método adotado pela SABESP e SAAE de Guarulhos desde a década de 80 consiste em vários modelos de Análise de Regressão Linear Múltipla, tendo sido desenvolvido pela Internacional de Engenharia S.A. VON

SPERLING (2014, p. 72–74) também apresenta novos modelos desenvolvidos pela SABESP e pelo IPT, no Estado de São Paulo. A esses dois métodos desenvolvidos para São Paulo, cujas formulações estão contidas na Tabela 10, daremos o nome de Método SABESP.

O modelo de consumo utilizado para grandes estabelecimentos em São Paulo está resumido na Tabela 10. Este modelo é empírico.

Tabela 10: Modelos para previsão do consumo médio mensal de água em grandes edificações residenciais e comerciais.

Categoria de Consumidor	Consumo médio Mensal (m³/mês)	Referência
Condomínios Residenciais (Prédios de Apartamentos)	-21,7 + 0,0177x(área total construída) + 2,65x(n° de banheiros) + 3,97x(n° de dormitórios)- 50,2x(n° de dormitórios > 3 (sim/não)) ⁽¹⁾ +46x(n° de vagas de garagem/apartamento) ⁽¹⁾ Parâmetro que assume valor 1 ou 0 (há mais de 3 dormitórios por apartamento: 1; caso contrário: 0)	(Tsutiya (2004) apud VON SPERLING, 2014, p. 74)
	(6 x n° de banheiros) + (3 x n° de dormitórios) + (0,01 x área construída) + 30	(Berenhauser e Pulici,1983, SABESP apud TOMAZ, 1999)
Edifícios Comerciais	0,0615 x (área total construída)	(Tsutiya (2004) apud VON SPERLING, 2014, p. 74)
Edifícios Comerciais (Estabelecimentos com mais de 20 funcionários)	(0,08 x área construída)	(Berenhauser e Pulici,1983, SABESP apud TOMAZ, 1999)
Lavanderias industriais	0,02x(kg de roupa/mês)	(Tsutiya (2004) apud VON SPERLING, 2014, p. 74) (Berenhauser e Pulici,1983, SABESP apud TOMAZ, 1999)
Restaurantes	(7,5 x n° de funcionários)+ (8,4 x n° de bacias)	(Tsutiya (2004) apud VON SPERLING, 2014, p. 74) (Berenhauser e Pulici,1983, SABESP apud TOMAZ, 1999)
Shopping Centers	-1692 + 0,348x(área bruta locável) - 0,0325x (área total do terreno) + 0,0493x(área total construída) - 468x(n° de salas de cinema)	(Tsutiya (2004) apud VON SPERLING, 2014, p. 74)

Fontes: Adaptado de TOMAZ (1999) e VON SPERLING (2014).

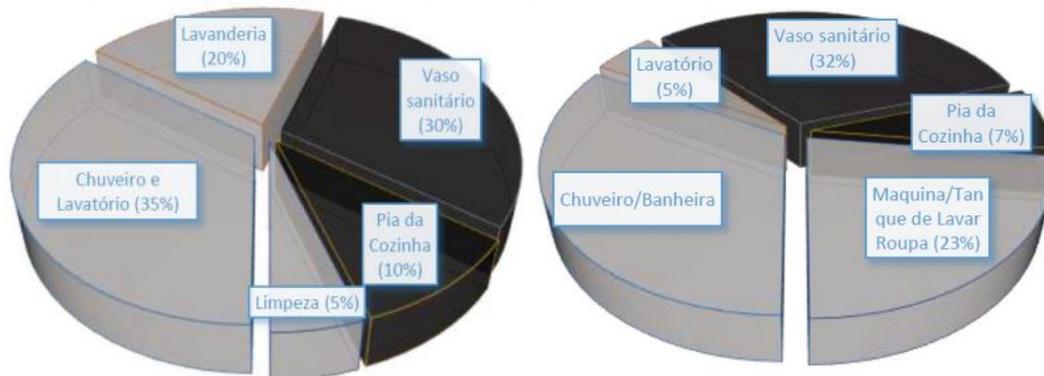
A Demanda Mínima para Suprimento Constante e o Método SABESP produzem resultados parecidos, enquanto o Método da raiz quadrada produz resultados destacadamente maiores para volume de água demandado (TOMAZ, 1999). Isso ocorre, pois o Método da raiz quadrada se refere ao método direto ao invés de indireto para suprimento de água, acabando por gerar valores muito maiores de vazão demandada e destoantes da realidade nacional, cujo método de consumo predominante é indireto ou misto.

Pode haver também o **Sistema dual de abastecimento de água**. Presente em 25% da cidade de São Paulo, esse sistema possui separação da água potável da não potável, sendo esta última utilizada para rega de jardins com fins paisagísticos, descarga sanitária e fins menos nobres não relacionados à ingestão. O uso de água não potável também é tarifado, sendo pago juntamente com a conta de água potável (TOMAZ, 1999).

É válido afirmar que cerca de 30% da água utilizada nas residências pode ser reciclada nos vasos sanitários (MAY, 2009, p. 8). Além disso, as tecnologias de reúso de águas cinzas e utilização de água da chuva podem ser empregadas tanto em edificações de uso residencial quanto não-residencial. Mecanismos como o reúso estão cada vez mais em voga à medida que cresce a necessidade de obtenção de água relacionada à escassez dos recursos hídricos, fato este bastante evidenciado na região Sudeste do Brasil, no qual o elevado número de habitantes e o comprometimento dos recursos hídricos leva a esta problemática (CAVALEIRO, 2014; FIORI; FERNANDES; PIZZO, 2006; JAQUES, 2005; MAY, 2004; SANT'ANA, 2017; TOMAZ, 2010; VIEIRA, 2012).

A Figura 7 exemplifica porcentagens de geração de águas cinzas e negras em uma residência conforme dois estudos diferentes, que utilizaram diferentes tipos de dispositivos de consumo.

Figura 7: Porcentagem de Águas Negras e Cinzas produzidas em uma residência.



Fonte: Elaborado a partir de CLARKE e KING, 2005

Fonte: Elaborado a partir de NSW HEALTH, 2008

Fonte: DE SOUZA (2015).

Os dispositivos de economia também influenciam significativamente no consumo. Reguladores de vazão em chuveiros podem levar a economia de água de até 71%, arejadores econômicos podem levar a uma queda de consumo em torneiras de até 50% (TSUTIYA, 2006). No caso do Brasil, pode-se citar também, como forma de economia de água, a bacia sanitária desenvolvida pela empresa Ecotelhado (ecotelhado.com), no qual é possível realizar a descarga com apenas meio litro de água.

A manutenção de tubulações e dispositivos também contribui significativamente para a redução do consumo de água, podendo ocasionar em perdas severas de água na rede de distribuição tanto pública quanto predial (FIESP, 2005).

Além dos fatores já mencionados, também é interessante apontar o usuário da edificação como uma variante na geração de esgotos. Sob esse aspecto, a NBR 7229:1993 (ABNT, 1993) lista as contribuições de esgoto conforme o tipo de usuário (Tabela 11), tanto para edificações residenciais quanto comerciais.

Tabela 11: Contribuição diária de esgoto (C) e de lodo fresco (Lf) por tipo de prédio e de ocupante, em Litros/(Unidade.dia).

Prédio	Unidade	Contribuição de esgoto (C) e lodo fresco (Lf)	
1. Ocupantes permanentes			
- residência			
padrão alto	pessoa	160	1
padrão médio	pessoa	130	1
padrão baixo	pessoa	100	1
- hotel (exceto lavanderia e cozinha)	pessoa	100	1
- alojamento provisório	pessoa	80	1
2. Ocupantes temporários			
- fábrica em geral	pessoa	70	0,30
- escritório	pessoa	50	0,20
- edifícios públicos ou comerciais	pessoa	50	0,20
- escolas (externatos) e locais de longa permanência	pessoa	50	0,20
- bares	pessoa	6	0,10
- restaurantes e similares	refeição	25	0,10
- cinemas, teatros e locais de curta permanência	Lugar	2	0,02
- sanitários públicos*	bacia sanitária	480	4,00

*acesso apenas aberto ao público (estação rodoviária, rodovia, logradouro público, etc).

Fonte: ABNT (1993).

Na Tabela 11, das edificações residenciais (presente no item “1. Ocupantes permanentes” da tabela), pode-se influir que edificações de mais alto padrão (padrão alto = 160 Litros/pessoa.dia) tendem a gastar mais água comparado às de padrão mais baixo (padrão baixo = 100 Litros/pessoa.dia).

Conforme TSUTIYA (2006, p. 37), o consumo de água depende de muitos fatores, os quais podem ser agrupados nas seguintes classes:

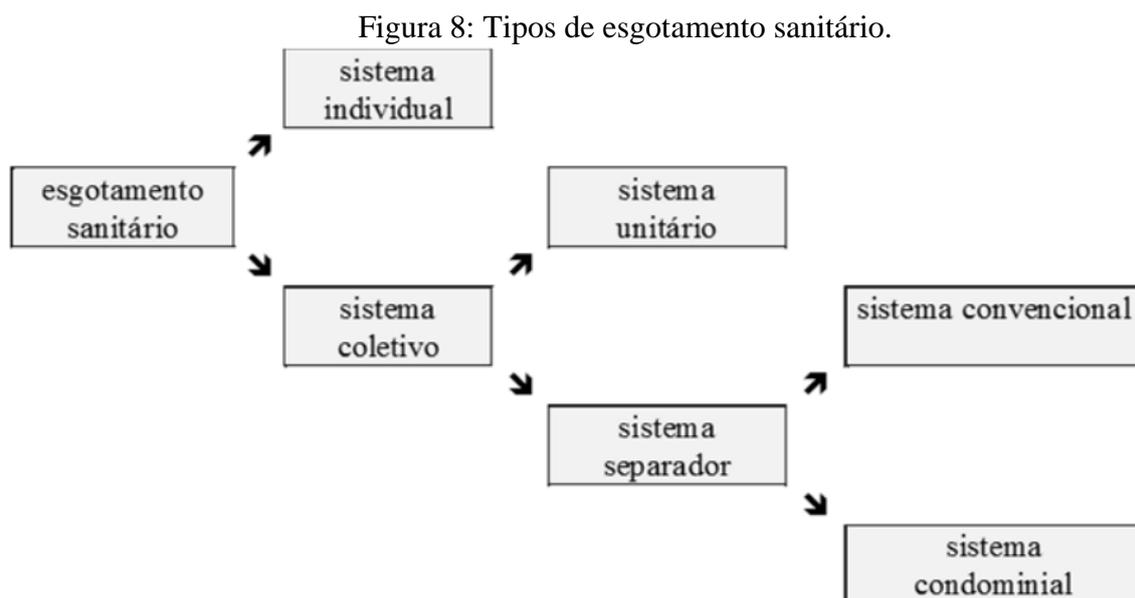
- Características físicas, tais como chuva e temperatura atmosférica.
- Renda familiar.
- Características da habitação, tais como área construída e habitantes.
- Características do abastecimento de água, tais como pressão da rede e qualidade da água.
- Forma de gerenciamento do sistema de abastecimento, tais como micromedição e tarifas.
- Características culturais da comunidade.

Ainda segundo este autor, “se consegue significativa redução do consumo de água com medidas de ações executivas, como instalação de componentes hidráulicos de baixo consumo, campanhas educativas, consertos e reparos de vazamentos e reaproveitamento de água” (TSUTIYA, 2006, p. 568). Ações como esta são também reafirmadas por outros autores, tais como FIESP (2005), OLIVEIRA *et al.* (2007) e TOMAZ (2001).

Todas essas medidas de estimação e redução do consumo de água na edificação são importantes por fatores tanto econômicos (redução de custos e despesas com tratamento de água e distribuição/utilização do recurso) quanto sociais e ambientais, visto que esgotos mais concentrados trazem uma viabilidade maior no seu tratamento por novas tecnologias. Algumas das tecnologias debatidas quanto ao tratamento de esgotos doméstico são a geração de energia elétrica e a utilização como adubo. Soluções como essas vêm sendo cada vez mais estudadas e evidenciadas sob o viés da economia circular ou mesmo postas como exigência municipal de edificações em algumas Leis Orgânicas. A exemplo disso, tem-se o programa PURAE, em Curitiba, o qual estabelece a exigência de coleta e armazenamento de água da chuva, dispositivos de economia de água para edificações residenciais e comerciais, e/ou o tratamento dos esgotos conforme o tipo de edificação (ALVES, 2020; ARAGÃO *et al.*, 2018; COSTA *et al.*, 2018; DE MENEZES e SALOMON, 2017; FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE, [s. d.]; INCT ETES SUSTENTÁVEIS e SABESP, 2018; MARQUES, 2017; MOTA e VON SPERLING, 2009; PRADO *et al.*, 2020; VIEIRA, 2012).

3.2.4. Esgotamento Sanitário e instalações sanitárias

Os esgotamentos sanitários podem se subdividir em sistema estático/individual ou dinâmico/coletivo. O primeiro consiste no tratamento local, para um grupo relativamente reduzido de pessoas, já os sistemas coletivos consistem em um tratamento em escala maior, no qual o esgoto é retirado das fontes geradoras e tratado em um local distante dos comércios e residências (VON SPERLING, 2014, p. 51–54), conforme a Figura 8.



Fonte: VON SPERLING (2014, p.54).

No Sistema Coletivo, VON SPERLING (2014) aponta duas variantes, denominadas Sistema unitário/combinado e Sistema separador (Figura 8). O primeiro consiste na união dos sistemas de drenagem da água da chuva com a rede de esgotos, já o último (sistema separador) consiste na separação da rede pluvial da rede de esgotos. TOMAZ (1999) define ainda a existência de um Sistema Misto, no qual a rede de esgoto atravessa as galerias pluviais, mas é separada da água pluvial por canalizações. Sob esse aspecto, Tomaz divide os sistemas de coleta de esgoto em Sistema Separador Absoluto, Sistema Unitário e Sistema Misto, afirmando ainda que no Brasil o mais comum é o Sistema Separador Absoluto, o qual começou a ser implantado na cidade do Rio de Janeiro em 1864 e que, no Estado de São Paulo, é proibido a ligação de água pluvial na rede de esgotos (ASSEMBLÉIA LEGISLATIVA DO ESTADO DE SÃO PAULO, Decreto N° 12.342 de 1978, Artigo 19).

Isso também é reforçado por VON SPERLING (2014), ao afirmar que o Sistema separador apresenta-se mais vantajoso comparativamente ao Sistema unitário, uma vez que o unitário, em períodos de cheia, pode ocasionar refluxo de esgoto para o interior das residências. Além de não gerar problemas com extravasamento de esgoto, o sistema separador também reduz os custos das obras (requer canalizações menores), dos prazos de construção, e melhora as condições para o tratamento de esgotos sanitários, uma vez que o contaminante, estando na sua forma menos diluída, é extraído do efluente com maior facilidade e de forma mais viável.

O sistema separador se subdivide em convencional (comum nas cidades) e simplificado (por exemplo, condominial). Estima-se que o sistema condominial possa gerar uma economia de 65% em relação ao sistema convencional, devido às menores distâncias da rede coletora e à concepção de “microssistemas” de tratamento descentralizado (FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE, *l.s. d.*).

Uma cidade pode apresentar mais de uma dessas divisões ou subdivisões. Como problema recorrente nos sistemas separadores tem-se as confecções clandestinas de água pluvial na rede de esgotos, ou vice-versa, as quais podem ocasionar em dificuldades devido ao dimensionamento fim para o qual a canalização foi projetada. Dos sistemas apontados por VON SPERLING (2014), este trabalho centra-se no sistema simplificado (**condominial**), que, conforme TOMAZ (1999), se refere ao sistema de coleta de esgoto de ligações prediais. A partir deste enfoque, é então necessário dimensionar o tamanho da população a ser atendida, bem como as instalações sanitárias a serem projetadas em cada tipo de edificação. Segundo o Código de Obras e Edificações de São Paulo (COE-SP), todas as edificações devem dispor de instalações sanitárias a serem projetadas conforme a atividade a ser desenvolvida e o número de usuários (PREFEITURA DE SÃO PAULO, 2017, p. 94).

Para edificações de uso residencial, segundo o COE-SP, a quantidade mínima de instalações sanitárias por unidade residencial em condomínio deve ser de 1 bacia sanitária, 1 lavatório e 1 chuveiro. Para edificações de uso não residencial, a quantidade de instalações sanitárias deve ser calculada em função do tipo de atividade e da população ocupante, tendo, contudo, o mínimo de 1 (uma) bacia e 1 (um) lavatório para cada sexo. Essas instalações devem dispor de uma área mínima para sua implementação (Tabela 12) e número mínimo conforme a quantidade de ocupantes.

Tabela 12: Áreas mínimas de instalações sanitárias.

Tipo de peça	Área (m²)
Bacia	1,2
Lavatório	0,64
Chuveiro	0,64
Mictório	0,64
Bacia e lavatório	1,2
Bacia, Lavatório e chuveiro	2,0

Fonte: PREFEITURA DE SÃO PAULO (2017, p. 95).

Tabela 13: Número mínimo de instalações sanitárias.

Uso	Descrição	Proporção
1. Comércio varejista especializado, diversificado e de abastecimento varejista	Lojas em geral com operação de venda e entrega da mercadoria de pequeno e médio porte ao consumidor, exceto os mercados, supermercados, hipermercados e centros de compras – shopping	1:20
	Mercados, supermercados, hipermercados, e centro de compras – shopping centers	1:75
2. Comércio de alimentação e consumo	Padaria, bar, lanchonete, restaurante	1:20
3. Locais de reunião, culto ou evento e geradores de alto fluxo de pessoas	Templo, auditório, cinema, teatro, exposição	1:50
4. Serviço pessoal ou profissional	Escritório e agência do comércio, indústria e de negócio, serviços públicos administrativos e os consultórios e clínicas	1:20
5. Serviço técnico ou de manutenção	Oficinas de conservação e reparo	1:100
6. Serviço de hospedagem e hotelaria (Hotéis e pensões)	Unidade de hospedagem	1 com chuveiro, para cada 2 unidades
	Unidade de hospedagem	1:20
	Demais áreas descontadas deste cálculo, as áreas das unidades de hospedagem	
7. Serviço de armazenamento	Depósito em geral, transportadoras e distribuidores	1:100
8. Serviço de saúde (ambulatórios, pronto atendimento, hospital e clínicas laboratorial)	Unidade de internação	1 com chuveiro, para cada 2 unidades
	Demais áreas descontadas deste cálculo, as áreas das unidades de internação	1:20
9. Serviço de educação seriado e não seriado	Creches, escolas do fundamental ao superior, profissionalizante, preparatórias, de línguas e aprendizagem	1:20
10. Indústrias de fabricação, produção e montagem	-	1:100
11. Uso e atividade especial	-	CASO A CASO

Fonte: PREFEITURA DE SÃO PAULO (2017, p. 94).

Para o cálculo do número de instalações sanitárias a serem colocadas em uma edificação comercial, estima-se a área total de lotação, chamada de área útil. Por meio dela e do coeficiente de lotação máximo permitido (Tabela 14), se calcula a quantidade de pessoas presentes nesta edificação. De posse da quantidade de pessoas e da proporção de instalações sanitárias por pessoa (Tabela 13), se obtêm a quantidade mínima de sanitários que a edificação deve abrigar. Vale destacar que, desta quantidade, metade deve ser para uso feminino e a outra metade para uso do masculino. Nos sanitários destinados ao uso masculino, metade pode ser substituída por mictórios. Também é necessário a previsão de que ao menos 5% dos sanitários sejam adaptados para pessoas com deficiência, sendo de no mínimo 1 sanitário adaptado para cada sexo.

Tabela 14: Lotação para locais de reuniões.

Ocupação para Locais de Reunião	m ² /pessoa
Setor para usuários em pé	0,40
Setor para usuários sentados	1,00
Atividades não específicas e administrativas	7,00

Fonte: PREFEITURA DE SÃO PAULO (2017, p. 88).

3.3. POTÁSSIO

Para avaliar a potencialidade de utilização de potássio oriundo de efluentes domésticos de edificações residenciais e comerciais de grande porte como produto comercializável, além de conceituar edificações residenciais e comerciais de grande porte e caracterizar seus efluentes, também é necessário dar um enfoque maior na questão do potássio propriamente dito, o qual será dado neste item.

3.3.1. Características do potássio

O potássio (K elementar) é um metal alcalino terroso de cor prata, textura macia e boa condutividade elétrica e de calor. Ele, como os demais de seu grupo, é altamente reativo à água e possui características básicas. Por ter alta afinidade, reage instantaneamente com todos os ácidos e não metais, como enxofre, cloro, flúor, fósforo e nitrogênio. Assim, ele nunca ocorre em sua forma elementar na natureza. É sólido a temperatura ambiente, passando à forma líquida em temperaturas acima de 63,5 °C

(Tabela 15) (DIAS, 2021; LIDE, 2004; NASCIMENTO e LOUREIRO, 2004; OLIVEIRA, *l.s. d.*; ROYAL SOCIETY OF CHEMISTRY, 2021).

Tabela 15: Propriedades químicas – potássio.

Grupo da Tabela Periódica	1	Ponto de fusão	63,5 °C
Período da Tabela Periódica	4	Ponto de ebulição	759 °C
Quadra	s	Densidade (g/cm ⁻³)	0,89
Número atômico	19	Massa atômica relativa	39.098
Estado a 20 °C	Sólido	Isótopos chave	³⁹ K

Fonte: Adaptado de ROYAL SOCIETY OF CHEMISTRY (2021).

O potássio é apontado como o sétimo metal mais abundante da crosta, pois está presente em minerais comuns, como feldspatos. Contudo, sua extração é artificialmente inviável, dada a estabilidade do elemento na estrutura do mineral. Os teores mais elevados de potássio estão presentes nos minerais evaporíticos (formados pela precipitação química e cristalização dos sais dissolvidos em meio aquoso) e nos silicatos de potássio (DIAS, 2021; JAQUES, 2005; NASCIMENTO, MONTE e LOUREIRO, 2008; ROYAL SOCIETY OF CHEMISTRY, 2021).

O potássio também pode ser encontrado em pequenos teores na água da chuva de regiões litorâneas (JAQUES, 2005; NASCIMENTO; MONTE; LOUREIRO, 2008). Em águas naturais a concentração de potássio costuma ser inferior a 10 mg/L, enquanto que valores como 100 e 25.000 mg/L podem indicar a presença de fontes quentes e salmouras, respectivamente (CETESB, 2020b).

O principal uso deste elemento, em termos quantitativos, ocorre para fabricação de fertilizantes (KCl, K₂SO₄, K₂CO₃, KNO₃). Outros usos comuns são na fabricação de sabão e detergentes (KOH), utilização em explosivos e fogos de artifício (KNO₃ e KClO₃), como liga metálica em reatores nucleares (liga Na-K), conservante de alimentos (KNO₃, K₂S₂O₃, K₂SO₃), na curtição de couros (K₂Cr₂O₇), na fabricação de vidros (K₂CO₃), como sal de cozinha ou suplemento animal (KCl) e produtos medicamentosos diversos (KCl, KI, KIO₃, KMnO₄, KClO₄) (COELHO, 2008; DIAS, 2021; KIRCHOF, 1997; LOUREIRO, 2014; NOBRE *et al.*, 2002; ROYAL SOCIETY OF CHEMISTRY, 2021). Alguns de seus usos estão elencados no Apêndice A (página 126), que discorre sobre diversas formulações químicas no qual o potássio pode ser encontrado segundo a literatura.

Ao analisar uma vasta variedade de fórmulas onde o potássio está presente (página 126), percebe-se que, em muitos dos usos relacionados a produtos medicamentosos e alimentares industriais, a formulação potássica tem função de conservação do produto, gerada pela proteção antisséptica das formulações específicas. Essa mesma proteção faz algumas formulações serem utilizadas na limpeza e desinfecção de microrganismos.

Por outro lado, algumas formulações são extremamente úteis como fertilizantes ou mesmo base alimentar de alguns organismos, como no caso do K_2HPO_4 e do KH_2PO_4 , utilizados por SOUSA (2014) como meio fermentativo para o crescimento da bactéria *Enterobacter aerogenes* e posterior produção de Biohidrogênio.

Sendo assim, pode-se deduzir que as propriedades das formulações se relacionam em grande quantidade ao(s) elemento(s) a que o potássio se liga, uma vez que o fósforo tem propriedades natas como fertilizante (constituindo um dos macronutrientes mais requeridos por plantas – NPK), já outros elementos, tais como cloro, cianeto ($C\equiv N$) ou mesmo o sulfito tem função inibitória do crescimento de certos microrganismos, assim como peróxidos (tais como $KMnO_4$) tem a função oxidante e, portanto, também de limpeza e desinfecção. Essas variações de formulações provavelmente se devem às características anteriormente relatadas do potássio, de possuir alta reatividade e afinidade, tendo, portanto, grande facilidade em se ligar a diversos elementos químicos, o que o torna um elemento chave para construção de formulações específicas de uso laboratorial, farmacológico, agrícola e alimentício.

3.3.2. Importância do potássio

3.3.2.1. Importância biológica do potássio

Entre os nutrientes mais exigidos por plantas e animais está o potássio, que, embora abundante na litosfera, encontra-se pouco disponível para uso devido principalmente à sua resistência à solubilização quando contido em feldspatos (MATOS, 2013), um dos grupos de minerais mais comuns da crosta terrestre.

O potássio é importante tanto para manutenção do metabolismo animal quanto vegetal.

No ser humano, o potássio é importante para eliminação de subprodutos presentes no interior das células e condução de impulsos nervosos, além de atuar no equilíbrio ácido-base do corpo. Carências deste nutriente podem levar a casos de pedras nos rins, piora da saúde óssea, hipertensão e problemas cardíacos. (DIAS, 2021; ROYAL SOCIETY OF CHEMISTRY, 2021).

Nos vegetais, o potássio, após ser absorvido na forma de íon (K^+) do solo (MALAVOLTA, 2005), auxilia na fotossíntese e na maior eficiência do uso da água em vegetais (MALAVOLTA, 2008; NASCIMENTO e LOUREIRO, 2004), coopera na síntese, acumulação e transporte de carboidratos, açúcares, lipídeos e proteínas (CARRIJO *et al.*, 2004; NASCIMENTO, e LOUREIRO, 2004; NASCIMENTO, MONTE e LOUREIRO, 2008) e atua como cofator de ativação de mais de 60 enzimas nos vegetais (RAJ *et al.*, 2020). Sua presença produz o efeito de maturação adiantada, aumento proteico e maior resistência nas plantas (MALAVOLTA, 2008), à geada, à seca, à salinidade, às doenças, entre outros (MALAVOLTA, 1980 *apud* MONTEIRO, 2007). Em geral, tem-se que doses adequadas de potássio auxiliam o crescimento da massa seca vegetal.

Por outro lado, a falta de potássio está ligada à perda de produtividade de frutos, produzindo frutos de pior qualidade, com maturação desuniforme, manchas esverdeadas na parte basal, sabor azedo e com menor resistência ao armazenamento pós colheita (CARRIJO *et al.*, 2004). A planta em si apresenta menor resistência a pragas e doenças (NASCIMENTO e LOUREIRO, 2004). As folhas de hortaliças podem apresentar manchas amarronzadas e ressecadas.

Em geral, gramíneas e leguminosas tem alta demanda de potássio, por vezes podendo ser competidoras entre si em caso de escassez da disponibilidade deste elemento no solo (CECATO, GALBEIRO e RODRIGUES, 2005; DA SILVA, 2009).

3.3.2.2. Importância econômica do potássio

Como relatado no item 3.3.1, que abrange as características do elemento químico, o potássio possui diversos usos, estando ligado tanto à produção de detergentes, quanto

produtos farmacêuticos e outros. Destes, o principal uso se destina a fertilizantes potássicos (GREENWELL, 1999 apud NASCIMENTO e LOUREIRO, 2004). Segundo o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM, atual Agência Nacional de Mineração – ANM) a produção de potássio como fertilizante abarca mais de 95% da produção mundial (OLIVEIRA, *l.s. d.*). Contudo, os solos brasileiros são em geral carentes em potássio para produção e processamento deste nutriente a fim de torná-lo apto ao uso como fertilizante agrícola. Sendo assim, o Brasil acaba sendo fortemente dependente de reservas potássicas externas para suprir o mercado nacional (NASCIMENTO e LOUREIRO, 2004).

Nesse sentido, o Brasil é o segundo país com maior consumo de fertilizante potássico, dependendo em cerca de 95% do mercado externo para suprir a demanda nacional (GLOBALFERT, 2020). Segundo disponibilizado no portal do governo federal brasileiro (GOV.BR, 2021), o Brasil importa 96,5% do cloreto de potássio que utiliza para o solo, totalizando 10,45 milhões de toneladas adquiridas em 2019 e ostentando o título de maior importador mundial deste fertilizante no respectivo ano.

Dada a alta demanda, pesquisas vêm sendo elaboradas com o objetivo de suprir a alta carência nacional por potássio, tal como a organizada por MOTTA (2020) e publicada no portal do governo federal, que mapeia reservas potássicas na Bacia do Amazonas. Isso traz à tona interesses políticos e econômicos (GOV.BR, 2021), cujos impasses estão atrelados ao impacto ambiental para o licenciamento correto da área (GLOBALFERT, 2020).

Dos impactos atrelados à essa mineração, tem-se o conflito com terras indígenas, gerando interferência nos referenciais socioespaciais e culturais das comunidades tradicionais; aumento da pressão ocupacional e sobre serviços de saúde, bem como maior ocorrência de problemas de saúde; liberação de salmoura nos corpos hídricos e possíveis danos à fauna e flora; alteração da paisagem; risco de solapamento do solo e formação de crateras com a inundação de água na mina, devido à presença de água abundante na região (BORGES, BRANFORD e TORRES, 2020). Além desses mencionados, pode-se citar também que a exaustão das reservas de K priva a capacidade de proteção de pragas do solo, o que corresponde a outra ameaça ao meio ambiente (NASCIMENTO; LOUREIRO, 2004).

O Brasil tem apenas uma reserva de potássio convencional no Brasil em atividade, localizada em Sergipe, na cidade de Rosário do Catete, e produzindo em 2019 aproximadamente 427 mil toneladas de KCl (GLOBALFERT, 2020). Nessa localidade,

na mina/usina denominada Taquari/Vassoura, o minério é lavrado pelo método subterrâneo convencional de câmaras e pilares retangulares, beneficiado por flotação (OLIVEIRA, [s. d.]) e então distribuído com os diâmetros de partícula *Granular* (0,8 a 3,4 mm) ou *Standard* (0,2 a 1,7mm) nas proporções de produção 85% e 15% respectivamente em função do mercado (LOPES, 2005, p. 30; OLIVEIRA, [s. d.]), com composição final típica presente na Tabela 16.

Tabela 16: Composição química típica, em base seca, do produto.

Composição	(%)
KCl	93,0
NaCl	6,0
Outros sais	0,6
Insolúveis	0,4

Fonte: MONTE, ANDRADE e BALTAR, 2002.

Os fertilizantes potássicos mais comuns têm as seguintes formulações: cloreto de potássio (KCl), sulfato de potássio (K_2SO_4), nitrato de potássio (KNO_3). Destes, o KCl é o fertilizante com mais alta concentração de potássio (KCl \approx 60 a 62% de K_2O , $K_2SO_4 \approx$ 50% de K_2O , $KNO_3 \approx$ 44% de K_2O , $K_2SO_4+MgSO_4 \approx$ 22% K_2O) e com o preço mais competitivo do mercado dentre os fertilizantes potássicos (KORNDORFER, 2018; NASCIMENTO e LOUREIRO, 2004; SANTIAGO e ROSSETTO, [s. d.])

Segundo LOPES (2005, p. 30), todo o potássio que sai de Sergipe chega aos clientes do Sudeste, Nordeste e Centro-Oeste do país sob altos custos de transporte. As vias de transporte são rodoviárias e marítimas, sendo esta última cerca de 10% mais cara devido aos custos com frete, portuário, carga e descarga do produto. A Ferrovia Centro-Atlântica também é uma possibilidade de transporte, que até o ano 2005 não era utilizada por falta de investimentos. Quanto à demanda total de fertilizantes, essa se concentrava em 90% nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste no ano de 2005 (PESSOA, 2005, p. 34).

3.3.3. Presença de potássio em esgotos domésticos

3.3.3.1. Esgoto doméstico sem separação na fonte: esgoto tratado por tratamento primário

Segundo relatado no trabalho de MARQUES (2017), o esgoto doméstico pode possuir teores de NPK de 45:7:158 mg/L disponíveis para a nutrição vegetal, além de 53 mg/L de cálcio, 42 mg/L de magnésio e outros. Em seu trabalho, contudo, após submeter o esgoto doméstico bruto a tratamento preliminar (constituído de gradeamento com malha de uma polegada), os valores encontrados foram os presentes na Tabela 17.

Tabela 17: Médias e medianas das concentrações do esgoto doméstico do tratamento preliminar.

Parâmetro	Unidade	Média	Mediana
pH	-	7,7	7,7
CE	μS/cm	1.523	1.543
ST		998	992
SFT		544	542
SVT		454	453
DBO		433	435
DQO		760	718
NTK*		136,7	128,6
P		19,9	19,2
K	mg/L	40,6	43,0
Na		79,5	83,7
Al		4,20	2,98
Mn		1,10	0,14
Fe		3,30	3,50
Zn		0,35	0,28
Ca		21,3	20,9
Mg		6,40	5,90
Cu		< 0,05	< 0,05

* nitrogênio total Kjeldahl (NTK)

Fonte: MARQUES (2017).

3.3.3.2. Esgoto doméstico sem separação na fonte: lodos

Conforme pode ser observada na Tabela 18, percebe-se que o teor de potássio em lodos é pequeno. Além disso, segundo COLÓN *et al.* (2017, p. 305), muitos nutrientes do lodo são perdidos para a fração líquida. Estima-se que cerca 97%, 95%, 96%, 94%, 100% e 85% de nitrogênio total, NH_4^+ , ortofosfato, cálcio, magnésio e potássio respectivamente são solubilizados do lodo à fração líquida.

Tabela 18: Composição química e propriedades do lodo.

Parâmetro	Unidade	Lodo não tratado	Lodo digerido anaerobicamente	Lodo compostado	Lodo seco termicamente	Biocarvão (biochar)	Cinza de lodo de esgoto
pH		4.5–8.3	8.4	6.5–7.8	6.9–7.2	6.7–9.5	–
C/N		42562	42560	7.5–13	8.3	9	–
Total N	g kg ⁻¹	15–62	39–59	22–39	36–61	22525	–
Total P	g kg ⁻¹	15432	34	13–28	13–29	20–42	23–93
S	g kg ⁻¹	8.9	8–15	–	–	0.4–1	6.6–8.9
Ca	g kg ⁻¹	10–38	19–50	–	–	2–15	66–163 Mg
Mg	g kg ⁻¹	4–26	0.3–19.2	–	–	3–15	16–35
Na	g kg ⁻¹	0.7–1.5	–	2.5	–	1–2.7	3.6–32 K
K	g kg ⁻¹	1.9–6.5	2.3	2.8–5.0	2.2–4.3	1.2–16	42669
Al	g kg ⁻¹	8	–	–	–	–	37–67
Cu	mg kg ⁻¹	151–800	993	139–743	645–823	400–2100	553–4775
Co	mg kg ⁻¹	30	–	15	–	21	42–553
Cr	mg kg ⁻¹	54–500	54	30–345	30–217	230	114–1402
Ni	mg kg ⁻¹	17–80	64	19–105	42–85	35–740	63–369
Cd	mg kg ⁻¹	0.6–3.6	3.2	<0.5–4.4	<0.5–3.6	1.8–9.8	1.7–15.6
Zn	mg kg ⁻¹	588–1700	998	600–1385	800–1346	900–3300	384–4303
Pb	mg kg ⁻¹	28–3940	78	67–1196	75–3747	130–750	122–999
Mn	mg kg ⁻¹	188–395	–	173–241	–	253–667	470–2510
Hg	mg kg ⁻¹	0.4–8	–	2.4–2.8	2.7	–	1.1

Fonte: Adaptado de COLÓN *et al.* (2017, p. 302).

Quanto à influência do potássio no tratamento biológico, segundo DEORSOLA (2006), o potássio contribui para a formação das proteínas, aumentando o tamanho do floco quando em pequenas concentrações. Em altas concentrações ele aumenta a turbidez do efluente. Em condições anaeróbicas, as bactérias aeróbicas morrem, causando lise celular e aumentando as concentrações de potássio no efluente.

MARINHO (2015) também define a concentração de potássio em lodo desaguado (Tabela 19). Segundo este autor, a adubação complementar potássica é necessária, dada a demanda de K pelas plantas.

Tabela 19: Valores médios de fertilidade do lodo desaguado aplicado no solo para matéria orgânica, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, acidez potencial, soma de bases e capacidade de troca catiônica (CTC).

pH	MO	P	K	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC
	g dm ⁻³	mg dm ⁻³			mmol _c dm ⁻³			
6,4±0,3	125,8±6,9	61,0±7,3	5,0±0,3	99,6±9,6	16,7±1,5	14,2±1,7	136,1±10,8	150,3±12,4

Fonte: MARINHO (2015).

Como se pode perceber, a utilização da forma solúvel retirada após o tratamento do lodo parece ser mais interessante do que utilização da fração sólida do lodo convencionalmente tratado, dado a facilidade de obtenção de nutrientes na fração líquida com menor risco de contaminantes tais como metais tóxicos, que tendem a ficar na fração sólida.

3.3.3.3. Esgoto doméstico com separação na fonte

No trabalho divulgado por KUJAWA-ROELEVELD e ZEEMAN (2006, p. 119), foi feito o mapeamento quanto à composição dos esgotos domésticos, sob o viés de separação na fonte (Tabela 20).

Tabela 20: Concentração de potássio por separação na fonte.

Parâmetro	Unidade	Urina	Fezes	Águas cinza	Cozinha
Volume	g ou L/hab.dia	1.25-1.5	0.07-0.17	91.3	0.2
N	gN/hab.dia	7.0-11.0	1.5-2	1.0-1.4	1.5-1.9
P	gP/hab.dia	0.6-1.0	0.3-0.7	0.3-0.5	0.13-0.28
K	gK/hab.dia	2.2-3.3	0.8-1.0	0.5-1	0.22
Ca	gCa/hab.dia	0.2	0.53		
Mg	gMg/hab.dia	0.2	0.18		
DBO	gO ₂ /hab.dia	5.0-6.0	14-33.5	26-28	
DQO	gO ₂ /hab.dia	10.0-12.0	45.7-54.5	52	59
Massa seca	g/hab.dia	20-60	30	54.8	75
Metals tóxicos					
Cu	mg/hab.ano	4	400	2900	549
Cr	mg/hab.ano	3.7	7.3	365	137
Ni	mg/hab.ano	2.6	27	450	82.3
Zn	mg/hab.ano	16.4	3900	3650	700
Pb	mg/hab.ano	0.73	7.3	365	275
Cd	mg/hab.ano	0.25	3.7	15	27
Hg	mg/hab.ano	0.30	3.3	1.5	0.25

Fonte: KUJAWA-ROELEVELD e ZEEMAN (2006, p. 119).

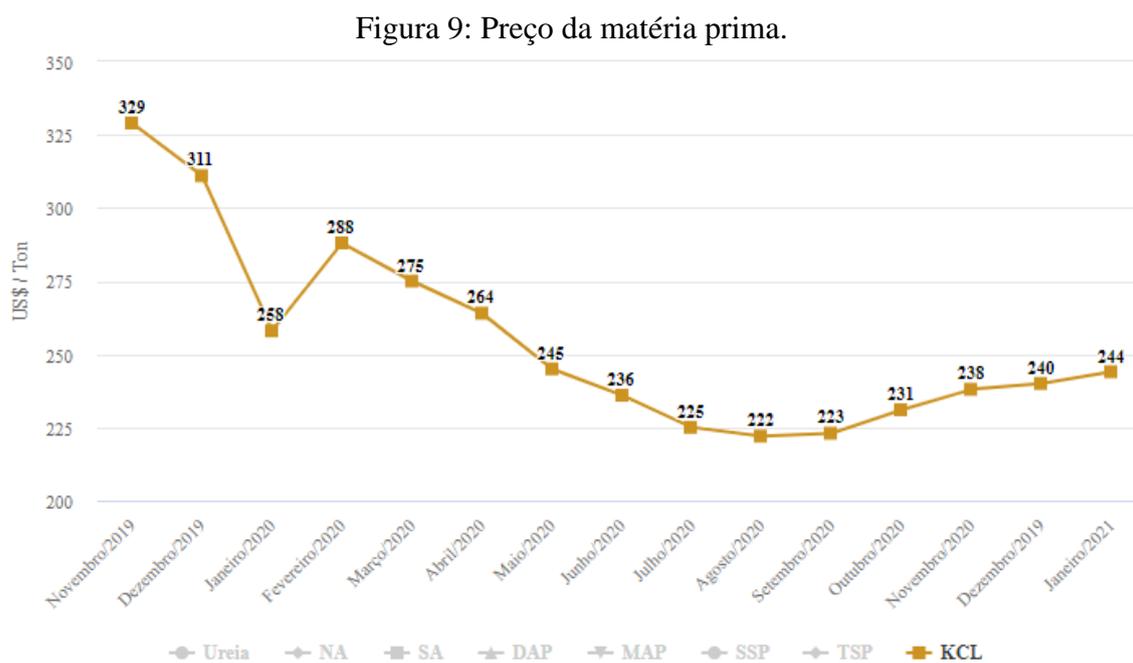
Os intervalos de máximo e mínimo para o potássio (K) na Tabela 20 podem estar adequados apenas para urina e águas cinzas: no trabalho de Udert et al. (2003), divulgado por meio de RONTELTAP e SIRAIT (2010, p. 3), tem-se, para urina, fezes e águas cinzas, os valores de 2.7, 0.43 e 0.5 respectivamente. Conforme RONTELTAP e SIRAIT (2010), desses três fluxos, 74% do potássio se encontra na urina, 12% nas fezes e 14% nas águas cinzas. De todo modo, como KUJAWA-ROELEVELD; ZEEMAN (2006) apresentam uma quantidade maior de dados, optou-se por utilizar as concentrações dispostas na Tabela 20 para a sequência do trabalho.

3.3.4. Demanda por fontes alternativas de potássio

3.3.4.1. Gastos com importação de potássio

A importação no ano de 2020 foi de cerca de 11,45 milhões de toneladas de KCl e de 47,2 mil de sulfato de potássio (SOP). Embora o cloreto de potássio seja o fertilizante potássico mais comumente consumido, o sulfato de potássio se faz necessário para culturas sensíveis ao cloro, tais como a produção de frutas na região Nordeste do país e a de fumo na região Sul (GLOBALFERT, 2021).

Quanto aos preços, estes costumam variar conforme questões mercadológicas internacionais, tais como questões políticas dos países e o valor do dólar convertido para a moeda local. A Figura 9 apresenta a variação em dólar do preço de cloreto de potássio (KCl) por tonelada para os meses de novembro de 2019 a janeiro de 2021.



A China é a principal produtora de sulfato de potássio (SOP). Comparativamente com o KCl, o SOP apresenta valores de compra mais elevados, contudo, devido à quantidade de compra de KCl ser mais expressiva, este contribui com a fatia mais abrangente dos gastos de importação de fertilizantes potássicos, correspondendo à quase totalidade dos gastos, conforme pode ser observado na Tabela 21.

Tabela 21: Gasto médio em importação de potássio no ano de 2020.

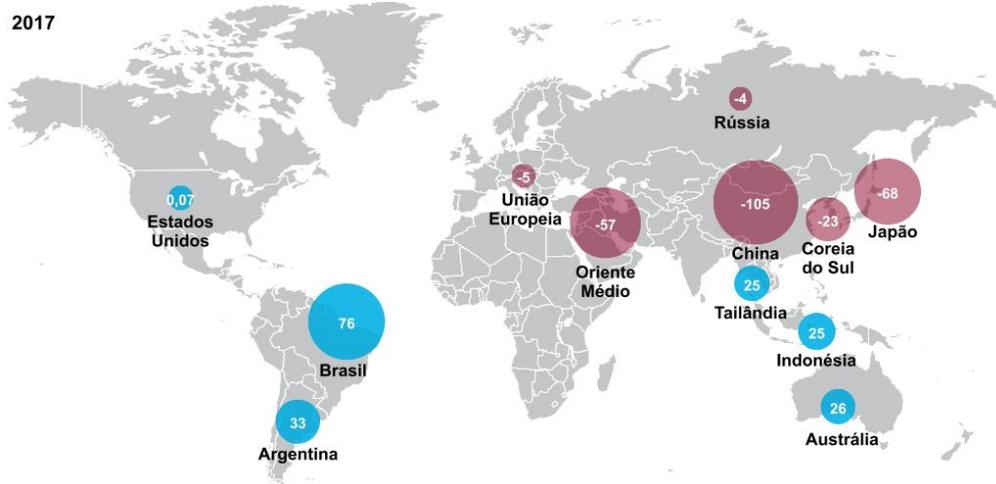
Período	KCl (\$/t)	SOP(\$/t)	Valor do		
			Dólar (reais)	KCl (reais/ton)	SOP(reais/ton)
jan/20	258	515	4,15	1.071,22	2.138,28
fev/20	288	511	4,35	1.251,65	2.220,81
mar/20	275	506	4,89	1.345,85	2.476,36
abr/20	264	489	5,33	1.407,12	2.606,37
mai/20	245	499	5,64	1.381,80	2.814,36
jun/20	236	489	5,20	1.227,91	2.544,27
jul/20	225	466	5,29	1.189,58	2.463,74
ago/20	222	495	5,46	1.211,90	2.702,21
set/20	223	497	5,40	1.204,87	2.685,29
out/20	231	467	5,63	1.300,99	2.630,14
nov/20	238	464	5,42	1.290,44	2.515,81
dez/20	240	460	5,14	1.234,08	2.365,32
MÉDIA ANUAL (reais/ton)				1.259,78	2.513,58
IMPORTAÇÃO ANUAL (ton)				11.450.000	47.200
Total GASTO (bilhões de reais)				14,4245	0,1186

Fonte: Elaboração própria com dados de GLOBALFERT, [s. d.], 2021; IEGV/ACSP, [s. d.].

3.3.4.2. Expansão Agrícola Brasileira

Segundo a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO), a população mundial tende a crescer até a marca de 9,5 bilhões (VIEIRA *et al.*, 2019). A maior parte populacional provém do leste asiático. Com o crescente aumento populacional e a já presente demanda aumentada por alimentos agrícolas, o Brasil coloca-se como um país estratégico como fornecedor de alimentos para países com déficit em recursos primários, conforme é possível observar na Figura 10.

Figura 10: Balança agrícola (déficits e superávits em bilhões de US\$) dos principais países exportadores e importadores em 2017.



Fonte: VIEIRA *et al.* (2019).

O Brasil, país com dívida bruta de cerca de 5 trilhões de reais registrada em janeiro de 2021 (MINISTÉRIO DA ECONOMIA, 2021) e que tem mais de 20% do PIB e 33% dos empregos com origem no setor agrícola (VIEIRA *et al.*, 2019), vê portanto na agricultura uma importante fonte de colocação no mercado internacional e busca de manutenção de seu mercado interno de forma a não colapsar.

Vale ressaltar, contudo, que o mercado se apresenta cada vez mais exigente, visto que os consumidores vêm buscando mais informações sobre qualidade (livre de toxinas, por exemplo) e agregação de valor dos produtos (como informações sobre a cadeia produtiva). O perfil do consumidor vêm mudando drasticamente nas últimas décadas, tanto em questões de mercado interno quanto externo (VIEIRA *et al.*, 2019).

Em termos internacionais, o Brasil era antes dependente de exportação para economias desenvolvidas, tais como Europa. Contudo, mudanças políticas tais como a dificuldade de acesso a esse mercado por imposição de condicionantes e padrões informativos e sanitários têm feito repensar sobre a viabilidade de manter países da União Europeia entre suas relações chave. Além disso, países emergentes têm tomado posições de destaque para exportação, apresentando-se como mercados cada vez mais atrativos para manutenção de relações comerciais (tanto de compra quanto venda), é o caso da China, México, Japão, Indonésia, Índia, países do Oriente Médio, dentre muitos outros, os quais são importantes para a diversificação na matriz comercial.

O mercado chinês, em específico, apresenta-se como um importante aliado comercial, uma vez que, apesar de ser um grande produtor primário, sua gigantesca população faz com que ocorra o déficit potencial em alguns produtos primários, ocasionando aumento das commodities agrícolas brasileiras específicas, tais como soja, carnes, café, algodão e outros. O aumento das commodities faz com que, com o crescimento da demanda, haja aumento de preço, tornando assim o produto bastante favorável à venda no exterior. Esse ganho de competitividade dos produtos perante o mercado global acarreta alavancada econômica e, conseqüentemente, geração de empregos no Brasil, embora o preço do produto no mercado interno seja aumentado, reduzindo o poder de compra do consumidor nacional. Ademais, a guerra comercial entre China e Estados Unidos, apesar da disfunção do valor do dólar, apresenta-se também como oportunidade de comércio para o Brasil e demais países emergentes.

A interconexão mercadológica se relaciona nos mais diversos níveis mesmo a mercado nacional. Antes, os custos no final da cadeia de produção eram abatidos pelos baixos custos com processamento nos níveis mais elementares da cadeia produtiva.

Contudo, a tecnologia e sofisticação da mão de obra trouxeram maiores custos nesta etapa, salientando assim a necessária atenção à gestão de riscos para que fatores como clima ou outras condicionantes ambientais, saúde vegetal, variantes políticas e mercadológicas dos insumos interfiram o mínimo possível na produtividade da agricultura brasileira, não ocasionando em danos.

Há que se redobrar a atenção também à questão do desgaste dos solos, pois embora o mercado agrícola brasileiro apresente-se em ascensão e seu potencial devido a condições ambientais seja propício para agricultura, a velocidade de ascensão tem-se apresentado em decréscimo muito por parte da carência de investimentos em tecnologia (que apresenta-se heterogênea, pois pequenos produtores acabam por não ter acesso, havendo para isso o início do incentivo aos pequenos produtores por meio de programas como o PRONAF) e à carência de estudos aplicáveis para essa área de conhecimento.

Questões políticas também interferem fortemente na colocação do Brasil frente ao mercado, tais como o vínculo que se dá da agricultura brasileira com o desmatamento da Amazônia e o trabalho escravo, sendo necessário melhorar a reputação brasileira e manter bom relacionamento com mercados atuais e potenciais como forma de garantir sua colocação do mercado, além de se posicionar como influenciador nos preços internacionais.

É visível a colocação do Brasil como fonte de segurança alimentar para as futuras gerações de forma a garantir a alimentação a nível mundial, com a população rural migrando para as cidades e a área rural se ampliando e se modernizando (especialmente no que diz respeito aos grandes produtores rurais). Contudo, também é necessário ter cuidado com o crescimento excessivo do setor primário em detrimento dos setores secundário e terciário, os quais também são importantes para o desenvolvimento nacional como um todo.

Sendo assim, se faz cada vez mais interessante produzir tecnologias nacionais, as quais gerem, como consequência, redução de custos na cadeia como um todo (do setor primário ao terciário), maior valor agregado ao produto final e impulsionamento na geração de empregos. Sob esse aspecto, buscar fontes alternativas e sustentáveis de potássio como fertilizante agrícola é uma forma não apenas de agregar valor ao produto, como também é uma tentativa de redução de custos provindos da dependência do mercado externo. A melhora da visibilidade externa do setor agrícola com a geração de um fertilizante mineral sustentável, bem como a busca por menor dependência do mercado externo para importação de fertilizantes, pode acarretar geração de empregos e melhora

de indicadores sociais, fatores estes que, de forma circular, aumentam ainda mais a reputação do país.

3.3.4.3. Necessidade de utilizar fontes alternativas de potássio

Os maiores produtores de fertilizantes potássicos são Canadá, Rússia e Bielorrússia (Tabela 22). A China ocupa o lugar de umas das maiores produtoras mundiais deste fertilizante mineral, mas também é a principal consumidora. Já o Brasil apresenta carência em reservas de potássio obtidas por mineração tradicional, mas ocupando a posição de segunda maior consumidora deste fertilizante a nível mundial.

Tabela 22: Principais produtores e consumidores de fertilizante potássico mundial.

Posição	Produtor	Consumidor
1°	Canadá	China
2°	Rússia	Brasil
3°	Bielorrússia	EUA
4°	China	Índia

Fonte: Adaptado de GLOBALFERT, 2021, p.76 e 68.

Como panorama geral, China, Índia, EUA e Brasil detêm 58% do consumo global de fertilizantes (GLOBALFERT, 2021, p. 68). Sendo assim, a necessidade por fontes alternativas de potássio em território nacional é imperativa.

Sob esse viés de carência e necessidade, algumas alternativas já vêm sendo realizadas e aceitas pelos produtores rurais. A exemplo tem-se a empresa Verde Fertilizantes (<https://verde.ag/>), cuja sede encontra-se em Minas Gerais e tem como um de seus produtos o K-Fort, um fertilizante rico em potássio (K₂O 10%), silício (Si 25%) e magnésio (Mg 0,5%), obtido de silito glauconítico rico em potássio, uma rocha sedimentar de coloração esverdeada encontrada na região (VERDE, 2020).

Apesar disso, ainda é importante e necessária a busca por cada vez mais alternativas para a escassez desse recurso mineral.

4. METODOLOGIA

O presente estudo consiste em pesquisa aplicada, de caráter exploratório, com a finalidade de analisar potenciais formas de utilização de potássio oriundo de efluentes domésticos de edificações comerciais e residenciais de grande porte como produto comercializável. Os resultados serão apresentados de forma qualitativa e quantitativa, com a coleta de informações de fontes secundárias, incluindo revisão bibliográfica. Como fonte de pesquisa a fim de colher referencial teórico, foram utilizados livros, artigos, dados de instituições oficiais, documentos e busca de autores significativos para o tema.

4.1. EDIFICAÇÕES COMERCIAIS E RESIDENCIAIS DE GRANDE PORTE

No item 3.1, foi realizada uma explanação baseada na literatura, com foco em aparatos legislativos de Estados e Municípios das Regiões Sul, Sudeste e Nordeste, dado o maior adensamento populacional brasileiro nessas zonas. Com base nos conceitos discutidos nesse item para os usos e portes de edificação, foi definido um conceito para edificações residenciais e comerciais de grande porte.

Os critérios e metodologia de escolha para a conceituação das edificações comerciais e residenciais de grande porte adotados no presente estudo são os seguintes:

- **USOS:** Conforme os Planos Diretores, Decretos e Zoneamentos previamente estudados, foi possível elaborar uma classificação padrão para a caracterização da edificação conforme os **usos** Residencial e Comercial.
- **PORTE:** O trabalho centra-se em edificações de grande porte. Sendo assim, o **porte** de cada uso foi previamente caracterizado, conforme conceitos previamente vistos em Decretos do Corpo de Bombeiros (DECRETO 63.911/ 2018 de São Paulo e DECRETO 44270/2006 de Minas Gerais).
- **CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS:** As **características construtivas** dos empreendimentos são bastante variáveis por região. Sendo assim, estabelece-se alguns padrões baseados nas seguintes observações:
 - **Área Construída:** Em Porto Alegre considera-se **empreendimentos** de grande porte área adensável superior a **30.000m²** (PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE, 2010). Já em São Paulo é possível deduzir que é grande porte uma **área** computável de construção próximo ou acima de **20.000 m²**, uma vez que acima deste valor a edificação deve fornecer auxílio para moradias populares (PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO, 2014). Dessa forma, tomou-

se como “grande porte” para o quesito “área” valores próximos ou acima de 20.000 m² para edificações residenciais e comerciais.

- **Coefficiente de Aproveitamento**: O porte pode ser definido pelo coeficiente de aproveitamento, sendo que para Zonas Predominantemente Residenciais o coeficiente de aproveitamento máximo se equivale ao de edificações de grande porte, conforme se pode depreender do Plano Diretor de Salvador (PREFEITURA MUNICIPAL DE SALVADOR, 2016). Para São Paulo, o coeficiente de aproveitamento geral máximo é 2, mas dependendo do bairro pode chegar a 4. Já no Rio de Janeiro, comumente o coeficiente de aproveitamento básico ultrapassa o valor de 2. Sendo assim, adotou-se 2 como valor mínimo para o coeficiente de aproveitamento ($CA \geq 2$) de edificações residencial. Na de uso Comercial optou-se por $CA \geq 0,5$ ao se observar que, comumente, shopping centers, embora tenham um grande número e fluxo de pessoas, tendem a ser mais horizontais comparados a edificações de uso residencial localizados nos grandes centros urbanos.
- **Unidades por Pavimento**: É possível observar também que edificações residenciais de grande porte muito facilmente ultrapassam a marca de 4 unidades habitacionais por pavimento (Figura 2, pág. 23). Ainda, como os shopping centers tendem a ser mais horizontais do que os prédios de uso habitacional, sabe-se que o número de unidades comerciais por pavimento dentro de um shopping center ultrapassa o número de unidades por pavimento de um prédio. Ou seja, quatro é um valor bastante pequeno e facilmente atingível para o porte pretendido para as edificações abordadas neste trabalho.
- **Altura**: A medida de altura é contabilizada em metros, desde o nível do terreno (PREFEITURA DE SÃO PAULO, 2017, p. 85). Com a finalidade de abranger os shopping centers no Uso Comercial, abaixou-se a altura da edificação comercial comparada com os demais tipos de edificações. Pelo DECRETO 44270/2006 de Minas Gerais, uma edificação alta se daria acima de **54 m** (Tabela 2, pág. 24). Contudo, observa-se no Plano Diretor de São Paulo que o Gabarito (altura máxima das edificações) deve ser de até **28m** (Tabela 3, pág. 26). Ainda, conforme relatado no Plano Diretor do Rio de Janeiro (PREFEITURA MUNICIPAL DO RIO DE JANEIRO, 2009), o gabarito de altura prevalecido no decreto que instituiu o zoneamento do município (decreto municipal no 322 de 3/03/1976) foi de 18 pavimentos em algumas zonas e de 5 em outras (este

último valor equivaleria a um prédio de aproximadamente **18 m**, considerando uma altura genérica utilizada na construção civil de 3,5 m por andar). Considerando que, para o porte de uma edificação, um conjunto de fatores é determinante além da altura, optou-se por uma altura relativamente baixa, próximo dos 5 pavimentos depreendidos do Plano Diretor do Rio de Janeiro. Sendo assim, optou-se por uma altura acima de 18 m em edificações residenciais e acima de 15 m em edificações comerciais.

Com base nos critérios e metodologia definida acima, conceituou-se edificações residenciais e comerciais de grande porte, as quais serão discutidas no item 5.1.

Os vieses de Segurança Contra Incêndio, de Licenciamento Ambiental e de Planejamento Urbano foram, portanto, utilizados apenas para entender o que seria uma edificação residencial e uma comercial de grande porte e assim conceituá-las.

4.2. ESGOTOS DOMÉSTICOS GERADOS EM EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS E COMERCIAIS DE GRANDE PORTE

A partir do momento em que foi feita a conceituação das edificações residenciais e comerciais (cujas metodologias estão detalhadas no item 4.1), este trabalho buscou o delineamento de uma edificação residencial e de uma comercial específicos para este estudo. Sendo assim, com base no observado ao final do item 3.1, foi dado enfoque, na categoria residencial, para edificações com apartamentos de 2 e 3 quartos e, na categoria comercial, para shopping centers ao invés de edificações comerciais verticais. Fez-se esta escolha conforme as maiores preferências de cada uma das categorias segundo a EMBRAESP (2017) e a PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO (2019) (Tabela 4, pág. 29 e Tabela 5, pág. 30).

As morfologias específicas para este estudo foram então delineadas, com a finalidade de entender os esgotos originados desse escopo.

Pela revisão da literatura caracterizou-se os esgotos domésticos (item 3.2) de forma qualitativa (item 3.2.2, pág. 34) e quantitativa (item 3.2.3, pág. 38), se definiu os tipos de esgotamento sanitário (item 3.2.4, pág. 46), bem como critérios de projeto para quantificação das instalações sanitárias em uma edificação. Da análise do item 3.2, foi possível obter os métodos de cálculo mais adequados para se estimar a vazão dos esgotos

domésticos oriundos dessas edificações: método da Demanda Mínima para Suprimento Constante e o Método SABESP.

Os dados obtidos para se calcular a vazão de esgotos domésticos por ambos os métodos foram obtidos tanto por meio das informações disponíveis no item 3.2 quanto pelo desenho de uma edificação residencial, bem como a obtenção de dados de uma edificação comercial já existente.

Dessa forma, as estimativas de consumo de água por habitante, bem como porcentagem de esgoto gerado considerando o consumo de água, foram obtidos por meio dos estudos realizados no item 3.2. Já as estimativas de número de habitantes, vagas de estacionamento por apartamento, área construída, dentre outros, foram obtidas, no caso residencial, por meio de um desenho condominial específico para este estudo e, no caso comercial, pela obtenção de dados provindos de um caso já existente (Shopping Passo Fundo/RS).

Como adendo ao estudo, também se dimensionou, de forma isolada, um restaurante cujas dimensões seriam as mesmas de um dos andares do edifício residencial. Dessa forma, excluindo-se o quesito área, buscou-se informações comparativas entre as categorias residencial e comercial quanto aos esgotos gerados. O método de cálculo está presente na Tabela 10 (página 42) e o dimensionamento de instalações sanitárias e usuários da edificação nas páginas 48 a 49.

Do estudo quantitativo dos esgotos domésticos das edificações residenciais e comerciais delineadas para este estudo, foi possível dar sequência à caracterização do potássio presente nesses fluxos, cuja metodologia está presente no item 4.3.

4.3. POTÁSSIO

Dos resultados obtidos para esgotos nas morfologias desenhadas para cada uso (item 5.2), estimou-se as possíveis quantias de potássio provindas dos respectivos sistemas prediais, por meio dos dados obtidos de esgotos domésticos com e sem separação na fonte (item 3.3.3, pág. 55).

Das estimativas de potássio provenientes de cada sistema e do analisado no item 3.3, se discutiu possíveis formas de recuperação e utilização de potássio oriundo de esgotos domésticos como produto comercializável, bem como seu potencial de, no futuro, vir a ser um produto comercializável.

5. RESULTADOS

Como resultados deste trabalho tem-se a caracterização definida para edificações residenciais e comerciais de grande porte, elaboração de um modelo de edificação para cada um dos usos e análise dos esgotos gerados nos modelos criados, do ponto de vista de aproveitamento do potássio.

5.1. EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS E COMERCIAIS DE GRANDE PORTE

Partindo de análise da literatura e tendo como metodologia o descrito no capítulo 4, obteve-se como resultado a conceituação apresentada na Tabela 23 para edificações de uso residencial e comercial de grande porte.

Tabela 23: Conceituação das edificações residencial e comercial de grande porte.

Caracterização do Uso		Caracterização do Porte	Características Construtivas
Residencial	Edificações destinadas à moradia (habitações)	Condomínios verticais, onde há um grande número de pessoas e unidades habitacionais: Habitação Multifamiliar	$A^{(1)} \geq 20.000 \text{ m}^2$ sem contar garagem e espaços de uso comum (áreas de lazer); $CA^{(2)} \geq 2$ Unidades /Pavimento ≥ 4 Altura (H) $> 18\text{m}$
	Edificações destinadas ao uso de Comércio e Serviços	Grandes centros comerciais (shopping centers) e edificações destinadas a abrigar atividades de escritório com grande número de pessoas (prédios públicos ou privados).	$A > 20.000 \text{ m}^2$ sem contar garagem $CA \geq 0,5$ Altura (H) $\geq 15 \text{ m}$

⁽¹⁾ Área construída computável (A); ⁽²⁾ Coeficiente de aproveitamento (CA).

Fonte: Elaboração Própria.

Os critérios previamente definidos (Tabela 23) são mínimos para edificações de grande porte, e têm a finalidade de excluir as edificações menores ao mesmo tempo em que buscam levar em consideração a variedade de morfologias construtivas que uma edificação residencial e comercial de grande porte pode assumir. Espera-se que, com a classificação obtida, seja possível definir um mínimo suficiente como ponto de partida para o estudo dos objetivos do trabalho.

5.2. ESGOTOS DOMÉSTICOS GERADOS EM EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS E COMERCIAIS DE GRANDE PORTE

5.2.1. Edificação Residencial de Grande Porte

De posse das características construtivas definidas para edificações residenciais de grande porte, definiu-se um modelo de edificação e então se estimou a saída de esgotos domésticos. Assim, estimou-se uma edificação residencial constituída de dois padrões modulares: apartamentos de 2 e 3 quartos, respectivamente (Figura 11 e Figura 12). A planta baixa dos andares residenciais está esquematizada no Apêndice B, página 129.

Figura 11: Modelo esquemático de um apartamento de 2 quartos.



Fonte: Elaboração própria.

Figura 12: Modelo esquemático de um apartamento de 3 quartos.



Fonte: Elaboração própria.

A planta baixa foi desenhada respeitando os quesitos de área e quantidade de dispositivos hidráulicos apresentados em COE-SP para unidade residencial em condomínio (item 3.2.4). Quanto ao gabarito, adota-se o máximo presente no plano diretor do mesmo município (Tabela 3) para zonas urbanas, ou seja, 28 m (“térreo + 8 andares”).

Optou-se por, em um mesmo sistema predial, elaborar andares constituídos unicamente de apartamentos de 2 quartos e outros de 3 quartos. Assim, considerando que em um andar de 2 quartos há 6 apartamentos/andar, e em um de 3 quartos há 4 apartamentos/andar, buscou-se uma proporção semelhante ao relatado em EMBRAESP, (2017, p. 20), resultando em 3 andares constituídos por apartamentos de 3 quartos e 5 andares constituídos por apartamentos de 2 quartos.

Ou seja:

A2 = número de andares com apartamentos de 2 quartos

A3 = número de andares com apartamentos de 3 quartos

A2 + A3 = 8 andares

$$\frac{\text{N}^{\circ} \text{ unidades de 3 quartos}}{\text{N}^{\circ} \text{ unidades de 2 quartos}} = \frac{4 \times A3}{6 \times A2} = \frac{4.011}{11.639}$$

A2 ~ 5 andares; A3 ~ 3 andares.

A Tabela 24 e a Tabela 25 resumem os critérios adotados quanto às dimensões dos apartamentos, número de ocupantes, quantidade de apartamentos por andar e dispositivos de consumo de água que geram esgotos como fluxo de saída da edificação.

Tabela 24: Dimensões, aparelhos hidrossanitários e quantidade de habitantes por apartamento.

Tipo de apartamento	Com 2 quartos	Com 3 quartos
Dimensões		
Espessura das paredes externas: e (m)	0,34	0,34
Lado interno: x (m)	9,5	9,5
Lado interno: y (m)	9,33	15,34
Área total do apartamento $(x+2e)(y+2e)$	102	163
Aparelhos Hidrossanitários		
Vasos sanitários/apartamento	2	3
Chuveiros/apartamento	1	2
Lavatório (pia de banheiro)/apartamento	2	3
Lavatório (pia cozinha)/apartamento	1	1
Lavatório (tanque lavanderia)/apartamento	1	1
Máquina de lavar/apartamento	1	1
Quantidade de habitantes		
Pessoas/apartamento (med)	3	4

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 25: Número de apartamentos e dimensões totais do andar.

Tipo de Andar	Com apartamentos de 2 quartos	Com apartamentos de 3 quartos
Número de apartamentos/ andar	6	4
Dimensões		
Largura dos corredores (m)	2	2
Lado X (externo total do andar)	22,36	22,36
Lado Y (externo total do andar)	34,04	34,04
Área total construída/andar: X.Y (m)	761,13	761,13
Área total construída/edifício	6.089,08	

Fonte: Elaboração própria.

A edificação em questão atende os seguintes quesitos estabelecidos no item 5.1 quanto à categoria de uso residencial: “Unidades /Pavimento ≥ 4 ” e $H > 18m$.

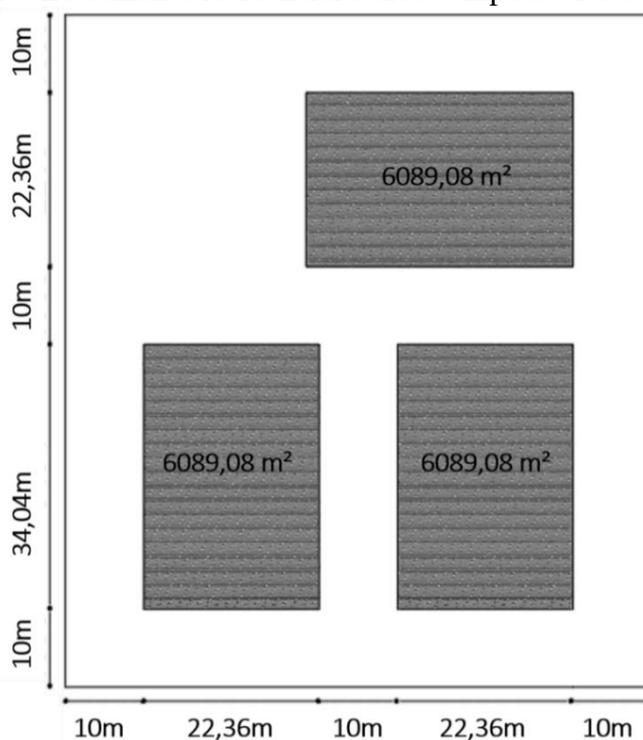
A área construída computável de um único edifício fica bastante abaixo dos 20.000 m². Sendo assim, para conformação deste critério, é necessário estimarmos que, em um loteamento residencial haja um complexo de 3 edifícios no padrão do Modelado. Optou-se por multiplicar a quantidade de edifícios ao invés de aumentar a altura e não colidir com o gabarito máximo estabelecido para edificações (Tabela 3, pág. 26).

Levando em conta que as dimensões externas dos edifícios são 22,36 m e 34,04 m (Tabela 25), a área construída computável do edifício é dada por meio da área total construída do andar ($22,36 \times 34,04 = 761,13 \text{ m}^2$) e dos andares, excetuando-se o térreo por ser uma área comum. Assim, tem-se como resultado $8 \times 761,13 = 6089,08 \text{ m}^2$. Como

são 3 edifícios, a área construída passa a ser $3 \times 6089,08 = 18.267,23 \text{ m}^2$, se aproximando de 20.000 m^2 , mas não o ultrapassando, não sendo, portanto, onerado pelo FUNDURB caso se tratasse de um lançamento residencial em São Paulo.

Quanto ao Coeficiente de Aproveitamento, este varia conforme a área do terreno a ser implantado o empreendimento. Estipulando um terreno de dimensões $74,72 \text{ m}$ por $86,4 \text{ m}$ (Figura 13), têm-se uma área aproximada de terreno de 6.456 m^2 . Pela Equação 1, se obtêm então $CA = 2,83$, valor este acima de 2, conforme definido no item 5.1. Esse coeficiente é razoavelmente elevado, uma vez que edificações com alto CA tendem a variar de 2 a 4. Sendo assim, antes de construir uma edificação desta magnitude, é importante avaliar, junto ao órgão municipal, qual é o CA máximo tolerado para a região onde pretende se instalar o empreendimento.

Figura 13: Loteamento residencial e área computável dos edifícios.



Fonte: Elaboração própria.

Dessa forma, respeitando o gabarito de alturas, o único critério não completamente sanado no item 5.1 foi a área construída computável. Ao se buscar uma área próxima de 20.000 m^2 obteve-se um resultado um pouco inferior. Isso positivamente resulta na não oneração ocasionada para valores acima desta faixa de área. Contudo, se o terreno fosse computado, a área construída computável e o CA passariam para 20.550 m^2 e 3,18, respectivamente. Ao se aplicar a cota de 10% sobre a área construída, essa mudança resultaria no uso de 2 apartamentos de 2 quartos para utilização como Habitação

de Interesse Social, o que não parece ser altamente custoso na prática. Há que se ponderar os prós e contras tarifários, bem como tomar cuidado em obedecer ao CA estabelecido pelo órgão municipal para a região em questão.

Assim como na Figura 4 (página 28), o empreendimento estipulado para este trabalho também possui área de terreno inferior a 20.000 m² e face da quadra abaixo de 300 m. Após modelarmos o conjunto habitacional, pode-se então estimar o seu consumo de água.

A comparação dos métodos de estimação de consumo de água apresentados no item 3.2.3 resultou que as metodologias mais adequadas para estimação do consumo residencial na realidade brasileira são o método da Demanda Mínima para Suprimento Constante e o Método SABESP.

Sendo assim, o consumo foi calculado tanto pelo método da Demanda mínima de água para suprimento constante (Equação 2) quanto pelo Método SABESP apresentado por Von Sperling (Tabela 10). Após a determinação da vazão mais adequada, foi então aplicado 80% ao valor resultante, para se obter o valor de esgoto coletado baseado no consumo de água calculado, seguindo a recomendação da NBR 7229 (ABNT, 1993).

5.2.1.1. Método da Demanda Mínima para Suprimento Constante

Para o cálculo pela Demanda Mínima para Suprimento Constante, considerou-se um consumo per capita de 200 L/hab.dia. De posse do consumo diário por habitante (200 L/hab.dia) e do número médio de pessoas por tipo de apartamento (Tabela 24), bem como do total de apartamentos no andar (Tabela 25) é possível elaborar o cálculo da Demanda Mínima para Suprimento Constante (Equação 2). Dessa forma, obtêm-se os valores apresentados na Tabela 26.

Tabela 26: Vazão de água por andar (Demanda Mínima para Suprimento Constante).

Tipo de andar	apartamentos de 2 quartos	apartamentos de 3 quartos
Pessoas/apartamento	3	4
apartamentos/andar	6	4
Consumo (L/hab.dia)	200	200
Q (L/s) por andar	0,042	0,037
Q (m³/mês) por andar	108	96

Fonte: Elaboração própria.

Como são 8 andares residenciais, dos quais 5 são de apartamentos de 2 quartos e 3 são de apartamentos de 3 quartos, calcula-se então a vazão resultante do edifício e a quantidade de ocupantes (Tabela 27).

Tabela 27: Estimativa de habitantes e vazão de água consumida na edificação residencial – Demanda Mínima para Suprimento Constante.

ANDAR	Tipo de andar	apartamentos de 2 quartos	apartamentos de 3 quartos
		Pessoas/andar	18
	Andares no edifício	5	3
Pessoas no edifício		138	
EDIFÍCIO	Consumo (L/hab.dia)	200	
	Q (L/s) no edifício	0,319	
	Q (m³/mês) no edifício	828	

Fonte: Elaboração própria.

Feito isso, multiplica-se por 3 para se entender a vazão demandada pelos ocupantes do loteamento residencial (vide Figura 13, pág. 71). Esse valor resulta em 2.484 m³/mês de água consumida. Para estimar o esgoto coletado nesse empreendimento, basta aplicar 80% a esse valor (ABNT, 1993), resultando em **1.987,2 m³/mês de esgoto doméstico**.

5.2.1.2. Método SABESP

Já o Método SABESP considera, ao invés do número de ocupantes, a área e infraestrutura da região, tais quesitos foram considerados conforme o que se encontra disponível nas plantas baixas esquematizadas para os andares de 2 e 3 quartos, respectivamente (vide página 129).

De posse da área total construída por andar (Tabela 25), número de banheiros, de dormitórios e estimando um total de 1,38 vaga de garagem por apartamento (2 andares subterrâneos de estacionamento como ilustrado na página 129), utilizou-se a equação apresentada por Von Sperling (Tabela 10) para Prédios de Apartamentos, obtendo-se a estimativa de vazão para o edifício presente na Tabela 28.

Tabela 28: Estimativa de vazão de água consumida - Método SABESP.

Parâmetro	Valor
Área total/andar (m ²)	761,13
Andares + Térreo (m ² , sem contar estacionamento ou áreas externas)	9
Área total construída (m ² , “andares + térreo”)	6850
n° de banheiros no edifício	96
n° de dormitórios no edifício	96
n° de vagas de garagem/apartamento	1,38
Q (m³/mês) no edifício	748,39
Q (L/s) no edifício	0,289

Fonte: Elaboração própria.

Como são 3 edifícios, o consumo de água dos moradores do loteamento é de 2.245 m³/mês, gerando um esgoto coletado de **1.796 m³/mês**.

Comparando os dois métodos, optou-se por tomar como referência a medida de consumo de água obtida pelo Método SABESP, uma vez que essa medida de vazão resultará em valores cerca de 10,6% menores de potássio como fluxo de saída.

5.2.2. Edificação Comercial de Grande Porte

Tomando como referência o shopping center inaugurado no município de Passo Fundo/RS pela disponibilidade de dados, estimou-se a vazão de água pelo método de cálculo disponível na Tabela 10 para shopping centers. De posse de um consumo de água de 6.386,2 m³/mês (Tabela 29), a estimativa de esgoto resulta em **5.108,96 m³/mês**.

Tabela 29: Vazão de água estimada para o shopping center de Passo Fundo.

Parâmetro	Valor
Área bruta locável (m ²)	30.000
Área total do terreno (m ²)	75.000
Área total construída (m ²)	49.000
n° de salas de cinema	5
Q (m³/mês)	6.386,2

Fonte: Elaboração própria utilizando dados de SIMON, 2018.

Analisando a área bruta locável, percebe-se que o quesito de Área construída computável facilmente ultrapassa os 20.000 m², estando em conformidade com o apresentado no item 5.1.

Além das informações de área e número de salas de cinema (Tabela 29), outras informações referente ao shopping são as seguintes, obtidas de SIMON (2018):

- Investimento global: 200 milhões
- Pavimentos: 3
- Número de lojas: 200
- Âncoras: 6
- Megalojas: 13
- Lojas satélites: 144
- Quiosques e serviços: 30
- Restaurantes: 3
- Empregos: 1,5 mil
- Vagas de estacionamento: 2 mil

Como o empreendimento analisado possui 3 pavimentos, fica abaixo da altura de 15 m a depender da altura adotada por pavimento. Isso indica que 15 talvez não seja um valor plenamente aplicável a shopping centers, entrando em maior conformidade provavelmente com edificações comerciais verticais, tais como prédios de escritórios.

Quanto ao coeficiente de aproveitamento, se considerarmos a área total construída como sendo a área construída computável, então $CA = 0,65$. Esse valor, entretanto, pode apresentar muitas imprecisões, variando de 0,4 (se considerarmos apenas a área bruta locável) até 0,65 (se considerarmos a área total construída).

Sendo assim, dos quesitos apresentados no item 5.1, o único que parece abarcar com segurança shopping centers são a área computável. Frente a isso, fica evidente a importância de, na categoria de uso comercial, separar as tipologias predominantemente horizontais das predominantemente verticais, a fim de estabelecer um critério mais específico e assertivo para cada tipologia construtiva.

Traçando ainda um comparativo de áreas e categoria de uso, decidiu-se comparar os esgotos gerados por um dos andares da edificação residencial de grande porte (andar constituído de apartamentos de 2 quartos – Tabela 26) com um restaurante que abarcasse a mesma área construída.

A vazão do restaurante foi calculada pelo método constante na Tabela 10 (página 42) estimando-se um total de 8 funcionários e 6 bacias sanitárias para o empreendimento (Tabela 30). O número de bacias foi calculado considerando a área útil de 761 m² (área total do restaurante), o coeficiente de lotação presente Tabela 14 (página 49) e a proporção de instalações sanitárias mínimas por pessoa presente na Tabela 13 (página 48) para o uso “Comércio de alimentação e consumo”.

Tabela 30: Estimativa do número mínimo de instalações sanitárias.

Parâmetro	Valor
ÁREA ÚTIL DO RESTAURANTE (m ²)	761
Coefficiente de lotação (m ² /pessoa)	7
Lotação (pessoas)	109
Proporção para número mínimo de instalações sanitárias	1:20
Nº instalações sanitárias	6

Fonte: Elaboração própria.

As instalações sanitárias do restaurante são configuradas como “Bacia e lavatório” (Tabela 12, pág. 48), sendo que dessas 6, metade é destinada ao público feminino e a outra ao masculino. Ambos contendo 1 instalação (bacia sanitária) adaptada para pessoa com mobilidade reduzida.

De posse da vazão residencial (Tabela 26, pág.72) e comercial das edificações, é possível traçar o comparativo, presente na Tabela 31.

Tabela 31: Comparativos duas modalidades de consumo de água para uma mesma área (761 m²).

Residencial	Água	Esgoto
Q (m ³ /mês) andar residencial	108	86,4
Restaurante		
Funcionários	9	
Bacias	6	
Q (m ³ /mês) do restaurante	117,9	94,32

Fonte: Elaboração própria.

Percebe-se, portanto, que as atividades comerciais relacionadas à alimentação tendem a ser mais intensas que as atividades residenciais, representando, neste caso específico analisado, 109% em relação ao consumo residencial, tanto de água quanto de esgoto.

5.3.POTÁSSIO

5.3.1. Presença de potássio nos esgotos

KUJAWA-ROELEVELD e ZEEMAN (2006) caracterizaram o teor de potássio dos esgotos segundo as seguintes fontes: urina, fezes, águas cinzas e água da cozinha (Tabela 20, pág. 57), sendo esta última correspondente à água cinza escura, na qual contém os resíduos de alimentos que não foram utilizados na alimentação.

Como a estimativa de KUJAWA-ROELEVELD e ZEEMAN (2006) é feita em g/hab.dia (Tabela 20), ao saber a quantidade de usuários da edificação, pode-se então estimar os limites mínimo e máximo de potássio presente no fluxo ao longo de 1 mês (Tabela 32).

Tabela 32: Distribuição do potássio no esgoto doméstico segundo o tipo de edificação.

	K (g/hab.dia)			K (g/hab.mês)		
	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd
Urina (g/hab.dia)	2,2	3,3	-	66	99	-
Fezes (g/hab.dia)	0,8	1,0	-	24	30	-
Águas cinza (g/hab.dia)	0,5	1,0	-	15	30	-
Cozinha (g/hab.dia)	-	-	0,22	-	-	6,60
	Residencial			Comercial		
Nº pessoas no loteamento	414			7.500		
K estimado (kg/mês)	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd
Urina (kg/mês)	27,32	40,99	-	495,00	742,50	-
Fezes (kg/mês)	9,94	12,42	-	180,00	225,00	-
Águas cinza (kg/mês)	6,21	12,42	-	112,50	225,00	-
Cozinha (kg/mês)	-	-	2,73	-	-	49,50
Total de K estimado	43,47	65,83	2,73	787,50	1.192,50	49,50

Fonte: Elaboração própria.

A estimativa da quantidade de usuários da edificação residencial de grande porte foi apresentada anteriormente no item 5.2.1.

A estimativa da quantidade de usuários para a edificação comercial de grande porte foi feita por meio da informação sobre número de empregos gerados com a construção do Shopping Center (1,5 mil) e a quantidade de vagas de estacionamento (2 mil). Desses dados foi estimada uma média de 3 pessoas por vaga de estacionamento, resultando em um valor de 7.500 usuários da edificação.

Segundo a Associação Nacional dos Detrans (AND), o Brasil tem uma média de 4,4 habitantes por carro (AND, [s. d.]). Contudo, como este trabalho leva em consideração também o número de empregados do Shopping Center, como medida conservadora, optou-se por um valor menor do que o estipulado pela AND, sendo então arbitrado o valor de 3 pessoas por vaga de estacionamento.

Vale lembrar que o número de usuários em um centro comercial de grande porte, como um shopping center, é altamente variável, tendo pouca densidade de usuários em determinados dias e em outros (finais de semanas e datas comemorativas) um valor inflacionado para o número de ocupantes. Sendo assim, a estimativa que foi feita consiste

apenas em um valor médio, não correspondendo a valores de pico tanto por escassez quanto por falta de usuários no shopping.

Como era de se esperar, quanto maior a quantidade de usuários, maior o a quantidade de potássio no esgoto gerado.

O uso comercial resultou no valor mais extrapolado dentre os estimados na Tabela 32, tanto em valores de mínimo estimado quanto em valores de máximo. Isso se deve ao fato de levar em consideração apenas a quantidade de usuários da edificação em detrimento de muitos outros aspectos, tais como atividades realizadas na edificação, dispositivos sanitários utilizados (como tanques, ou máquina de lavar), questões de reúso.

Mesmo assim, em lugares comerciais constituídos de praças de alimentação ou demais atividades em que se requer lavagens frequentes, o teor de água cinza gerado tende a ser significativo. O elevado grau de utilização de sanitários e lavatórios também pode contribuir para uma quantidade elevada de potássio nos esgotos. Vale lembrar que, após a urina, as águas cinzas são a segunda fração do esgoto doméstico onde se encontra maiores quantidades do elemento em estudo (KUJAWA-ROELEVELD e ZEEMAN, 2006; RONTELTAP e SIRAIT, 2010).

Ao focalizarmos a geração de potássio por fonte (Tabela 32, pág. 77), percebe-se que, embora a urina seja o fluxo mais rico em K, estamos perdendo quantidades potencialmente significativas de potássio presente nas outras frações do esgoto doméstico se utilizarmos apenas este fluxo. Assim, é importante um olhar sobre a questão do potássio no esgoto doméstico como um todo, como forma de maximizar a recuperação desse elemento.

MARQUES (2017) também elabora estimativas para o potássio oriundo do esgoto doméstico. Segundo ele, o esgoto oriundo do tratamento preliminar pode adotar os seguintes valores de média e mediana, os quais foram medidos pelo autor: 40,6 mg/L e 43 mg/L (Tabela 17, pág. 55).

A média se refere ao somatório dos valores dividido pelo número de amostras. Já a mediana coloca o conjunto de valores em ordem crescente (ou decrescente) e escolhe o valor intermediário, ou a média dos dois intermediários, em caso de número par de amostras. Dessa forma, a mediana exclui os valores muito destoantes da amostra, enquanto a média os abrange, podendo haver distorções de dados se o número amostral não for suficiente.

Assim, como forma de obter um valor adequado e que evite valores muito destoantes do padrão medido, optou-se por adotar a mediana (43 mg/L) para assim

estimarmos o potássio considerando concentração apontada por MARQUES (2017). Tal estimativa se encontra na Tabela 33.

Tabela 33: Potássio no esgoto bruto de cada tipo de edificação.

Potássio no esgoto bruto (mg/L)	43
Potássio no esgoto bruto (kg/m ³)	0,043
Q residencial (m ³ /mês)	1796,1
Q comercial (m ³ /mês)	5.108,96
K no esgoto Residencial (Kg/mês)	77,23
K no esgoto Comercial (Kg/mês)	219,69

Fonte: Elaboração própria.

As estimativas de potássio presente no esgoto produzidas dos dados fornecidos por ambos os autores apresentam os maiores teores no uso Comercial. Isso se deve tanto à maior quantidade de usuários quanto à maior quantidade de esgotos gerada por esse tipo de empreendimento.

Traçando um comparativo entre as vazões potássicas, o empreendimento residencial atingiria proporções semelhantes ao comercial caso o primeiro fosse cerca de 3 vezes maior em termos populacionais, ou seja, a quantidade de potássio estimada para o Shopping de Passo Fundo equivale a aproximadamente 3 loteamentos nos moldes do condomínio residencial desenhado para este estudo (Figura 13, pág. 71).

Quando se fala em tratamento descentralizado, a utilização aparentemente mais interessante que se apresenta são os shopping centers, devido, tanto à sua maior disponibilidade de área para implantação de uma estação de tratamento de esgotos, quanto pela maior utilização de sanitários e lavatórios.

Observa-se, portanto, que, dos tipos de edificação propostos, o de maior potencial de aproveitamento potássico é o comercial de grande porte, o que também pode ser deduzido por meio da maior quantidade de pessoas utilizando a edificação, bem como atividades intensas de lavagem de utensílios nas praças de alimentação.

Para a sequência deste trabalho, será adotada a vazão potássica oriunda dos piores casos anteriormente estimados, ou seja, serão adotados os valores mais conservadores. Logo, adotou-se a vazão de 43,47 kg/mês para a vazão potássica residencial (Tabela 32, pág. 77) e 219,69 kg/mês para a vazão potássica comercial (Tabela 33, pág. 79).

5.3.2. Utilização do potássio presente em esgotos domésticos

O fluxo no qual o potássio está presente em maiores quantidades é a urina (Figura 6, pág. 35). Muitos trabalhos, tais como os apresentados por CASTRO *et al.* (2015), GRAU *et al.* (2015) IACONI *et al.* (2017, cap. 17) e RONTELTAP e SIRAIT (2010) têm aproveitado a urina para produção de fertilizante a base de fósforo e amônio, cujo nome é estruvita ($\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$). Além da urina, pesquisas apontam a possibilidade da produção de estruvita de esgoto doméstico tratado. Um desses trabalhos, desenvolvido por CASTRO *et al.* (2015), utiliza um reator de leito fluidizado e, em seguida, adiciona magnésio à mistura em agitação, o qual funciona como reagente de precipitação da estruvita. Analisando os trabalhos de CASTRO *et al.* (2015) e GRAU *et al.* (2015), percebe-se que algumas fontes possíveis de magnésio para a reação são $\text{Mg}(\text{OH})_2$, MgCl_2 e MgSO_4 .

Embora a estruvita clássica ($\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) não tenha potássio em sua formulação, há outras formas de produzi-la, formando assim formulações menos tradicionais (SOARES *et al.*, 2017): **K-estruvita ($\text{MgKPO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)** e Na-estruvita ($\text{MgNaPO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$). Para a produção de estruvita de potássio, é necessário retirar o amônio da solução. Isso, segundo SOARES *et al.* (2017), pode ser feito com hidrólise ou degradação microbológica da mistura em questão.

Sabe-se que as estações tradicionais de esgotos já possuem a etapa de degradação microbológica como método de tratamento de esgotos domésticos e sanitários. Sendo assim, em teoria, isso pode auxiliar na produção da k-estruvita, embora não tenham sido feitos testes pilotos no Brasil que confirmem a aplicabilidade prática para a realidade nacional.

Outras formas de se utilizar o potássio do esgoto doméstico de edificações urbanas tem sido na fertirrigação, oriunda tanto das águas cinza da edificação (BAZZARELLA, 2005), quanto do efluente tratado de estações modulares compactas de tratamento de esgotos domésticos em condomínios de grande área (ELLO SUSTENTAVEL, 2014; TECNO SAN, 2019). Ambos são aplicados para fins paisagísticos ou em vegetações onde não se pratique o consumo direto e cru do produto vegetal.

Também há estudos que utilizam o estoque de urina ou mesmo o lodo de estações de tratamento de esgotos como potencial fertilizante (CHRISPIM *et al.*, 2017; DAGERSKOG, COULIBALY e OUANDAOGO, 2009; FEITOSA *et al.*, 2008; MOTA; VON SPERLING, 2009; OTTERPOHL, BRAUN e OLDENBURG, 2004; RANDALL

et al., 2016; RONTELTAP; SIRAIT, 2010; TILLEY *et al.*, 2008). Assim como se observa ao avaliar os trabalhos de DAGERSKOG, COULIBALY e OUANDAOGO (2009); PRONK *et al.*(2007); PRONK, BIEBOW e BOLLER (2006); e DIAS (2019), a utilização de urina sem o prévio tratamento pode trazer a inserção de poluentes de preocupação emergente, cujo tratamento de excelência se dá por processos oxidativos avançados.

Para o lodo também deve-se tomar cuidados relacionados à toxicologia, uma vez que pode conter metais tóxicos. O lodo, contudo, apresenta teores diminutos de potássio, como apresentado no item 3.3.3, sendo, de forma isolada, pouco interessante sob o viés de recuperação do potássio.

Em termos de facilidade de obtenção, as soluções mais interessantes para serem utilizadas como fertilizantes de esgoto ricos em potássio são por meio da fertirrigação do esgoto tratado ou da fertirrigação com urina tratada. Essas soluções são interessantes quando se pretende fertirrigar na própria região (TILLEY *et al.*, 2008). Contudo, em casos de transporte, devido ao volume de massa líquida a ser transportada, essa solução deixa de ser vantajosa economicamente. Sendo assim, em termos logísticos, uma solução seca se faz mais interessante para gerar potencial de utilização para fins comerciais.

Sob esse aspecto, a estruvita passa a se tornar bastante interessante. Além disso, sua produção garante um *output* reduzido em metais tóxicos e emissões de gases de efeito estufa comparados à produção convencional de fertilizantes realizados nas ETEs, conforme esquematizado na Figura 14.

5.3.3. Possíveis usos e tecnologias

Como visto, há a possibilidade de recuperar potássio tanto por meio da coleta e tratamento da urina em separado quanto pelo efluente oriundo dos processos de tratamento biológico.

Sob o viés construtivo, tratando-se de áreas urbanas densamente povoadas, se faz mais propício a utilização de tecnologias menos disruptivas, de modo a aproveitar o que já está construído e consolidado, e assim reduzir os prejuízos imediatos expressivos decorrentes da construção de edificações sustentáveis de cunho inovador. No caso da urina, trata-se de uma tecnologia bastante disruptiva, uma vez que em geral se trabalha com águas cinzas e águas negras quando se fala em separação na fonte. Utilizar urina exigiria tecnologias como sanitários No-Mix, os quais não são comuns no Brasil, embora já aplicados em países como Suécia, Alemanha, China e África Ocidental com a finalidade de extração de nutrientes (LOURO; JR; ÁVILA, 2012). De qualquer modo, caso a urina fosse utilizada, o “projetável” seria a coleta da urina seguida por hidrólise e precipitação da k-estruvita. Vale lembrar que quanto menor o volume de água, mais concentrado e viável se torna a extração do fertilizante.

Sob o viés de tecnologias não disruptivas, e, portanto, mais factíveis em futuro próximo, tem-se a possibilidade de ação junto a empreendimentos residenciais e comerciais de grande porte que já disponham de sistema próprio de tratamento de esgotos antes de sua inserção na rede pública, seja por demandas legislativas, seja por interesse do próprio empreendedor.

Nesse aspecto, algumas empresas especializadas no tratamento de esgotos já o realizam de forma descentralizada, sendo contratadas especificamente para esse fim pelo empreendedor interessado. Essas tecnologias consistem no tratamento em conjunto dos esgotos das edificações em estações modulares (ou compactas) de tratamento de esgotos.

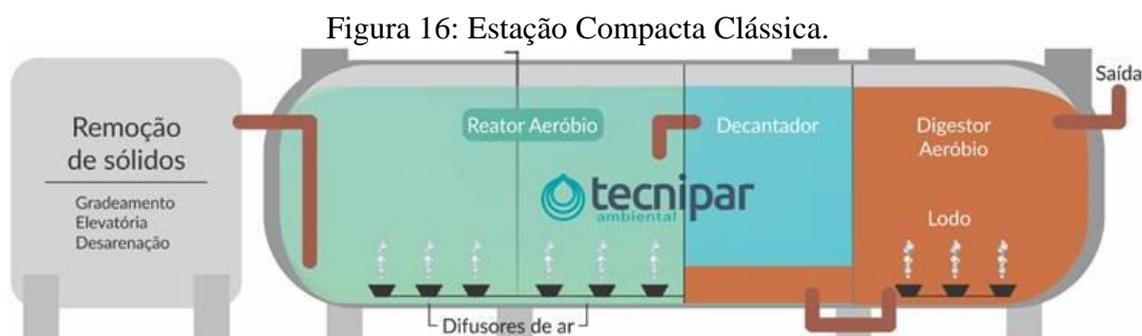
Esse modelo compacto consiste no aproveitamento de tecnologias e configuração de projeto de forma a utilizar o menor espaço possível para que seja feito o tratamento mais adequado. Conforme explicado no item 5.3.2, o *output* final desse modelo de tratamento comumente consiste na geração de um fertirrigado rico em nutrientes como potássio, o qual é aproveitado para fins paisagísticos, na rega de árvores e jardins. Contudo, sob o ponto de vista logístico, maiores volumes ocasionam em maiores gastos, não sendo viável a criação de um produto potássico comercializado na forma líquida. O adequado nesta situação poderia ser a secagem do fertirrigado ou a elaboração de K-

estruvita (cuja fórmula está descrita no item 5.3.2), feita com a filtração dos íons para a concentração do cátion de interesse e aplicação dos procedimentos para precipitação do fertilizante mineral. Esse procedimento poderia ocorrer nas instalações do condomínio, mas o mais possível é que seja realizado por uma empresa especializada em tratamento de esgotos, por utilizar as etapas biológicas tradicionais em ETEs (tanto compactas modulares como tradicionais centralizadas) e apenas acrescentar a essas etapas a extração do composto.

Seja em tecnologias disruptivas ou não, a adoção de práticas de reúso também é uma das alternativas a contribuir na extração de potássio, devido ao aumento da concentração desse cátion no meio líquido a ser processado.

5.3.4. Proposta de Projeto Piloto para Recuperação de K

Para esboço do projeto, de forma a aproveitar tecnologias já existentes, tomou-se como referência o modelo de tratamento compacto de esgotos domésticos já realizados por empresas especializadas neste meio, tais como a Tecnipar Ambiental (tecnipar.com.br), cujo portfólio disponibilizado pela própria empresa apresenta alguns modelos de Estação de Tratamento de Esgotos compacta (ETE compacta), os quais são apresentados na Figura 16 e na Figura 17.



Fonte: TECNIPAR AMBIENTAL (2021).

Figura 17: Estação Compacta Avançada.



Fonte: TECNIPAR AMBIENTAL (2021).

Em modelos de estação compacta clássica, comumente há apenas um reator aeróbio seguido de decantador. Esse modelo conceitual mais simples foi estimado, de forma semelhante, no trabalho de GOMES e HANSEN (2019) para uma população inteira na região de Dois Irmãos/RS. Este trabalho fez a análise comparativa entre a estação de tratamento convencional já presente na região e uma ETE compacta projetada no mesmo lugar, para a mesma população, de 895 habitantes.

Os autores realizam o comparativo de eficiência entre a ETE convencional e ETE compacta analisadas, concluindo que a segunda atende todos os requisitos da CONSEMA 355/2017, enquanto a primeira não atende metade dos parâmetros avaliados no estudo (Tabela 34).

Tabela 34: Comparativo entre as modalidades de ETEs.

Parâmetro	Unidade	ETE Convencional				ETE Compacta			
		Entrada	Saída	Eficiência (%)	Padrão CONSEMA 355/2017	Entrada	Saída	Eficiência (%)	Padrão CONSEMA 355/2017
DBO ₅	mg/L	850	190	77,67	Não Atende	2.260	46	97,96	Atende
DQO	mg/L	NA	NA	NA	Não Atende	5.030	270	94,63	Atende
Óleos e Graxas	mg/L	NA	NA	NA	Não Atende	467	9	98,07	Atende
pH	-	8,37	7,40	-	Atende	6,57	7,37	-	Atende
Sólidos Sedi-mentáveis	mL/L	ND	0,2	NA	Atende	60	0,2	99,67	Atende
Temperatura da Amostra	°C	23,3	24,4	-	Atende	22,8	22,6	-	Atende

ND: Não detectado

NA: Não analisado

Fonte: GOMES e HANSEN (2019).

Apesar de não terem sido relatadas informações de área útil total para a ETE compacta do estudo de GOMES e HANSEN (2019), considerando as estimativas de volume dos aparelhos utilizados tanto na ETE convencional analisada quanto na ETE compacta, é possível perceber que, de posse de alturas modulares de 3 m, uma área de 176 m² supre com segurança a área abarcada pelo projeto de GOMES e HANSEN (2019).

Como a população do loteamento de edificações residenciais de grande porte deste trabalho é de menos da metade da estimada pelo estudo de GOMES e HANSEN (2019), percebe-se que, ao analisar as áreas não computáveis da edificação (áreas não utilizadas no cálculo do coeficiente de aproveitamento), há disponibilidade de área para a implantação de uma ETE compacta modular convencional no loteamento residencial projetado para o presente trabalho.

GOMES e HANSEN (2019) analisaram também os prováveis custos de implantação da ETE compacta, que ficaram em torno de R\$ 1.240,65 a cada 5 pessoas, ou seja, Custo = 248,13 R\$/pessoa. Esse custo leva em consideração além dos materiais para a implantação, também a mão de obra e o frete. A empresa (Fibratec Engenharia) se localiza em Chapecó – SC, e a implementação do projeto ocorreria em Dois Irmãos/RS. Sendo assim, com uma distância de 460 km, o frete do projeto ficou em torno de 482,77 R\$/km.

Sob essa ótica, de posse das populações já estimadas para os empreendimentos residencial e comercial de grande porte (414 e 7.500 pessoas), os custos de implantação seriam de R\$ 102.725,82 e R\$ 1.860.975,00, respectivamente (Tabela 35).

Tabela 35: Custos de implantação estimados sob o viés de GOMES e HANSEN (2019).

	População	Coef (R\$/hab)	R\$	Dólar Março 2018	Dólar Ano 2020	R\$ corrigido
Residencial	414	248,13	102.725,8	R\$ 3,28	R\$ 5,16	161.647,45
Comercial	7.500	248,13	1.860.975	R\$ 3,28	R\$ 5,16	2.928.395,76

Fonte: Elaboração própria.

Apesar de GOMES e HANSEN (2019) terem tido seu trabalho publicado em 2019, esse foi finalizado em março de 2018. Dessa forma, é válido aplicar a correção do dólar para 2020. Escolheu-se este ano ao invés de 2021, pois o item 3.3.4 (página 58) calcula o valor do potássio sob esse ano. A correção, cujos resultados estão na Tabela 35, foi realizada por meio da Equação 3:

$$R\$ \text{ corrigido} = \frac{\text{Dólar } 2020}{\text{Dólar } 2018} \times R\$2018 \quad (3)$$

Caso os custos para a implantação de uma planta de recuperação de potássio fossem os presentes na Tabela 35, os valores seriam aceitáveis. Um loteamento residencial nos moldes desenhados para este projeto possui um total de 126 apartamentos. Dessa forma, um custo de R\$ 161.647,45 significaria que o valor da compra de cada apartamento individual subiria R\$ 1.282,92, o que, tomando por base os valores da EMBRAESP (Tabela 4, pág. 29) para cálculo do valor dos imóveis e os corrigindo por meio da Equação 3, representaria um aumento de 0,11% a 0,22% do seu preço para a compra, ou então de 0,17% valor total dos apartamentos do loteamento (Tabela 36).

Tabela 36: Custo de ETE proposta por GOMES e HANSEN (2019) com relação aos valores ao loteamento residencial.

	R\$/m ²	Área total (m ²)	Preço original do Apartamento (R\$)	Preço Corrigido (R\$)	Custo ETE/ apartamento	Elevação do preço (%)	Total de apartamentos no loteamento	Total arrecadado com a venda dos apartamentos (R\$)	Custo total da ETE (R\$)	Elevação do preço sob o total arrecadado (%)
Apartamento de 2 quartos	3.794	101,94	386.744,17	571.421,69	1.282,92	0,22%	90	51.427.952,51		
Apartamento de 3 quartos	4.782	163,08	779.865,78	1.152.266,16	1.282,92	0,11%	36	41.481.581,81		
Dólar 2016 = R\$3,49		Dólar 2020 = R\$ 5,16		Total			126	92.909.534,32	161.647,45	0,17%

Fonte: Elaboração própria.

A elevação de preços apresentada na Tabela 36 apontaria para a viabilidade do projeto considerando a ETE proposta por GOMES e HANSEN (2019). Contudo, para recuperação de potássio, há outras etapas que se adicionam ao que seria uma ETE compacta clássica, passando a ser uma ETE compacta avançada e, portanto, se assemelhando mais à Figura 17 (página 85) ao invés da Figura 16.

Isso ocorre, pois é necessária uma câmara anóxica, para, em conjunto com a câmara aeróbia, auxiliar no processo de transformação da amônia (NH₄⁺) a nitrogênio gasoso (N₂). A remoção do nitrogênio do sistema se faz necessária por influir na produção de estruvita. Como se pretende obter K-estruvita (MgKPO₄ · 6H₂O) ao invés de estruvita clássica (MgNH₄PO₄ · 6H₂O), é importante a remoção de N do sistema.

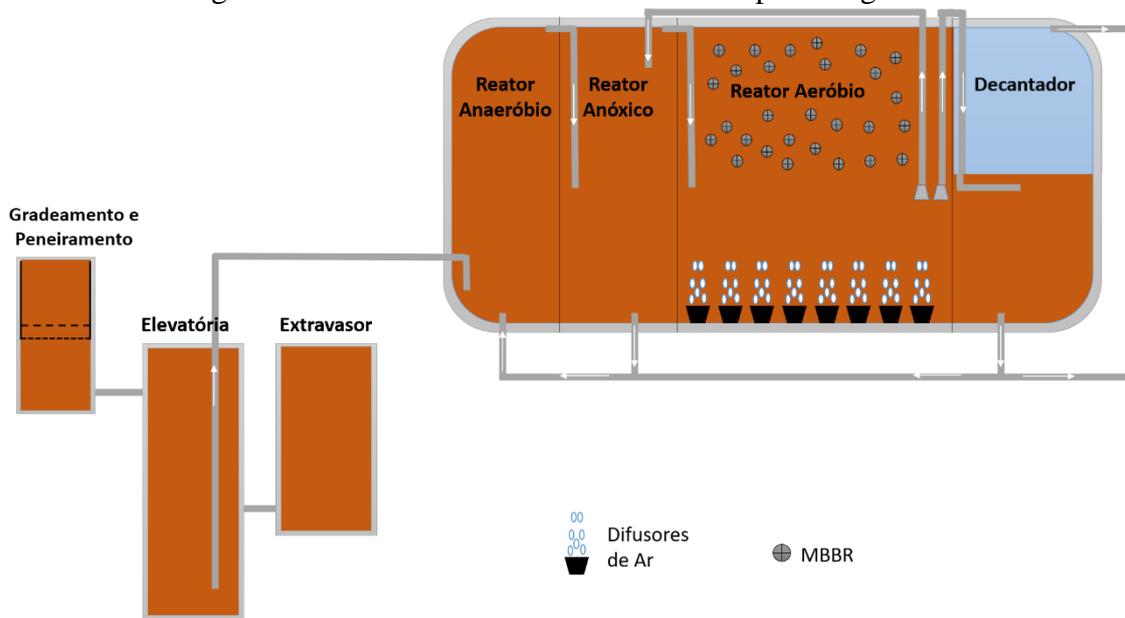
Sabe-se, contudo, que o N é um nutriente também altamente requerido por culturas vegetais. Dessa forma, para suplementação de N na cultura vegetal, podem ser utilizados fertilizantes nitrogenados, tais como Ureia, o Nitrato de Amônio e o Sulfato de Amônio (GLOBALFERT, 2021, p. 69). Além desses, uma forma alternativa de suplementação de N ocorre por meio da biomassa de vegetais ou mesmo de esterco de animais (FERREIRA,

2018). Apesar das formas de suplementação de N levantadas, também se faz interessante uma forma de recuperar o N presente na massa líquida ao invés de optar por seu descarte neste projeto. Este trabalho, contudo, não analisou a recuperação do N devido ao seu escopo, embora também seja um fertilizante relevante. Vale lembrar que, embora o foco do trabalho resulte na produção de um fertilizante rico em potássio, como no caso da K-estruvita, não se pode afirmar com certeza que o nitrogênio será completamente removido da composição, visto que não foram elaborados testes piloto. Dessa forma, há a possibilidade de, no fertilizante obtido, ocorrer a K-estruvita com traços de estruvita clássica (a qual contém N).

Quanto ao processo sugerido de tratamento do esgoto doméstico, além das câmaras aeróbia e anóxica, também é interessante a adição de uma câmara anaeróbia, para auxiliar na remoção do fósforo aderido à matéria orgânica, tornando-o possivelmente mais simples de ser utilizado nos passos subsequentes.

Essas etapas constituídas de câmara aeróbia, anóxica e anaeróbia estão ilustradas na Figura 18, que corresponde ao início do tratamento por meio da ETE compacta sugerida para este estudo.

Figura 18: Início do tratamento na ETE compacta sugerida.

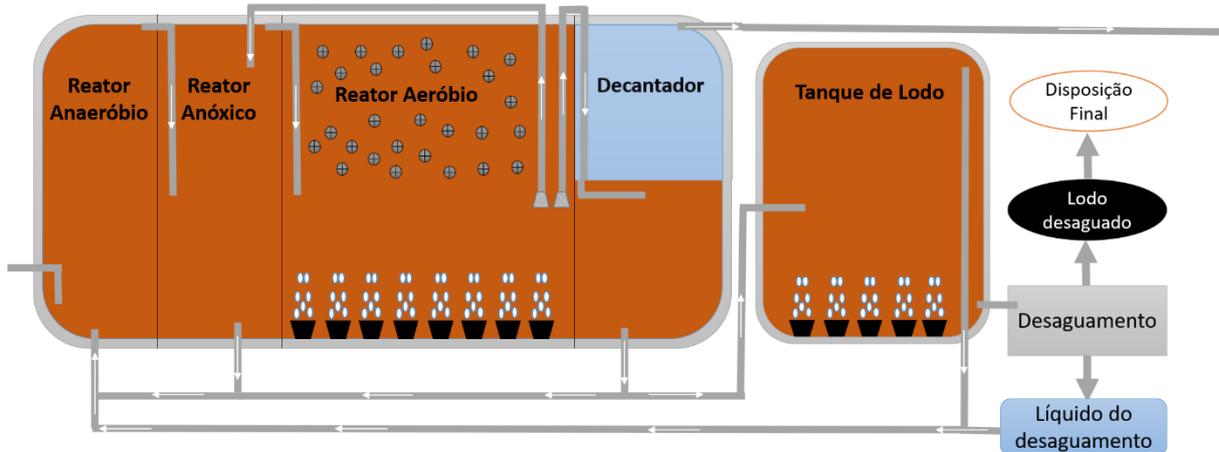


Fonte: Elaboração própria.

A tecnologia MBBR (*Moving Bed Biofilm Reactor*, ou reator de leito móvel), consiste na utilização de anéis de plástico, usualmente polietileno (VON SPERLING, 2014, p. 326), para auxiliar no crescimento da biomassa a ele aderida, ocasionando assim na maior degradação microbológica no reator (Figura 18). Após o tratamento a princípio já realizado, optou-se pelo acréscimo de um tanque de lodo com difusores de ar (Figura

19), os quais são desligados de tempos em tempos para, ora auxiliar na biodegradação, ora no adensamento do lodo.

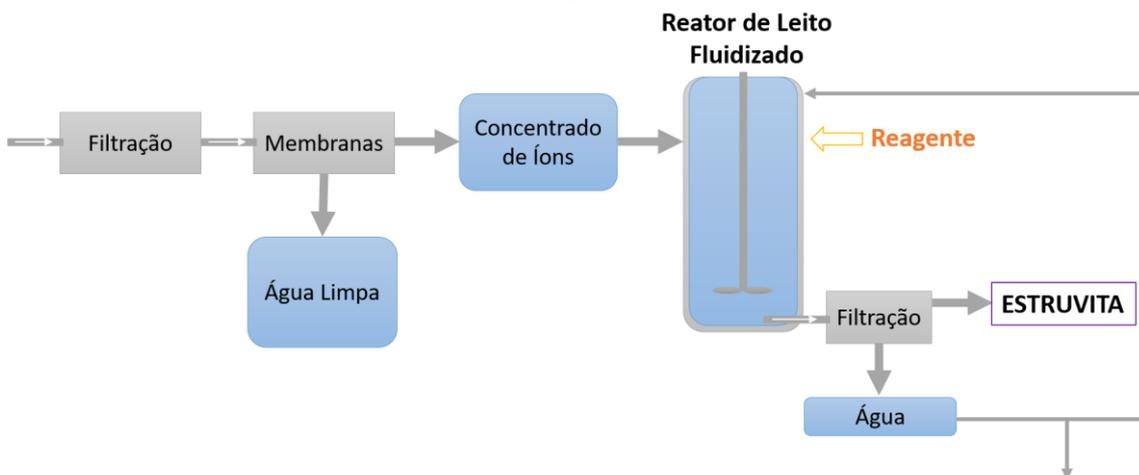
Figura 19: Segunda etapa de tratamento na ETE compacta sugerida.



Fonte: Elaboração própria.

Dessa forma, o lodo adensado no tanque de lodo é submetido ao desaguamento. O líquido do desaguamento, juntamente com o líquido decantado no tanque de lodo, deve retornar ao reator anaeróbio devido à elevada carga orgânica e de sólidos ainda remanescentes em ambos (Figura 19). Já o líquido originado do decantador pós reator aeróbio com MBBR é então enviado à filtração para remoção de areias e demais partículas que possam prejudicar o funcionamento da etapa de membranas (Figura 20).

Figura 20: Terceira etapa sugerida: Etapa de recuperação de potássio em uma ETE compacta.



Fonte: Elaboração própria.

A etapa de membranas (osmose reversa ou eletrodialise) faz a separação entre uma solução concentrada, a qual contém íons diversos, e a água que sai limpa do sistema. Alguns autores obtiveram 80% a 90% de eficiência de remoção na etapa de membranas

(RICHARDS e RICHARDS; SCHAFER, 2010; VENZKE *et al.*, 2016), enquanto outros, como ALBORNOZ (2017), obtiveram remoção percentual de 60%.

De fato, a eficiência de remoção depende de diversos fatores, como a tecnologia de membranas utilizada, as condições de operação e a qualidade do efluente a ser tratado. Ao se analisar os trabalhos desenvolvidos por GIACOBBO (2018); GIACOBBO *et al.* (2011, 2020); GIACOBBO; BERNARDES; PINHO (2013, 2017), percebe-se a grande variedade de processos de membranas possíveis de se implementar para o tratamento de um efluente, podendo ser postas de forma integrada uma a outra, de forma a remover compostos específicos. A escolha da membrana depende em boa parte das características do tratado e de sua finalidade pós tratamento, mas podem ocorrer permeabilidades diferentes inclusive entre membranas de um mesmo lote de fabricação. Sua modelagem e o aumento de escala da operação podem ser realizados por meio parâmetros como o coeficiente de transferência de massa, tal determinação ocorre, contudo, tomando-se como base valores experimentais, os quais são também uma variante conforme a realidade prática adotada.

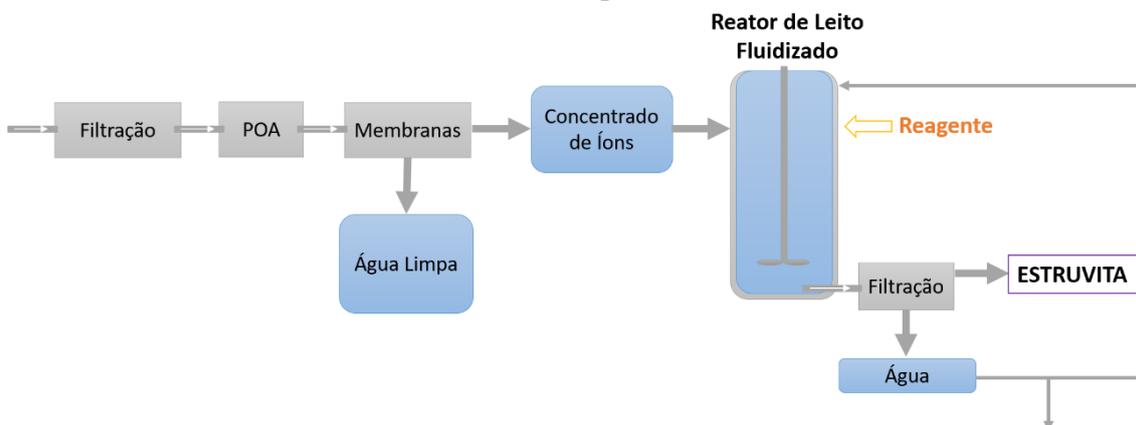
Dada a alta dependência de diversos fatores para a determinação da eficiência de um processo de membranas, neste estudo, será adotado um valor mais conservador, de 60% para remoção percentual, conforme sugerido por ALBORNOZ (2017). Valores mais precisos devem ser realizados após elaboração prática do protótipo desenhado para este estudo.

A partir da concentração dos íons por membranas, o concentrado é então enviado ao reator de leito fluidizado e, juntamente com um reagente, é precipitada a estruvita. Se obtém então, por meio da filtração subsequente, a estruvita e, como permeado, uma solução aquosa a ser recirculada no sistema, descartada, ou tratada, conforme a escolha mais adequada para a realidade prática desta situação. Esse processo permitirá, além da recuperação de potássio, a recuperação de outros íons, como fosfatos.

De modo conceitual, há a possibilidade da recuperação de potássio por estruvita com 84% de pureza (CASTRO *et al.*, 2015), utilizando o reator de leito fluidizado.

Outra adaptação possível, de modo a aumentar a segurança do tratamento, auxiliando na desinfecção e remoção de poluentes de preocupação emergente, seria a adição de algum Processo Oxidativo Avançado (POA), tal como oxidação eletroquímica, foto-eleto-oxidação ou ozonização em pH alcalino (Figura 21).

Figura 21: Terceira etapa sugerida, com POA: Etapa de recuperação de potássio em uma ETE compacta.



Fonte: Elaboração Própria.

Quanto à questão dos custos, por meio do trabalho desenvolvido por CASTRO *et al.* (2015) é possível estimar o valor do reagente, um composto de magnésio que pode ser, por exemplo, $Mg(OH)_2$, $MgCl_2$ ou $MgSO_4$ (CASTRO *et al.*, 2015; GRAU *et al.*, 2015).

Tabela 37: Estimativa de custo do reagente para o reator de leito fluidizado.

Tipo de Empreendimento	Vazão (m³/mês)	Custo do reagente (R\$)
Residencial	1.796,14	73.311,80
Comercial	5.108,96	208.528,64

Fonte: Elaboração própria.

O detalhamento e comparação de custos será desenvolvido no item 5.3.5.

5.3.5. Potencial como produto comercializável

Como não se têm valores precisos quanto aos custos envolvidos no protótipo sugerido, optou-se por fazer uma estimativa de custos de implantação. De forma simplista, se triplicou o valor calculado por meio dos dados de GOMES e HANSEN (2019) devido ao maior número de etapas comparado ao que foi desenvolvido pelos autores. Após isso, somou-se o único custo pós implantação obtido, correspondente ao valor do reagente citado por CASTRO *et al.* (2015), resultando na Tabela 38.

Tabela 38: Custo estimado para ETE compacta do protótipo sugerido.

Empreendimento	Valor estimado (R\$)
Residencial	558.254,14
Comercial	8.993.715,93

Fonte: Elaboração própria.

Dos valores estimados na Tabela 38 é possível ter a noção de que os custos com a ETE sugerida não alcançariam 1% na elevação de preços com relação ao valor total dos apartamentos. Contudo, para se ter uma ideia um pouco mais exata, buscou-se em literatura por maior embasamento quanto aos possíveis custos para sistema adotado, bem como para alguns de seus componentes específicos.

Por meio de VON SPERLING (2014, p. 358) se obtêm estimativas de custos de implantação e operação de diferentes sistemas de tratamento, bem como área demandada.

Tabela 39: Custos de implantação e operação de sistemas de tratamento de esgotos.

Sistema	Demanda de área (m ² /hab)	Custos	
		Implantação (R\$/hab)	Operação e manutenção (R\$/hab.ano)
Reator UASB	0,03-0,10	40-120	06-10
Lodos ativados	0,12-0,25	240-300	20-40
Lodos ativados com remoção biológica de N/P	0,12-0,25	300-450	30-55
Lodos ativados + Filtração terciária	0,15-0,30	300-450	30-55

Fonte: Adaptado de VON SPERLING (2014, p. 358).

Realizando-se a média de área demandada entre os intervalos estabelecidos na Tabela 39 e, de posse das quantias populacionais dos empreendimentos residenciais e comerciais, estimou-se a área demandada média para o sistema (Tabela 40), o que resultou em 120,06 m² para o uso residencial projetado e 2.175 m² para o comercial, ambas as estimativas se configuram como áreas adequadas considerando as dimensões de terreno possíveis para esses empreendimentos.

Tabela 40: Estimativa de áreas demandadas pelo sistema de ETE compacta.

Sistema	Média - Demanda de área (m ² /hab)	Residencial	Comercial
Lodos ativados	0,185		
Lodos ativados com remoção biológica de N/P	0,185	76,59	1.387,5
Lodos ativados + Filtração terciária	0,225		
Filtração terciária	0,040	16,56	300
	Total (m ²)	120,06	2.175

Fonte: Elaboração própria.

Dos valores da Tabela 39 também pode-se estimar possíveis custos para o conjunto de sistemas que a ser implementado neste projeto (Tabela 41).

Tabela 41: Adaptação dos custos dos sistemas para os sistemas utilizados no projeto.

Sistema	Implantação média (R\$/hab)	Operação e manutenção médias (R\$/hab.ano)	Residencial		Comercial	
			Implantação média (R\$)	Operação e manutenção médias (R\$/ano)	Implantação média (R\$)	Operação e manutenção médias (R\$/ano)
Reator UASB	80	8	33.120	3.312	600.000	60.000
Lodos ativados	270	30				
Lodos ativados com remoção biológica de N/P	375	42,5	155.250	17.595	2.812.500	3.18.750
Lodos ativados + Filtração terciária	375	42,5				
Filtração terciária	105	12,5	43.470	5.175	787.500	93.750
Total			231.840	26.082	4.200.000	472.500

Fonte: Elaboração própria.

Estimando um custo de R\$21,00/hab para a estação elevatória (SALAZAR, 2010), obteve-se os valores de R\$ 8.694,00 e R\$157.500,00 para os lotes residencial e comercial projetados, cujas populações estimadas são de 414 e 7.500 pessoas (Tabela 42).

Tabela 42: Estimativa de custo de elementos de projeto.

Elemento	Implantação média	Residencial	Comercial	Ano do dado
Elevatória (R\$)	21	8.694,00	157.500,00	2010
Mídia MBBR (R\$)	6.920	6.214.651,48	17.677.001,60	2021
Membranas (R\$)	7.403,82	3.065.181,48	55.528.650,00	2016

Fonte: Elaboração própria.

Por meio de um portfólio de venda de mídias MBBR (AQUANATURE, 2021), obteve-se o valor de compra de R\$ 6.920,00/m³. Considerando os volumes de esgotos gerados nos lotes residencial e comercial, de 1.796,14m³/mês e 5.108,96 m³/mês, bem como 50% de recheio, obteve-se os valores presentes na Tabela 42 para as estimativas de mídias MBBR. Considerando 100% de recheio, tem-se 60.000 peças/m³ (AQUANATURE, 2021). Sendo assim, com 50% de recheio, o que parece ser suficiente ao analisar o trabalho de FONSECA (2016), têm-se um total de 30.000 peças/m³.

O custo das membranas foi estimado por meio de PEREIRA (2016). Em seu trabalho, o autor estimou um custo de Tanque Séptico + Membrana = R\$8.000,00/hab, enquanto o custo do Tanque Séptico isolado era de R\$ 596,18/hab. Efetuando-se essa diferença de valores, obteve-se R\$ 7.403,82/hab como estimativa para implantação da tecnologia de membranas (Tabela 42). A partir deste ponto, por meio das frações populacionais de cada empreendimento, se estimou o custo de implantação de tecnologia de membranas para cada um dos usos estudados neste trabalho.

Como os dados obtidos para as estimativas de custo são de épocas temporais diferentes, fez-se então a correção dos anos em questão para o ano de análise correspondente (ano de 2020). O compilado dos resultados, bem como a correção dos dados, encontra-se na Tabela 43.

Tabela 43: Correção dos valores dos sistemas e elementos.

	Valores Obtidos				Dólar			Valores Corrigidos para 2020			
	Residencial		Comercial		Ano do dado	no ano do dado	Dólar em 2020	Residencial		Comercial	
	Implantação	Operação	Implantação	Operação				Implantação	Operação	Implantação	Operação
Sistema (R\$) - Von Sperling 2014	231.840,00	26.082,00	4.200.000,00	472.500,00	2014	2,35	5,16	507.933,42	57.142,51	9.201.692,45	1.035.190,40
Elevatória (R\$)	8.694,00	-	157.500,00	-	2010	1,76		25.407,77	-	460.285,62	-
Mídia MBBR (R\$)	6.214.651,48	-	17.677.001,60	-	2021	5,50		5.830.894,00	-	16.585.438,91	-
Membranas (R\$)	3.065.181,48	-	55.528.650,00	-	2016	3,49		4.528.862,54	-	82.044.611,29	-
					Total			10.893.097,73	57.142,51	108.292.028,28	1.035.190,40

Fonte: Elaboração própria.

Essa análise de custos, apresentada na Tabela 43, apontou para estimativas de implantação do sistema (R\$ 507.933,42 e R\$ 9.201.692,45) não tão destoantes do estimado anteriormente na Tabela 38, página 91, (R\$ 558.254,14 e R\$ 8.993.715,93). Contudo, ao se acrescentar os custos da elevatória, mídia MBBR e membranas, os valores de implantação residencial e comercial sobem a valores exorbitantes de R\$ 10.893.097,73 e R\$ 108.292.028,28 respectivamente. Isso indica a necessidade de buscar meios alternativos mais econômicos para a viabilização dessa tecnologia. Os custos das mídias podem ser minimizados pela compra direta com o fabricante, ou também pela substituição de mídias por polímeros cuja compra seja mais barata e acessível no mercado.

Sob essa solução, pode-se dizer que o elemento que mais eleva o investimento do tratamento para recuperação de potássio é a tecnologia de membranas, a qual tende a ser mais econômica e viável em escalas menores de projeto. Dessa forma, para que o processo de membranas se torne mais viável, é interessante a busca também por empresas que já tratam os esgotos domésticos utilizando essa tecnologia.

Vale lembrar também que não foram encontrados nem descritos os custos de todas as partes do processo, tal como o custo operacional com o desague do lodo, o valor do reator de leiteo fluidizado e energia gasta nesta operação.

Sendo assim, é interessante a busca por métodos alternativos de modo a reduzir os custos do projeto, tornando-o viável a longo prazo.

Quanto ao potencial mercadológico do produto obtido, para a comparação de custos do fertilizante, adotou-se os parâmetros de conversão previstos na Instrução Normativa N° 39 de 2018 (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, 2018):

Art. 5° Fica facultada a indicação, entre parênteses, com dimensão gráfica igual ou menor e imediatamente após a indicação obrigatória, dos teores de macronutrientes primários fósforo e potássio sob a forma elementar (P e K) e dos teores de macronutrientes secundários Cálcio, Magnésio e Enxofre sob a forma de óxidos (CaO, MgO e SO₃), devendo, para tanto, utilizarem os seguintes fatores de conversão:

I - **Fósforo (P) = Pentóxido de Fósforo (P₂O₅) x 0,436 (zero vírgula quatrocentos e trinta e seis);**

II - **Potássio (K) = Óxido de Potássio (K₂O) x 0,830 (zero vírgula oitocentos e trinta);**

III - Cálcio (Ca) = Óxido de Cálcio (CaO) x 0,715 (zero vírgula setecentos e quinze);

IV - **Magnésio (Mg) = Óxido de Magnésio (MgO) x 0,603 (zero vírgula seiscentos e três);**

V - Enxofre (S) = Anidrido Sulfúrico (SO₃) x 0,400 (zero vírgula quatrocentos).

Essa lei também estabelece concentrações mínimas quanto aos teores de nutrientes na formulação. Uma vez que este trabalho se trata de um modelo conceitual, embora não se possa afirmar a real concentração de cada nutriente no produto obtido, é possível realizar uma estimativa da formulação para cada um dos referidos elementos. Dessa forma, tomando como referência a massa molar de cada um dos componentes de interesse da estruvita, realizou-se a conversão presente na Tabela 44.

Tabela 44: Teor comercial de nutrientes na k-estruvita.

	Teor	kg Nutriente/ ton Fertilizante
Massa Molar total estruvita	259	
% k da estruvita	15%	
Valor arbitrado para %k	10	
%k₂O	12	120
%P da estruvita	12%	
Valor arbitrado para %P	7	
%P₂O₅	16	161
% Mg da estruvita	9%	
Valor arbitrado para %Mg	4	
% MgO	7	66
Total (K ₂ O+P ₂ O ₅ +MgO)		347

Fonte: Elaboração própria.

Dessa conversão é possível efetuar comparações entre o fertilizante conceitual e os presentes no mercado, cujos teores de K₂O foram calculados tendo em vista o valor em R\$/ton de produto. De posse do teor de K₂O em cada fertilizante, se obtém a

quantidade, em kg, disponível de potássio em uma tonelada de produto. Assim, tendo o preço de uma tonelada de produto e a quantidade mássica de potássio presente, se obtém o custo do potássio a partir do produto analisado (TRANI e TRANI, 2011). Os resultados estão resumidos na Tabela 45. Os valores de R\$/ton de produto do KCl e do K₂SO₄ foram extraídos da Tabela 21, página 59.

Tabela 45: Custo de K₂O por produto – Análise.

Teor de K ₂ O	% K ₂ O	R\$/ton	Massa K ₂ O (kg)	R\$/kg K ₂ O
KCl	61	1.259,78	610	2,07
K ₂ SO ₄	50	2.513,58	500	5,03
KNO ₃	44	A		
K ₂ SO ₄ +MgSO ₄	22	A		
MgKPO ₄ · 6H ₂ O	12	843,37	120	7,00

* A: valor ausente

Fonte: Elaboração própria.

Da Tabela 45 depreende-se que a quantidade de potássio arrecadada pela formulação de K-estruvita (MgKPO₄ · 6H₂O) é menor se comparada ao KCl e ao K₂SO₄. De qualquer forma, arbitrando-se um custo de em torno de 7 reais por quilograma de K₂O da k-estruvita, que é mais elevado comparado aos outros dois já citados, o preço da tonelada de produto continua abaixo do mercado, devido provavelmente ao teor reduzido de K estimado.

Sabe-se também que novas tecnologias tendem a tornar o produto mais caro por suas dificuldades de escalonamento da ideia. O KCl, por exemplo, como o fertilizante mineral mais consumido mundialmente, possui menores custos por tonelada de produto, enquanto o sulfato de potássio (K₂SO₄), além de ter uma porcentagem menor de K₂O, também é mais caro.

Dessa forma, levando em consideração apenas o teor de potássio, a K-estruvita produzida do esgoto teria um preço inicialmente mais elevado que a maioria dos fertilizantes. Entretanto, ela possui outros nutrientes também importantes para agricultura, os quais foram estimados na Tabela 44, página 95. Sendo assim, há que se considerar também a agregação destes nutrientes na fórmula, a qual enriquece o produto, o tornando possivelmente mais competitivo em termos de qualidade do que os demais, ou mesmo em termos de custo, dependendo das necessidades individuais das plantações. Será feita, portanto, uma análise integrada dos principais nutrientes presentes na estruvita para a constituição do preço médio do produto.

Para isso, calculou-se inicialmente o preço médio dos fertilizantes de potássio, fósforo e magnésio. O detalhamento de cálculos para obtenção dos custos dos fertilizantes de fósforo e magnésio por tonelada estão disponíveis no Apêndice C (página 132). Dessa forma, tem-se em cada uma das três tabelas seguintes os preços médios dos nutrientes, os quais serão utilizados como parâmetros para o valor dos nutrientes contidos na k-estruvita.

Tabela 46: Preço médio do K₂O.

Potássio	% K ₂ O	R\$/ton	Massa K ₂ O (kg)	R\$/kg K ₂ O	Preço médio
KCl	61	1.259,78	610	2,07	
K ₂ SO ₄	50	2.513,58	500	5,03	3,55
KNO ₃	44	A			
K ₂ SO ₄ +MgSO ₄	22	A			
MgKPO₄ · 6H₂O	12	427,71	120	3,55	

* A: valor ausente

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 47: Preço médio P₂O₅.

Fósforo	% P ₂ O ₅	R\$/ton	Massa P ₂ O ₅ (kg)	R\$/kg P ₂ O ₅	Preço médio
DAP	45	1.596,62	450	3,55	
MAP	48	1.617,55	480	3,37	3,49
SSP	18	711,11	180	3,95	
TSP	41	1.269,80	410	3,10	
MgKPO₄ · 6H₂O	16	560,3211	161	3,49	

Fonte: Elaboração própria, utilizando dados de GLOBALFERT ([s. d.], 2021) e MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (2017).

Tabela 48: Preço médio MgO.

Magnésio	% MgO	R\$/ton	Massa MgO (kg)	R\$/kg MgO	Preço médio
Sulfato de Magnésio (MgSO ₄ .7H ₂ O)	9	1.416,65	90	15,74	15,74
MgKPO₄ · 6H₂O	7	1044,113	66,3	15,74	

Fonte: Elaboração própria, utilizando dados de GLOBALFERT (2021), MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (2017) e RHOMICROM ([s. d.]).

Tem-se a proporção K₂O:P₂O₅:MgO na estruvita de 12:16:07. Dessa forma, da quantidade de potássio gerado nos esgotos dos empreendimentos residenciais e comerciais analisados, se estima também os fluxos de fósforo e magnésio. Considerando as piores estimativas de vazão para os casos Residencial e Comercial calculados no item 5.2 e uma eficiência conservadora de 60% para as membranas, obteve-se os valores individuais e somados dos nutrientes, os quais se encontram na Tabela 49.

Tabela 49: Fluxos e custos dos nutrientes da k-estruvita.

	Residencial	Comercial
Fluxo de K (kg/mês)	43,47	219,69
Eficiência (membranas)	60%	60%
Fluxo final de potássio (kg/mês)	26,08	131,81
Valor médio - R\$/kg K ₂ O	3,55	3,55
R\$ K₂O/mês	92,4917	467,437
Proporção K ₂ O:P ₂ O ₅ :MgO	12:16:07	
Fluxo final de fósforo (kg/mês)	34,76	175,65
Valor médio - R\$/kg P ₂ O ₅	3,49	3,49
R\$ P₂O₅/mês	121,348	613,27
Fluxo final de magnésio (kg/mês)	14,36	72,57
Valor médio - R\$/kg P ₂ O ₅	15,74	15,74
R\$ MgO/mês	226,039	1142,36
Custo dos nutrientes (R\$/mês)	439,88	2223,07
Total de nutrientes (kg/mês)	75,20	380,04
Custo dos nutrientes (R\$/kg)	5,85	5,85

Fonte: Elaboração própria.

Considerando o custo da K-estruvita como o custo dos nutrientes (R\$5,85/kg) e a pureza de 84% de produto, tem-se um custo de R\$ 4.914,00 por tonelada de produto (Tabela 50).

Tabela 50: Custo da K-estruvita com relação a pureza do produto.

k-estruvita	% k-estruvita	Massa K-estruvita		
		R\$/ton	(kg)	R\$/kg k-estruvita
MgKPO ₄ · 6H ₂ O	84	4.914,00	840	5,85

Fonte: Elaboração própria.

Embora o custo final da K-estruvita (R\$ 4.914,00/ton) seja mais caro do que o custo do KCl (R\$1.259,78/ton) ou do K₂SO₄ (R\$2.513,58/ton), há que se destacar a variedade de nutrientes na sua formulação. Além disso, o fertilizante potássico mais usado mundialmente (KCl), contém cloro, podendo prejudicar a germinação e crescimento das plantas dependendo da dosagem (ALOISE, 2018; MALAVOLTA, 1980) e, em culturas mais resistentes, como a cana, podendo - nos casos de queima nas indústrias para a

produção de bioenergia - ser uma possível fonte de moléculas cloradas poluentes vinda da queima da biomassa da cana-de-açúcar (ALOISE, 2018). Quanto ao uso de fertilizantes contendo sulfatos (tais como K_2SO_4 de $MgSO_4 \cdot 7H_2O$), embora o enxofre seja um nutriente importante para a planta, deve-se atentar aos teores corretos de Ferro e aeração do solo, de forma a não gerar gás sulfídrico, que é tóxico para plantas (SANTOS *et al.*, 1981). Dessa forma, tanto fertilizantes clorados quanto sulfatados têm suas ressalvas de uso, o que faz atrativa a inserção no mercado de uma nova formulação de fertilizantes, a ser utilizada de forma complementar aos já existentes conforme as demandas específicas de cada cultura vegetal.

Quanto aos nutrientes presentes na k-estruvita, além do potássio, tem-se o fósforo e o magnésio. O Brasil é o terceiro maior consumidor mundial de fósforo (GLOBALFERT, 2021, p. 72–76). Assim como o potássio, sua cadeia de produção também se inicia pela mineração, sendo, portanto, um recurso não renovável e gerador de impactos típicos das atividades minerárias, como conflitos sociais pelo uso da terra e alteração da paisagem, bem como possibilidade de liberação de produtos potencialmente danosos ao meio ambiente, a depender da atividade minerária que se exerce na região. Especificamente na questão do fósforo, a mineração da rocha fosfática ocorre com adição de amônia, ácido sulfúrico e ácido fosfórico.

Quanto ao Magnésio, os solos em geral são pobres neste nutriente (EMBRAPA, 2020). O que leva à piora das condições de Mg no solo são, além da erosão, o manejo inadequado da calagem, da gessagem e da adubação.

Somada às vantagens da formulação da k-estruvita, constituída de ao menos três nutrientes interessantes para uma cultura vegetal, também há a questão de ser produzida no local. Além de mais de 90% do potássio ser importado, todo o potássio que sai da única reserva brasileira de potássio convencional, localizada em Sergipe, chega aos clientes do Sudeste, Nordeste e Centro-Oeste do país sob altos custos de transporte (item 3.3.2, pág. 54).

Um trajeto de Rosário do Catete/SE, onde se localiza a reserva em questão, até Campo Grande/MS, via rodoviária abrangeria uma distância de 2.706 km. Tendo por base a média de preços da Gasolina Comum no lugares percorridos até o destino final (Tabela 51) e um consumo de 2 Km/L de combustível, estimou-se o gasto de R\$ 7.596,88 apenas em combustível (Tabela 52), sem contar as tarifas com pedágio, horas trabalhadas do motorista e outras despesas.

Tabela 51: Preços praticados para Gasolina Comum (R\$/L).

Local	Preços praticados para Gasolina Comum (R\$/L)	Média
Sergipe	5,54	5,615
Bahia	5,56	
Goiás	5,77	
DF	5,59	
Mato Grosso do Sul	5,62	

Fonte: Elaboração própria, utilizando dados da ANP (*l.s. d.l.*).

Tabela 52: Valor gasto em combustível.

Origem	Destino	Distância (km)	Valor da gasolina comum (R\$/L)	Consumo (Km/L)	Gasto com 1 caminhão (R\$)
Rosário do Catete/SE	Campo Grande/MS	2.706	5,61	2	7.596,88

Fonte: Elaboração própria.

Custos via marítima podem ser ainda mais caros. Segundo LOPES (2005, p. 30), por exemplo, o custo do transporte por cabotagem (ou seja, navegação perto da costa), do Terminal Marítimo Inácio Barbosa, em Aracaju, é 10% superior ao do rodoviário, devido aos custos de frete (após descarregamento do material no porto), portuários e de carga e descarga. Como a maioria do potássio é importada, fez-se também a análise dos portos (Tabela 53).

Tabela 53: Custos tarifados com relação à quantia de fertilizante descarregada no porto.

Principais portos de entrada de potássicos	Quantidade de entrada (mil ton)	Tarifa por tonelada carregada (R\$/ton)	Total (R\$)
Paranaguá/Paraná	3,8	1,43	5.434,00
Santos	2,5	3,95	9.875,00
Rio Grande	1,6	1,86	2.976,00
Vitória	0,7	6,41	4.487,00
São Luís	0,6	A	
Santarém	0,5	1,85	925,00
Outros	1,7	A	

* A: Valor ausente.

Fonte: Elaboração própria, utilizando dados da AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES AQUAVIÁRIOS (*l.s. d.l.*) e GLOBALFERT (2021).

Os custos da Tabela 53 são referentes apenas à tarifação por tonelada desembarcada no porto, desconsiderando, portanto, outras tarifas convencionais (tais como serviços portuários, de carga e descarga, de apoio, armazenagens, acessórios).

Como visto no final do item 3.3.4, página 62, o maior produtor de fertilizante potássico mundial é o Canadá. Neste país, sob o domínio da Mosaic em parceria com empresas canadenses, tem-se como destaque as reservas localizadas na cidade de Esterhazy, na província de Saskatchewan, no Canadá (THE MOSAIC COMPANY, 2021). Isso mostra uma mescla na matriz de transportes, sendo predominantemente rodoviário e marítimo, e que percorre longas distâncias até chegar ao consumidor final, que no Brasil, segundo PESSOA (2005, p. 34), se concentra nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste.

O fato da produção de K-estruvita abarcar um mercado nas proximidades de sua produção, além de se eximir de altos custos de transporte tais como ocorrem com fertilizantes potássicos convencionais, traz a vantagem de não influir na liberação de gases de efeito estufa (pegada de carbono - kgCO_2eq) oriundo dessas atividades de transporte. Ademais, por não se tratar de uma atividade de mineração, não possui os tradicionais impactos dela advindos.

Além da redução de custos e impactos provindos da questão logística e de distribuição, bem como se eximir dos impactos ambientais e sociais provindos de atividades minerárias, o produto em questão também agrega valor socioambiental no quesito “tratamento de esgotos”. Este último se justifica por tornar um passivo (esgoto) em um produto comercializável e, com o seu tratamento, suavizar questões como estresses hídricos ocasionados pela falta de disponibilidade de água de qualidade nos corpos hídricos, doenças geradas pelo não tratamento dos esgotos, aumento de custos e redução do potencial turístico nas regiões de lagos eutrofizados.

Assim fica claro que, embora os custos de implantação de etapas adicionais em ETEs compactas já existentes possam ser expressivos, há demanda por soluções tanto no campo da agricultura (escassez de potássio) quanto no campo do saneamento (necessidade de aprimoramento das medidas de saneamento básico) as quais, se solucionadas, geram inúmeras externalidades positivas não apenas para a empresa que a comercializa, como também para a sociedade. A geração de um produto mineral, provindo de fontes renováveis e que auxilia em quesitos sociais, como a prevenção das doenças do esgoto, influi inclusive na melhora da reputação do setor agrícola brasileiro, que, como visto no item 3.3.4, página 59, influi bastante na dinâmica de preços internacionais e na competitividade do país.

Quanto à necessidade de saneamento básico para toda a população, empresas públicas vêm abrindo parcerias para tratamento de esgotos não apenas de forma centralizada, como também descentralizada. Como exemplo tem-se a Companhia

Riograndense de Saneamento (CORSAN, *[s. d.]*), a qual estabelece diretrizes para aprovação e recebimento de ETEs compactas, as quais devem estar de acordo com a NBR 12.209/2011. Caso a CORSAN aprove a implantação da ETE (a ser realizada pelo empreendedor), ela então determina, por meio de licitações, uma empresa responsável pela sua operação e controle de qualidade, sendo a CORSAN responsável pelas atividades de fiscalização e regulamentação das ETEs compactas.

Segundo SANTOS (2019, p. 24), a descentralização auxilia na questão habitacional e de saneamento básico, desde que acompanhada de medidas paralelas para promover a modernização das políticas e gestão públicas no setor. Isso parece estar ocorrendo, dada a criação do Novo Marco Regulatório (LEI Nº 14.026, DE 15 DE JULHO DE 2020), que prevê coleta e tratamento de esgoto para pelo menos 90% da população brasileira até o ano de 2033 (SENADO NOTÍCIAS, 2020). Esse marco incumbe à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) a responsabilidade por estabelecer normas de referência que sirvam como padrão para o saneamento no Brasil, inclusive na questão do reúso de esgotos tratados (IMPrensa NACIONAL, 2020).

Muitas das grandes empresas de saneamento do Brasil são públicas ou de capital misto, mas também há empresas brasileiras do setor privado especializadas na distribuição de tecnologias e tratamento de esgotos de forma descentralizada, com foco nos esgotos produzidos em edificações comerciais, residenciais ou industriais, tais como Tecnipar Ambiental (tecnipar.com.br), Aquarum (aquarum.eng.br), Águas Claras Engenharia (aguasclarasengenharia.com.br), Fibratec Engenharia (fibratec.com.br), dentre várias outras empresas distribuidoras de tecnologias e projetos para a área do saneamento.

A união dos mais diversos tipos de tratamento (centralizado ou descentralizado, com ou sem separação na fonte) constitui tendência no Brasil e no Mundo. A exemplo disso, o Shopping Anália Franco em São Paulo conseguiu reduzir pela metade o consumo de água potável da edificação após implantar uma ETE destinada ao reúso do tratado na própria edificação (SP JORNAL, 2019).

A utilização de água da chuva (que em regiões litorâneas também tem certos teores de potássio, vide item 3.3, pág. 50) e o reúso não apenas podem auxiliar economicamente na redução do consumo de água, mas devido a aumentar a concentração de potássio no fluxo, também se apresentam favoráveis a um projeto de recuperação de potássio de esgotos domésticos. Vale lembrar que, conforme citado no item 3.2.3, o sistema dual de

abastecimento de água já está presente em 25% da cidade de São Paulo, sendo algo que, apesar de tarifado, é comum em grandes aglomerados urbanos.

Dessa forma, dada a demanda mercadológica em dois ramos de atividades diferentes (agricultura e saneamento), o projeto sugerido busca gerar valor para ambas as áreas. A proposta de valor do produto advém, portanto, do desenvolvimento de uma nova linha de produtos com alto valor agregado (produzido de fontes renováveis), não ser necessário altos custos com transporte e gerar um efluente de melhor qualidade após o tratamento do esgoto doméstico, tanto para descarte quanto para reúso.

Sendo assim, pode ser interessante, para avaliar a viabilidade prática da ideia, a realização de provas de conceito (PoCs) e prototipagens, a serem buscadas por meio de órgãos financiadores de estudos e tecnologia (tais como EMBRAPA, FINEP, FAPERGS, CNPq, incubadoras de universidades e centros tecnológicos, SEBRAE RS, Bill & Melinda Gates Foundation, Banco Interamericano de Desenvolvimento, EKOS Brasil), investidores ou parcerias. Um olhar atento a novos direcionamentos ou fontes de investimentos oriundos da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, bem como buscas por incentivos governamentais oriundos da sustentabilidade das edificações também podem ser interessantes de forma a melhorar a atratividade frente a empreendedores que desejarem implantar a solução em suas respectivas edificações. Sob esse aspecto, vale reforçar que a elaboração de parcerias do poder público com o privado de modo a auxiliar nos custos de operação ou mesmo na redução da carga tributária taxada ao empreendimento pode ser bastante atrativo para as construtoras.

Parcerias entre empresas dos mais diversos ramos de negócios são interessantes. Parcerias com empresas vendedoras de fertilizantes, por exemplo, podem auxiliar no quesito econômico e técnico para a viabilidade da recuperação do potássio de esgotos domésticos.

Além de parcerias, sob o aspecto de diversificação da matriz de opções, pode ser interessante também avaliar a aplicabilidade da ideia para conjuntos habitacionais de diferentes regiões, mas sob domínio da mesma construtora. Ou também em outros setores, como os de serviços dentro das indústrias, os quais também necessitam tratar os esgotos domésticos gerados em suas edificações.

Embora os custos demandados com a implantação do sistema, frente às quantias de potássio recuperadas, sejam desvantajosos à primeira vista, neste trabalho não foram calculadas todas as externalidades que um projeto deste tipo potencialmente acarretaria, sendo algumas elencadas neste trabalho apenas de forma qualitativa. Sendo assim, o

trabalho deixa claro que, num primeiro momento não há potencial de utilização de potássio, nos moldes do projeto desenhando. Contudo, dada a alta demanda por alternativas ao potássio convencional, há indícios de que a longo prazo questões mercadológicas e mudanças de tecnologia a fim de tornar os custos do processo mais viáveis tragam potencialidades reais ao futuro produto. Para que isso ocorra, é de suma importância o estreitamento de laços e parcerias entre empresas do setor público e do privado, bem como empresas de diferentes ramos de negócios e setores de atuação.

Embora este trabalho se trate de um modelo conceitual, fornece direcionamentos acerca das potencialidades de um produto deste gênero, uma vez que o perfil do consumidor tem mudado e há cada vez mais buscas e incentivos quanto ao viés da sustentabilidade. Sob este último aspecto, a proposta mostra potencial futuro a medida em que os testes de prototipagem avançarem, tornando a implementação viável.

O trabalho provou que há demanda e necessidades mercadológicas por fontes alternativas de potássio, como por exemplo o K oriundo do esgoto doméstico, bem como por aprimoramento prático do tratamento desses esgotos. Embora os investimentos a momento presente sejam desfavoráveis para os empreendimentos desenhados para este estudo, mais estudos são necessários a fim de refinar a técnica e aplicabilidade a longo prazo.

Por fim, o trabalho deixou claro que, a longo período, há tendência de haver potencialidade de recuperação de potássio por tecnologias que já vem sendo desenvolvidas, bem como há demanda mercadológica nacional atual para tal.

6. CONCLUSÃO

Ao tempo em que o tratamento dos esgotos domésticos está cada vez mais em voga devido ao passivo ambiental e socioeconômico ocasionado pelo seu não tratamento, questões econômicas nacionais relacionadas à agricultura também carecem de soluções, as quais comumente são encontradas na mineração, ocasionando em impactos também socioambientais. Sendo assim, este trabalho trouxe como propósito incentivar a questão do tratamento de esgotos nas grandes aglomerações urbanas de modo a gerar um produto interessante ao setor agrícola, o qual movimentava cerca de 20% do PIB nacional.

Sob esse viés, foi elaborada uma proposta de projeto piloto baseada em tecnologias já utilizadas de forma descentralizada, bem como foi analisado o potencial de aplicação do produto gerado como fertilizante. Outra descoberta do estudo foi a ausência de parâmetros claros que conceituassem edificações residenciais e comerciais de grande porte. Logo, buscou-se um modelo de conceituação, de modo a enquadrar as tipologias de forma mais assertiva com relação aos esgotos domésticos por elas gerados. Recomenda-se, contudo, que tal enquadramento seja mais bem aprimorado em pesquisas futuras.

Embora os resultados quantitativos baseados na literatura sejam insuficientes para a valoração da potencialidade de utilização do potássio oriundo de esgotos domésticos de edificações residenciais e comerciais de grande porte como produto comercializável, percebe-se, por meio de todas as questões analisadas neste trabalho, que há demanda crescente por soluções alternativas tanto ao saneamento básico quanto à questão do potássio na agricultura. Fazem-se, portanto, necessários mais estudos a fim de delimitar a aplicabilidade prática da ideia de recuperação de K-estruvita de esgotos domésticos e sua utilização na agricultura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. **NBR 7229: Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos.** Esta Norma fixa as condições exigíveis para projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos, incluindo tratamento e disposição de efluentes e lodo sedimentado. Tem por objetivo preservar a saúde pública e ambiental, a higiene, o conforto e a segurança dos habitantes de áreas servidas por estes sistemas. Brasil: [s. n.], 1993.p. 15. Disponível em: http://acguasana.com.br/legislacao/nbr_7229.pdf

ABNT. **NBR 5626 - Instalação predial de água fria.** Esta Norma estabelece exigências e recomendações relativas ao projeto, execução e manutenção da instalação predial de água fria. As exigências e recomendações aqui estabelecidas emanam fundamentalmente do respeito aos princípios de bom desempenho da instalação e da garantia de potabilidade da água no caso de instalação de água potável. Brasil: [s. n.], 1998.p. 41. Disponível em: www.abntcatalogo.com.br

ABRAMO, Pedro. A CIDADE COM-FUSA. **R. B. ESTUDOS URBANOS E REGIONAIS**, [S. l.], v. 9, p. 25–54, 2007. Disponível em: <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.22296/2317-1529.2007v9n2p25>

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES AQUAVIÁRIOS. **TARIFAS DA AUTORIDADE PORTUÁRIA / PORTOS.** [s. l.], [s. d.]. Disponível em: <http://web.antaq.gov.br/Portal/TarifasPortuarias/index.html>. Acesso em: 4 maio. 2021.

AKERMAN, Mauro. **Tempera do Vidro.** [s. l.], 2017. Disponível em: <https://abceram.org.br/2017/05/29/tempera-do-vidro/#:~:text=Como as moléculas de potássio,vidros dos smartfones e tablets. Acesso em: 29 jan. 2021.>

ALBORNOZ, Louidi Lauer. **ELETRODIÁLISE COMO TRATAMENTO TERCIÁRIO EM UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DE UM CAMPUS UNIVERSITÁRIO VISANDO O REÚSO DE ÁGUA.** 2017. - UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL ESCOLA, [s. l.], 2017.

ALOISE, GABRIELLA ROQUETTI GUIMARÃES. **DOSES DE FERTILIZANTES POTÁSSICOS NO ACÚMULO DE CLORO E PRODUÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR.** 2018. - UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA, [s. l.], 2018. Disponível em: <http://clyde.dr.ufu.br/bitstream/123456789/21649/1/DosesFertilizantesPotássicos.pdf>

ALVES, ADRIANO GAMA. **Economia Circular e Sustentabilidade (ECeS): Um ponto de vista.** [s. l.], 2020. Disponível em: <https://www.saneamentobasico.com.br/economia-circular-sustentabilidade/>. Acesso em: 22 dez. 2020.

AND. **Brasil já tem 1 carro a cada 4 habitantes.** [s. l.], [s. d.]. Disponível em: <http://www.and.org.br/brasil-ja-tem-1-carro-a-cada-4-habitantes-diz-denatran/>. Acesso em: 5 maio. 2021.

ANP. **Sistema de Levantamento de Preços.** [s. l.], [s. d.]. Disponível em: https://preco.anp.gov.br/include/Resumo_Por_Estado_Index.asp. Acesso em: 4 maio.

2021.

AQUANATURE. **Mídia Biológica Mbbbr 100 L**. [s. l.], 2021. Disponível em: https://aquanature.mercadoshops.com.br/MLB-1727953831-midia-biologica-mbbr-100-l-JM#position=4&search_layout=grid&type=item&tracking_id=66d5d633-1230-49a1-b44f-aa74283d70f2. Acesso em: 3 maio. 2021.

ARAGÃO, Tuane Nascimento Mendes *et al.* APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE BIOGÁS COMO PROPOSTA DE MELHORIA DO PROCESSO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DOMÉSTICOS: UM ESTUDO DE CASO. In: (Associação Nacional dos Serviços Municipais de Saneamento (ASSEAME), Org.) 2018, Fortaleza. **48 Congresso Nacional de Saneamento da ASSEMAE: Alternativas de financiamentos para saneamento público**. Fortaleza: [s. n.], 2018. p. 316–330. Disponível em: <https://www.saneamentobasico.com.br/biogas-tratamento-efluentes-domesticos/>

ASSEMBLÉIA LEGISLATIVA DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **DECRETO 44270 DE 31/03/2006**Brasil: [s. n.], 2006. Disponível em: <https://www.almg.gov.br/consulte/legislacao/completa/completa-nova-min.html?tipo=Dec&num=44270&ano=2006>

ASSEMBLÉIA LEGISLATIVA DO ESTADO DE SÃO PAULO. **DECRETO Nº 12.342, DE 27 DE SETEMBRO DE 1978**. normas de promoção, preservação e recuperação da saúde no campo de competência da Secretaria de Estado da Saúde. Fala dos ramais de água e esgoto e questões de saneamento (PRIMEIRA PARTE). Brasil: [s. n.], 1978. Disponível em: <https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/1978/decreto-12342-27.09.1978.html>

ASSEMBLÉIA LEGISLATIVA DO ESTADO DE SÃO PAULO. **DECRETO Nº 63.911, DE 10 DE DEZEMBRO DE 2018**Brasil: [s. n.], 2018. Disponível em: <https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/2018/decreto-63911-10.12.2018.html>

BAZZARELLA, Bianca Barcellos. **Caracterização e aproveitamento de água cinza para uso-não potável em edificações**. 2005. - Universidade Federal do Espírito Santo, [s. l.], 2005. Disponível em: http://portais4.ufes.br/posgrad/teses/tese_6573_Bazzarella_BB_2005.pdf

BERNARDES, Andréa Moura; RODRIGUES, Marco Antônio Siqueira. Electrodialysis in Water Treatment. In: SPRINGER (org.). **Electrodialysis and Water Reuse: Novel Approaches**. Porto Alegre: [s. n.], 2014. *E-book*.

BERNARDES, Andréa Moura; RODRIGUES, Marco Antônio Siqueira; FERREIRA, Jane Zoppas. **Electrodialysis and Water Reuse: Novel Approaches**. Porto Alegre: Springer, 2014. *E-book*. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-3-642-40249-4>

BONATO, LUCIANO CEZAR. **REAÇÃO ALCALI-AGREGADO, PRINCIPAIS CAUSAS E ESTUDO DE REATIVIDADE POTENCIAL**. 2015. - UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ, [s. l.], 2015. Disponível

em:

http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/5192/1/CM_COECI_2014_2_07.pdf

BORGES, Thaís; BRANFORD, Sue; TORRES, Maurício. **Mega-projeto para exploração de potássio no Amazonas gera controvérsias**. [s. l.], 2020. Disponível em: <https://brasil.mongabay.com/2020/01/mega-projeto-para-exploracao-de-potassio-no-amazonas-gera-controversias>. Acesso em: 24 abr. 2021.

BUENO, EDUARDO LUÍS. **PRESERVAÇÃO DE DOCUMENTOS FOTOGRÁFICOS: UM ESTUDO MULTICASO**. 2010. - UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL, [s. l.], 2010. Disponível em: https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/25759/000755136.pdf?sequence=1&locale-attribute=pt_BR

CÂMARA MUNICIPAL DE SAUDADE DO IGUAÇU. **LEI COMPLEMENTAR Nº 10, DE 07 DE DEZEMBRO 2010**. Brasil: LEI COMPLEMENTAR Nº 10, DE 07 DE DEZEMBRO 2010., 2010. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/plano-de-zoneamento-uso-e-ocupacao-do-solo-saudade-do-iguacu-pr>

CAMPOS, Ana Paula Silva. **Avaliação do potencial de poluição no solo e nas águas subterrâneas decorrente da atividade cemiterial**. 2007. - UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, [s. l.], 2007. Disponível em: https://cetesb.sp.gov.br/escolasuperior/wp-content/uploads/sites/30/2016/06/Ana_Paula.pdf

CARRIJO, Osmar Alves *et al.* **Fertirrigação de hortaliças Embrapa Hortaliças-Circular Técnica (INFOTECA-E)**. Brasília - DF: [s. n.], 2004. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/778699/1/ct32.pdf>.

CASTRO, Samuel Rodrigues. **Precipitação De Estruvita: Recuperação De Nitrogênio E Fósforo Utilizando Fontes Alternativas De Reagentes**. 2014. - UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS, [s. l.], 2014.

CASTRO, Samuel Rodrigues *et al.* Precipitação química de estruvita: Recuperação de nutrientes em reator cônico de leito fluidizado utilizando magnésia industrial de baixo custo. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [S. l.], v. 20, n. 2, p. 259–268, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522015020000133827>

CAVALEIRO, Antonio Rogério. **Reuso de águas cinzas e águas pluviais em edifícios residenciais**. 2014. - Universidade São Judas Tadeu. SP, [s. l.], 2014. Disponível em: https://www.usjt.br/biblioteca/mono_disser/mono_diss/2014/283.pdf

CECATO, Ulysses; GALBEIRO, Sandra; RODRIGUES, Augusto Manoel. ADUBAÇÃO DE PASTAGENS – RELAÇÃO CUSTO/BENEFÍCIO. In: 2005, **Anais [...]**. : SIMPÓSIO SOBRE MANEJO SUSTENTÁVEL EM PASTAGENS, 2005. Disponível em: <https://sites.google.com/site/flfquadros/ulysses.pdf>

CETESB. **Sinais Físicos nos Peixes Associados a Mortandade**. [s. l.], 2020a. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/mortandade-peixes/investigacao/sinais-fisicos-nos-peixes-associados-a-mortandade/>. Acesso em: 18 jul. 2020.

CETESB. Apêndice E: Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem. *In: Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo 2019*. CETESB ed. São Paulo: CETESB, 2020 b. *E-book*. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/publicacoes-e-relatorios/>

CHRISPIM, Mariana C. *et al.* The sanitation and urban agriculture nexus: urine collection and application as fertilizer in São Paulo, Brazil. **Journal of Water Sanitation and Hygiene for Development**, [S. l.], v. 7, n. 3, p. 455–465, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.2166/washdev.2017.163>

COELHO, Daniela Costa Leite *et al.* Produção de capim elefante utilizando percolado de aterro sanitário. **Bioscience Journal**, [S. l.], v. 31, n. 3, p. 830–840, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.14393/BJ-v31n3a2015-22400>

COELHO, SHEYLA FERREIRA LIMA. EFEITO DE DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE CONSERVANTES ALIMENTÍCIOS NO CRESCIMENTO IN VITRO DE FUNGOS TERMORRESISTENTES E BACTÉRIAS PATOGÊNICAS. 2008. - UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS, [s. l.], 2008. Disponível em: <https://fanut.ufal.br/pt-br/pos-graduacao/mestrado-em-nutricao/qualificacao-e-defesa-de-dissertacao/defesa-de-dissertacao/dissertacoes-defendidas/relacao-de-dissertacoes/sheyla-ferreira-lima-coelho>

COLÓN, Joan *et al.* Producing sludge for agricultural applications. *In: Innovative Wastewater Treatment & Resource Recovery Technologies*. [S. l.]: IWA Publishing, 2017. *E-book*.

CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL - COPAM. DELIBERAÇÃO NORMATIVA COPAM Nº 213, DE 22 DE FEVEREIRO DE 2017. [S. l.: s. n.] Disponível em: http://www.meioambiente.mg.gov.br/images/stories/2017/REGULARIZACAO_AMBIENTAL/MUNICÍPIOS_CONVÊNIOS/DN_COPAM_213.pdf

CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE - COEMA - DO CEARÁ. COEMA Nº 2 DE 11/04/2019 do CearáBrasil: [s. n.], 2019. Disponível em: https://www.semace.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/46/2019/02/COEMA_XX_2018_MINUTA_v13.02.2019.pdf

CORSAN. DIRETRIZES PARA IMPLANTAÇÃO DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO FABRICADAS COM MATERIAL COMPÓSITO - PRFV - POLIÉSTER REFORÇADO COM FIBRA DE VIDRO. [S. l.: s. n.]. Disponível em: <https://www.corsan.com.br/upload/arquivos/201607/25174843-diretrizes-tecnicas-de-ete-de-prfv.pdf>.

COSTA, A. M.; PONTES, C. A. A.; GONÇALVES, F. R.; LUCENA, R. C. B.; DE CASTRO, C. C. L. ...; GALINDO, E. F.; MANSUR, M. C. **Caderno de Pesquisa em Engenharia de Saúde Pública** FUNASA. Brasília: [s. n.], 2004. Disponível em: http://www.fiocruz.br/biosseguranca/Bis/manuais/arquitetura/Mnl_CaderPesq.pdf.

COSTA, Joanne Régis *et al.* **Cidades e comunidades sustentáveis: contribuições da Embrapa**. Brasília: Área de Informação da Sede-Livro científico

(ALICE), 2018. *E-book*. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

DA SILVA, Cirlene Mendes. “ **Eixo Platina** ”: **Ocupação e Verticalização Cirlene Mendes da Silva**. São Paulo: [s. n.], 2020. Disponível em: <https://ibape-nacional.com.br/biblioteca/wp-content/uploads/2020/02/PE-28-“Eixo-Platina”-Ocupação-E-Verticalização.pdf>.

DA SILVA, Carla Grazieli Azevedo da; COLLINS, Carol H. Aplicações de cromatografia líquida de alta eficiência para o estudo de poluentes orgânicos emergentes. **Química Nova**, [S. l.], v. 34, n. 4, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422011000400020>

DA SILVA, Jamir Luís Silva. **Documentos 262: Manejo sustentável de pastagens de estação fria em integração com arroz irrigado em uma Unidade de Transferência de Tecnologias, Santa Vitória do Palmar-RS**. Pelotas-RS: [s. n.], 2009. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPACT-2010/12909/1/documento-262.pdf>.

DAGERSKOG, L.; COULIBALY, C.; OUANDAOGO, I. The emerging market of treated human excreta in Ouagadougou. **Urban agriculture magazine**, [S. l.], n. 23, p. 45–48, 2009. Disponível em: [http://www.environmentportal.in/files/The Emerging Market of Treated Human Excreta in Ouagadougou.pdf](http://www.environmentportal.in/files/The_Emerging_Market_of_Treated_Human_Excreta_in_Ouagadougou.pdf)

DALKMANN, P. *et al.* Accumulation of Pharmaceuticals, Enterococcus, and Resistance Genes in Soils Irrigated with Wastewater for Zero to 100 Years in Central Mexico. **PLoS One**, [S. l.], n. 7(9):e45397, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0045397>

DE MENEZES, Mayara Beuttenmüller Castro; SALOMON, Karina Ribeiro. XI-011 - APROVEITAMENTO DOS EFLUENTES DOMÉSTICOS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA EM CONDOMÍNIOS RESIDENCIAIS DE. *In:* (ABES, AESABESP, Org.) 2017, **CONGRESSO ABES - FENASAN**. : Portal Saneamento Básico, 2017. p. 1–6. Disponível em: <https://www.saneamentobasico.com.br/efluentes-domestico-geracao-energia/>

DE SOUZA, ALYSSON SANTOS. **AVALIAÇÃO DO POTENCIAL PARA REUSO DE ÁGUAS CINZAS E APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS EM UMA EDIFICAÇÃO COMERCIAL DE GRANDE PORTE**. 2015. - UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE, [s. l.], 2015. Disponível em: http://deam.ufs.br/uploads/page_attach/path/2179/TCC_-_AVALIA_O_DO_POTENCIAL_PARA_REUSO_DE_GUAS_CINZAS_E_APROVEITAMENTO_DE_GUAS_PLUVIAIS_EM_UMA_EDIFICA_O_COMERCIAL_DE_GRANDE_PORTE_-_ALYSSON_SOUZA.pdf

DEORSOLA, Adriana Brigante. **NFLUÊNCIA DOS CÁTIOS (SÓDIO, POTÁSSIO, CÁLCIO E MAGNÉSIO) NO TRATAMENTO BIOLÓGICO DE EFLUENTES**. 2006. - UFRJ, [s. l.], 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

DIAS, Diogo Lopes. **Potássio**. [s. l.], 2021. Disponível em:

<https://www.manualdaquimica.com/quimica-geral/potassio.htm>. Acesso em: 10 jan. 2021.

DIAS, Diogo Maria de Menezes Vilhena Pereira. **CONTAMINAÇÃO DO MEIO AMBIENTE COM MEDICAMENTOS – CONSEQUÊNCIAS AMBIENTAIS E NA TERAPÊUTICA CONTAMINAÇÃO DO MEIO AMBIENTE COM MEDICAMENTOS – CONSEQUÊNCIAS**. 2019. [s. l.], 2019. Disponível em: <http://recil.grupolusofona.pt/handle/10437/9904>

DORNELES, TAGOR EDUARDO ANDREOLLA. **AVALIAÇÃO HEMOGASOMÉTRICA, BIOQUÍMICA E HEMATOLÓGICA DO SANGUE EQUINO ARMAZENADO EM BOLSA CPDA-1**. 2018. - UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, [s. l.], 2018. Disponível em: https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/32786/1/2018_TagorEduardoAndreollaDorneles.pdf

EDITORA INSUMOS. **OS SORBATOS NA CONSERVAÇÃO DE ALIMENTOS**. [s. l.], [s. d.]. Disponível em: http://insumos.com.br/aditivos_e_ingredientes/materias/778.pdf. Acesso em: 30 jan. 2021.

ELLO SUSTENTAVEL. **Video Estação de Tratamento Biológico de Efluentes Sanitários e Industriais**. [s. l.], 2014. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=WwNg-dcHyVI&list=PL00UGOQJC6aBmQMZ8wANtXT-5gKuPh8Ag&index=8>.

EMBRAESP. **Relatório anual 2016**. SP: [s. n.], 2017. Disponível em: <https://geoembraesp.embraesp.com.br/wp-content/uploads/2014/11/Anexo-3-Relatório-Anual-2016.pdf>.

EMBRAPA. RESUMOS E PALESTRAS. In: (Rodrigo Cezar Franzon et al., Org.) 2014, Brasília - DF, Pelotas - RS. **VI Encontro sobre Pequenas Frutas e Frutas Nativas do Mercosul**. Brasília - DF, Pelotas - RS: [s. n.], 2014. p. 191. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/740939/1/Pequenasfrutas2014.pdf>

EMBRAPA. **Magnésio: manejo para o equilíbrio nutricional da soja**. Londrina: [s. n.], 2020. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1125328/1/DOCUMENTO-430-online.pdf>.

FAGUNDES, FÁBIO. **PLANO DE PREVENÇÃO E COMBATE A INCÊNDIOS: ESTUDO DE CASO EM EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL MULTIPAVIMENTADA**. 2013. - UNIVERSIDADE REGIONAL DO NOROESTE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, [s. l.], 2013. Disponível em: <https://bibliodigital.unijui.edu.br:8443/xmlui/bitstream/handle/123456789/2168/TCC - ENG. SEG. TRAB.- FÁBIO FAGUNDES.pdf?sequence=1>

FAVERO, Diego Matos; RIBEIRO, Cilene da Silva Gomes; AQUINO, Arislete Dantas de. Sulfitos: importância na indústria alimentícia e seus possíveis malefícios à população. **Segurança Alimentar e Nutricional**, [S. l.], v. 18, n. 1, p. 11, 2015.

Disponível em: <https://doi.org/10.20396/san.v18i1.8634684>

FEITOSA, Queiroz *et al.* Ii-060 – estudo da técnica de estocagem como forma de higienização da urina humana visando o uso na agricultura. *[S. l.]*, n. 1, p. 1–6, 2008. Disponível em: <http://abes.locaweb.com.br/XP/XP-EasyArtigos/Site/Uploads/Evento40/TrabalhosCompletoPDF/II-060.pdf>

FERREIRA, Ana Lucia. **Pesquisa desenvolve fertilizante orgânico a partir da biomassa de plantas.** *[s. l.]*, 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/37485979/pesquisa-desenvolve-fertilizante-organico-a-partir-da-biomassa-de-plantas#:~:text=N-verde X esterco Uma,agricultura convencional é o esterco.&text=de fácil aplicação-,Produzido a partir da bioma. Acesso em: 28 ago. 2021.>

FIB. **Dossiê Conservantes FOOD INGREDIENTS BRASIL.** *[S. l.: s. n.]*. Disponível em: https://revista-fi.com.br/upload_arquivos/201711/2017110730727001512043728.pdf.

FIESP. **Conservação e reuso da água em edificações.** SP: *[s. n.]*, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.16309/j.cnki.issn.1007-1776.2003.03.004>

FIORI, Simone; FERNANDES, Vera Maria Cartana; PIZZO, Henrique. Avaliação qualitativa e quantitativa do reúso de águas cinzas em edificações. **Ambiente Construído**, *[S. l.]*, v. 6, n. 1, p. 19–30, 2006. Disponível em: <https://www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/view/3676>

FLORES, Albino Lopes dos Santos. **Iodeto de potássio e as suas aplicações.** 1923. - FAGULDADE DE MEDICINA DO PORTO, *[s. l.]*, 1923. Disponível em: https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/17687/2/204_3_FMP_TD_I_01_C.pdf

FONSECA, Diego Luiz. **DESEMPENHO DE SISTEMAS MBBR EM DIFERENTES CONDIÇÕES DE RECHEIO E VAZÃO: ESTUDO EM ESCALA PILOTO E LABORATORIAL.** 2016. - UFRJ, *[s. l.]*, 2016. Disponível em: <http://www.saneamento.poli.ufrj.br/images/Documento/dissertacoes/DiegoLUIZFONS ECA---MSc.-2016.pdf>

FREITAS, HUÁLISON THAISSON DE AQUINO. **AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DA UTILIZAÇÃO DA CINZA DA CASCA DE ARROZ PARA MITIGAÇÃO DE EFLORESCÊNCIAS EM ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO.** 2018. - UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMIÁRIDO, *[s. l.]*, 2018. Disponível em: https://repositorio.ufersa.edu.br/bitstream/prefix/2200/1/HuálisonTAF_DISSERT.pdf

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. **Manual de Saneamento.** *[S. l.: s. n.]*

GIACOBBO, Alexandre *et al.* UTILIZAÇÃO DE BIORREATOR À MEMBRANA PARA TRATAMENTO DE EFLUENTES. **Rede de Revistas Científicas da América Latina**, *[S. l.]*, v. 1, p. 13–29, 2011. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/4815/481549214002.pdf>

GIACOBBO, Alexandre *et al.* Concentration Polarization in Ultrafiltration / Nanofiltration for the Recovery of Polyphenols from Winery Wastewaters. **Membranes**, *[S. l.]*, v. 8, n. 3, p. 46, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/membranes8030046>

GIACOBBO, Alexandre *et al.* Atenolol removal by nanofiltration: a case-specific mass transfer correlation. **Water Science & Technology**, [S. l.], v. 81, n. 2, p. 210–216, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.2166/wst.2020.073>

GIACOBBO, Alexandre; BERNARDES, Andréa Moura; PINHO, Maria Norberta de. Nanofiltration for the Recovery of Low Molecular Weight Polysaccharides and Polyphenols from Winery Effluents. **Separation Science and Technology**, [S. l.], v. 48, n. 17, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/01496395.2013.809762>

GIACOBBO, Alexandre; BERNARDES, Andréa Moura; PINHO, Maria Norberta de. Sequential pressure-driven membrane operations to recover and fractionate polyphenols and polysaccharides from second racking wine lees. **Separation and Purification Technology**, [S. l.], v. 173, p. 49–54, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1383586616316343>

GLOBALFERT. **Preço Matéria-Prima**. [s. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://www.globalfert.com.br/preco-mp/>. Acesso em: 1 abr. 2021.

GLOBALFERT. **Outlook GlobalFert 2020**. [S. l.: s. n.]. Disponível em: <https://globalfert.com.br/pdf/outlook-globalfert-2020.pdf>.

GLOBALFERT. **Outlook GlobalFert 2021**. [S. l.: s. n.]. Disponível em: <https://www.globalfert.com.br/OGFposEvento/arquivo/Outlook-GlobalFert-2021.pdf>.

GOMES, Cássio Rodrigo Dias; HANSEN, Éverton. Análise Comparativa Entre Estações Compactas E Convencionais Para O Tratamento De Efluentes No Município De Dois Irmãos, Rs. **Revista Tecnologia e Tendências**, Novo Hamburgo, ano 10, n. 2, 2019, p. 121–136. Disponível em: <https://doi.org/10.25112/rtt.v10i2.1980>

GOUVEIA, JOÃO CARLOS MATEUS. **DEGRADAÇÃO DO BETÃO POR FENÓMENOS DE CARBONATAÇÃO: CONSEQUÊNCIAS NAS ARMADURAS DAS EDIFICAÇÕES APÓS ANOS 50 NA CIDADE LISBOA**. 2010. - INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA, [s. l.], 2010. Disponível em: <https://repositorio.ipl.pt/bitstream/10400.21/394/1/Dissertação.pdf>

GOV.BR, Portal. **Governo descobre novos depósitos de potássio para uso na agricultura**. [s. l.], 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/noticias/energia-minerais-e-combustiveis/2021/01/governo-descobre-novos-depositos-de-potassio-para-uso-na-agricultura>. Acesso em: 18 fev. 2021.

GRANGEIRO, Leilson C.; FILHO, Arthur Bernardes Cecílio. Características de produção de frutos de melancia sem sementes em função de fontes e doses de potássio. **Horticultura Brasileira**, [S. l.], v. 24, n. 4, p. 450–454, 2006. Disponível em: <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1590/S0102-05362006000400011>

GRAU, Maximilian G. P. *et al.* Evaluation of an automated struvite reactor to recover phosphorus from source-separated urine collected at urine diversion toilets in ethekwini. **Water SA**, [S. l.], v. 41, n. 3, p. 383–389, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.4314/wsa.v41i3.10>

IACONI, Claudio Di *et al.* **Innovative Wastewater Treatment & Resource Recovery Technologies**. [S. l.]: IWA Publishing, 2017. *E-book*. Disponível em:

<https://www.iwapublishing.com/books/9781780407869/innovative-wastewater-treatment-resource-recovery-technologies-impacts-energy>

IBGE. **População por situação do domicílio, 1950 - 2010**. [s. l.], 2010. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/25089-censo-1991-6.html?=&t=series-historicas>. Acesso em: 4 jan. 2021.

IBGE. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios**. Rio de Janeiro: [s. n.], 2015. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv98887.pdf>.

IBGE. **IBGE apresenta panorama da urbanização no Brasil**. [s. l.], 2018. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/21494-ibge-apresenta-panorama-da-urbanizacao-no-brasil>. Acesso em: 22 set. 2020.

IEGV/ACSP. **Média Mensal da Cotação do Dólar Comercial para Venda**. [s. l.], [s. d.]. Disponível em: https://economia.acspservicos.com.br/indicadores_iegv/iegv_dolar.html. Acesso em: 1 abr. 2021.

IMPrensa NACIONAL. **Diário Oficial da União**. Brasília - DF: [s. n.], 2020. Disponível em: <http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?jornal=515&pagina=1&data=16/07/2020>.

INCT ETES SUSTENTÁVEIS; SABESP. **Contribuição para o aprimoramento de projeto, construção e operação de reatores UASB aplicados ao tratamento de esgoto sanitário**. [S. l.]: Revista DAE, 2018. v. 66*E-book*. Disponível em: <https://etes-sustentaveis.org/where-we-work/>

IWA. **Source Separation and Decentralization for Wastewater Management**. London , New York: IWA Publishing, 2013. *E-book*. Disponível em: <https://doi.org/10.2166/9781780401072>

JAQUES, Reginaldo Campolino. **QUALIDADE DA ÁGUA DE CHUVA NO MUNICÍPIO DE FLORIANÓPOLIS E SUA POTENCIALIDADE PARA APROVEITAMENTO EM EDIFICAÇÕES**. 2005. - Universidade Federal de Santa Catarina, [s. l.], 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1198/jasa.2001.s411>

JÚNIOR, JOÃO BATISTA LEITE. **DESSALINIZAÇÃO DO SOLO PROVOCADA PELO EXCESSO DO ÍON POTÁSSIO EM LATOSSOLO VERMELHO AMARELO CULTIVADO COM ALFACE AMERICANA (*Lactuca sativa* L.) IRRIGADA SOB AMBIENTE PROTEGIDO**. 2000. - UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”, [s. l.], 2000. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/93829/leitejunior_jb_me_botfca.pdf?sequence=1

KIDD, K. A. *et al.* Collapse of a Fish Population After Exposure to a Synthetic Estrogen. **Proceedings of the National Academy of Sciences - PNAS**, [S. l.], n. 104(21), 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1073/pnas.0609568104>

KIRCHOF, BRENO. **ALIMENTAÇÃO DA VACA LEITEIRA**. [S. l.]: Livraria e Editora Agropecuária, 1997. *E-book*. Disponível em: http://ead.senar.org.br/lms/webroot/uploads/senar/duvidas/res_66653.pdf

KORNDORFER, Gaspar Henrique. **Apostila Potássio**. Porto Alegre: [s. n.], 2018. Disponível em: <https://www.passeidireto.com/arquivo/42705907/adubos-potassicos-prof-gaspar>.

KUJAWA-ROELEVELD, Katarzyna; ZEEMAN, Grietje. Anaerobic treatment in decentralised and source-separation-based sanitation concepts. **Reviews in Environmental Science and Biotechnology**, [S. l.], v. 5, n. 1, p. 115–139, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11157-005-5789-9>

LEAL, Luís Miguel Travessa. **Monda de frutos em macieira “Fuji” com metamitrão, ácido 1-naftilacético e 6-benziladenina**. 2012. - Universidade Técnica de Lisboa, [s. l.], 2012. Disponível em: https://www.repository.utl.pt/bitstream/10400.5/5283/1/versao_definitiva_corrigida%5B1%5D.pdf

LEE, Wen Yuh; ARNOLD, C. R. Chronic toxicity of ocean-dumped pharmaceutical wastes to the marine amphipod *Amphithoe valida*. **Marine Pollution Bulletin**, [S. l.], v. 14, n. 4, p. 150–153, 1983. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0025-326X\(83\)90070-X](https://doi.org/10.1016/0025-326X(83)90070-X)

LEITE, Gabriel Vieira; CRUZ, Derivaldo Pureza da; NUNES, Maria Urbana Corrêa. Produtividade de Cultivares de Morango em Sistema de Cultivo Orgânico na Região Sul de Sergipe. In: (Embrapa, Org.) 2013, Aracaju. Anais... Brasília, DF. **III Seminário de Iniciação Científica e Pós-Graduação da Embrapa Tabuleiros Costeiros**. Aracaju. Anais... Brasília, DF: Embrapa Tabuleiros Costeiros-Artigo em anais de congresso (ALICE), 2013. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/976357/1/pag.218.pdf>

LIDE, David R. **CRC Handbook of Chemistry and Physics**. 85. ed. New York, London, Washington: CRC Press, 2004. *E-book*. Disponível em: https://books.google.com.br/books?redir_esc=y&hl=pt-BR&id=WDI18hA006AC&q=pot+ash#v=onepage&q=pot+ash&f=true

LIU, F. *et al.* Effects of six selected antibiotics on plant growth and soil microbial and enzymatic activities. **Environmental Pollution**, [S. l.], n. 157(5), 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2008.12.021>

LOPES, Alfredo Scheid. Reservas Minerais de Potássio e Produção de Fertilizantes Potássicos no Brasil. In: YAMADA, Tsuioshi; ROBERTS, Terry L. (org.). **Potássio na Agricultura Brasileira**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato - POTAFOS, 2005. *E-book*.

LOPES, Nuno Lacerda. **MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO: ISOLAMENTO TERMICO**. [S. l.]: CIAMH (Centro de Inovação em Arquitectura e Modos de Habitar), 2014. *E-book*. Disponível em: https://ciamh.up.pt/arma/wp-content/uploads/2014/08/G19_isolamento-termico.pdf

LORAINÉ, G.; PETTIGROVE, M. Seasonal variations in concentrations of

pharmaceuticals and personal care products in drinking water and reclaimed wastewater in southern California. **Environ Sci Technol**, [s. l.], 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/es051380x>

LOUREIRO, Ana Isabel Andrade. **Estudo da utilização do iodo radioativo, ¹³¹I, no tratamento de distúrbios da tiróide**. 2014. - Universidade de Coimbra, [s. l.], 2014. Disponível em: https://eg.uc.pt/bitstream/10316/89411/1/M_ana_isabel_loureiro.pdf

LOURO, Cristiana Alves de Lima; JR, Isaac Volschan; ÁVILA, Giovani Manso. SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL: ESTUDO SOBRE O APROVEITAMENTO DE NUTRIENTES DA URINA HUMANA PARA FINS AGRÍCOLAS. [s. l.], v. 7, p. 440–447, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.7177/sg.2012.v7.n3.a12>

MALAVOLTA, E. EFEITOS DOS EXCESSOS DE ALUMÍNIO, CLORO E MANGANÊS EM DOIS CULTIVARES DE SOJA (*Glycine max* (L.) Merrill). **Anais da E.S.A “Luiz de Queiroz”**, [s. l.], v. XXXVII, p. 343–351, 1980. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/aesalq/v37n1/22.pdf>

MALAVOLTA, Eurípedes. Potássio - Absorção, transporte e redistribuição na planta. In: YAMADA, Tsuioshi; ROBERTS, Terry L. (org.). **Potássio na Agricultura Brasileira**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato - POTAFOS, 2005. *E-book*.

MALAVOLTA, Eurípedes. O futuro da nutrição de plantas tendo em vista aspectos agronômicos, econômicos e ambientais. **INFORMAÇÕES AGRONÔMICAS**, SP, n. 121, p. 1–24, 2008. Disponível em: [http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/9EB02AA2D9AD91D083257A90007E9742/\\$FILE/Jornal-121.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/9EB02AA2D9AD91D083257A90007E9742/$FILE/Jornal-121.pdf)

MARCO, Edenara De. **Uso de substratos alternativos na produção de morangos e mudas de cana-de-açúcar**. 2017. - UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS, [s. l.], 2017. Disponível em: http://guaiaca.ufpel.edu.br:8080/bitstream/prefix/3635/1/DISSERTAÇÃO_EDENARA.pdf

MARINHO, Luccas Erickson de Oliveira et al. **Condicionamento de lodo de tanque séptico e aplicação em uma cultura de roseira**. 2015. - UNICAMP, [s. l.], 2015. Disponível em: http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/258392/1/Marinho_LuccasEricksondeOliveira_D.pdf

MARQUES, Marcus Vinícius Araújo. **Dinâmica e distribuição dos nutrientes do efluente do tratamento preliminar de esgoto doméstico no solo quando aplicado em sulcos na fertirrigação do capim-elefante**. 2017. - UFMG, [s. l.], 2017. Disponível em: <http://www.smarh.eng.ufmg.br/defesas/1237M.PDF>

MATOS, Antônio Teixeira de. **Poluição Ambiental: Impactos no Meio Físico**. Viçosa: [s. n.], 2013. *E-book*. Disponível em: https://play.google.com/store/books/details?id=2FEEEEAAAQBAJ&pcampaignid=book_s_web_aboutlink

MAY, Simone. **Estudo da viabilidade do aproveitamento de água de chuva**

para consumo não potável em edificações. 2004. - Escola Politécnica, [s. l.], 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/D.3.2004.tde-02082004-122332>

MAY, SIMONE. **Caracterização , Tratamento E Reúso De Águas Cinzas E Aproveitamento De Águas Pluviais Em Caracterização , Tratamento E Reúso.** 2009. - USP, [s. l.], 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/T.3.2009.tde-17082009-082126>

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, Pecuária e Abastecimento. **INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 39, DE 8 DE AGOSTO DE 2018** Brasil: [s. n.], 2018.p. 1–42.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **ANEXO I ESPECIFICAÇÕES DOS FERTILIZANTES MINERAIS SIMPLES.** Governo Federal: [s. n.], 2017. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/guia-de-servicos/arquivos/arquivos-bebidas-vinhos-e-derivados/anexo-i-especificacoes-dos-fertilizantes-minerais-simples.pdf>.

MINISTÉRIO DA ECONOMIA. **Dívida Pública Federal alcança R\$ 5,059 trilhões em janeiro.** [s. l.], 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/economia/pt-br/assuntos/noticias/2021/fevereiro/divida-publica-federal-alcanca-r-5-059-trilhoes-em-janeiro>. Acesso em: 19 abr. 2021.

MONTE, Marisa Bezerra de Mello; ANDRADE, Marcelo Corrêa; BALTAR, Carlos Adolpho M. **CLORETO DE POTÁSSIO - MINA DE TAQUARI VASSOURAS - CVRD.** Rio de Janeiro: [s. n.], 2002. Disponível em: <https://www.passeidireto.com/arquivo/22772059/cloreto-de-potassio-mina-de-taquari-vassouras-cvrd>.

MONTEIRO, Rodrigo Otávio Câmara. **Influência do gotejamento subterrâneo e do “mulching” plástico na cultura do melão em ambiente protegido.** 2007. - Universidade de São Paulo, [s. l.], 2007. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11143/tde-26112007-092804/publico/TeseRodrigoMonteiro.pdf>

MOTA, Francisco Suetônio Bastos; VON SPERLING, Marcos. Nutrientes de estogo sanitário: utilização e remoção. In: ABES (org.). Fortaleza: Programa de Pesquisa em Saneamento Básico - PROSAB, 2009. p. 428. *E-book*. Disponível em: https://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/prosab5_tema_2.pdf&ved=2ahUKEwjKi8yV3s_kAhVhFLkGHWDYD5cQFjALegQICRAB&usg=AOvVaw0aUzTSZkXcbJrThxY-PrpI&cshid=1568444310134

MOTTA, Marcelo Batista. **Avaliação do potencial de potássio no Brasil: área Bacia do Amazonas, setor centro-oeste, estados do Amazonas e Pará** (Serviço Geológico do Brasil - CPRM, Org.). Manaus: [s. n.], 2020. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/21740>.

MOURA, Tiago Rodrigues. Gestão Ambiental 4.0. In: (CONDESSUS, Org.) 2021, Evento Online. **I Congresso Online De Desenvolvimento Sustentável (CONDESSUS).** Evento Online: CONDESSUS, 2021. Disponível em: <https://eventos.congresse.me/condessus/edicoes/450-condessus---1-edicao>

NASCIMENTO, Marisa; LOUREIRO, Francisco E. Lapido. **Fertilizantes e Sustentabilidade: O potássio na Agricultura Brasileira**. SÉRIE ESTU ed. Rio de Janeiro: CETEM; Ministério da Ciência e Tecnologia, 2004. *E-book*. Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/579>

NASCIMENTO, Marisa; MONTE, Marisa Bezerra de Mello; LOUREIRO, Francisco Eduardo Lapido. Agrominerais – Potássio. *In*: CETEM (org.). **Rochas e Minerais Industriais**. 2. ed. [S. l.]: CETEM, 2008. p. 175–209. *E-book*. Disponível em: <https://www.cetem.gov.br/agrominerais/livros/08-agrominerais-potassio.pdf>

NOBRE, Márcia de Oliveira *et al.* DROGAS ANTIFÚNGICAS PARA PEQUENOS E GRANDES ANIMAIS. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, n. 1, p. 175–184, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782002000100029>

OLIVEIRA, Luiz Alberto Melo de. **Potássio**. [S. l.: s. n.]. Disponível em: https://sistemas.anm.gov.br/publicacao/mostra_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=4004.

OLIVEIRA, Rosana Maria de; FIORIO, Wagner Alexey Back. **Brometo de Potássio e Fenobarbital**. [s. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://labvet.com.br/userfiles/files/brometo.pdf>. Acesso em: 30 jan. 2021.

OLIVEIRA, LUCIA HELENA DE; *et al.* **Levantamento do estado da arte: Água**. São Paulo: [s. n.], 2007. Disponível em: http://labeee.ufsc.br/sites/default/files/documents/tecnologias-para-construcao-mais-sustentavel/HabitacaomaisSustentavel_D2.1_agua.pdf

ONO, Kazuko. Fukushima Nuclear Power Station: What Happened? Why All Health Care Professionals Need Radiation Training. **Aesthetic Plastic Surgery**, Kyoto, Japan, v. 36, n. 2, p. 231–233, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00266-011-9852-3>

OTTERPOHL, R.; BRAUN, U.; OLDENBURG, M. Innovative technologies for decentralised water-, wastewater and biowaste management in urban and peri-urban areas. **Water Science and Technology**, [S. l.], v. 48, n. 11–12, p. 23–32, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.2166/wst.2004.0795>

PEREIRA, Anne Relvas. **REATOR BIOLÓGICO COM MEMBRANA (MBR) APLICADO AO TRATAMENTO DE ESGOTOS GERADOS POR UNIDADES RESIDENCIAIS UNIFAMILIARES**. 2016. - UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA FACULDADE, [s. l.], 2016. Disponível em: https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/22465/1/2016_AnneRelvasPereira.pdf

PESSOA, Antonio Francisco Cisne. Brasil - Produção de Potássio para Cima. *In*: YAMADA, Tsuioshi; ROBERTS, Terry L. (org.). **Potássio na Agricultura Brasileira**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato - POTAFOS, 2005. *E-book*.

PLANALTO. **LEI Nº 6.938, DE 31 DE AGOSTO DE 1981**Brasil: [s. n.], 1981. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6938compilada.htm

PLANALTO. **LEI Nº 9.433, DE 8 DE JANEIRO DE 1997**Brasil: [s. n.], 1997.

Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm

PLANALTO. **LEI No 10.257, DE 10 DE JULHO DE 2001.** Brasil: [s. n.], 2001. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/LEIS_2001/L10257.htm

PRADO, Fabiana Rorato de Lacerda *et al.* **Sabesp: projeto de economia circular cria novo paradigma para ETE.** [s. l.], 2020. Disponível em: <https://revistaoe.com.br/sabesp-projeto-de-economia-circular/>. Acesso em: 22 dez. 2020.

PREFEITURA DE SÃO JOSÉ DOS PINHAIS. **COE-PR.** PR: [s. n.], [s. d.] Disponível em: http://www.sjp.pr.gov.br/wp-content/uploads/2018/01/LC-105-2016_COE_2018_minuta-anexos.pdf

PREFEITURA DE SÃO PAULO. **1 - ZONEAMENTO , USO E OCUPAÇÃO DO SOLO Consultar o Passo 3 do Guia de Aprovação Consultar os Quadros das Zonas de Uso nos Anexos do Guia de Aprovação Consultar o Quadro dos Recuos nos Anexos do Guia de Aprovação apresentada matrícula no Cartório de Regis.** [S. l.: s. n.] Disponível em: https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/roteiro_de_aprov_expresso_conjunto_residencial_r3_01_1253830513.pdf

PREFEITURA DE SÃO PAULO. **Código de Obras e Edificações - São Paulo.** [S. l.: s. n.] Disponível em: https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&url=http://www.abrasip.org.br/docs/codigo_de_obras_ilustrado.pdf&ved=2ahUKEwj05P23zYnqAhXNIbkGHZ4zB_QFjACegQIAhAB&usq=AOvVaw1ZYPGctFWMxloLw2xr4OS.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE. **Plano Diretor - Porto Alegre.** Porto Alegre: [s. n.], 2010. Disponível em: https://www2.portoalegre.rs.gov.br/spm/default.php?reg=2&p_secao=205.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SALVADOR. **LEI Nº 9069/2016 - Plano diretor de Salvador.** Salvador: [s. n.], 2016. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/plano-diretor-salvador-ba>.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO. Plano Diretor - São Paulo. **Diário Oficial Cidade de São Paulo**, [S. l.], v. 59, n. 140, p. 352, 2014. Disponível em: https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/urbanismo/legislacao/plano_diretor/index.php?p=201105

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO. **Área de Terreno, Área Construída e Nº de Lotes por Unidades Territoriais - Município de São Paulo e Distritos Municipais.** [s. l.], 2019. Disponível em: https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/licenciamento/desenvolvimento_urbano/dados_estatisticos/info_cidade/uso_do_solo_urbano/index.php?p=260379. Acesso em: 24 abr. 2021.

PREFEITURA MUNICIPAL DO RIO DE JANEIRO. **Relatório 2009 - Proposta de Política Urbana - parte 3Rio Prefeitura.** [S. l.: s. n.]. Disponível em: <http://www.rio.rj.gov.br/web/smu/exibeconteudo?id=2879239>.

PRONK, Wouter *et al.* Pilot experiments with electro dialysis and ozonation for

the production of a fertiliser from urine. **Water Science and Technology**, [S. l.], v. 56, n. 5, p. 219–227, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.2166/wst.2007.575>

PRONK, Wouter; BIEBOW, Martin; BOLLER, Markus. Electrodialysis for recovering salts from a urine solution containing micropollutants. **Environmental Science and Technology**, [S. l.], v. 40, n. 7, p. 2414–2420, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/es051921i>

RAJ, Manish *et al.* Evaluation of different potassium management practices on potassium status of soil , profitability and productivity of aerobic rice. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, [S. l.], v. 9, n. 5, p. 2933–2936, 2020. Disponível em: <https://www.phytojournal.com/archives/?year=2020&vol=9&issue=5&part=AO&ArticleId=12784>

RANDALL, Dyllon G. *et al.* A novel approach for stabilizing fresh urine by calcium hydroxide addition. **Water Research**, [S. l.], v. 95, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.03.007>

REVISTA DO MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. Guia do parcelamento do solo e da regularização fundiária urbanos para municípios. **MPMG Jurídico**, [S. l.], 2017. Disponível em: <http://www.agenciarmbh.mg.gov.br/wp-content/uploads/2019/03/Guia-do-Parcelamento-do-Solo-e-da-Regularização-Fundiária-para-Municípios.pdf>

RHOMICROM. **Sulfato de Magnésio Heptahidratado 9%**. [s. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://rhomicrom.com.br/sulfato-de-magnesio-heptahidratado-9-3/#:~:text=Sulfato de Magnésio Heptahidratado 9%25,-Componente da clorofila. Acesso em: 4 maio. 2021.>

RICHARDS, Laura A.; RICHARDS, Bryce S.; SCHAFER, Andrea I. Salt and inorganic contaminant removal by renewable energy powered nanofiltration / reverse osmosis. **Journal of membrane science**, [S. l.], 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2010.11.069>

RIZK, MARIA CRISTINA. **TRATAMENTO DE RESÍDUOS FRUTIHORTÍCULAS**. 2009. - UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ, [s. l.], 2009. Disponível em: <http://repositorio.uem.br:8080/jspui/bitstream/1/3685/1/000176347.pdf>

RONTELTAP, Mariska; SIRAIT, Nanda Lasro Elisabet. Urine Separation - Opportunities for Developing Countries. **Water Practice and Technology**, [S. l.], v. 5, n. 4, p. 1–19, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.2166/wpt.2010.101>

ROYAL SOCIETY OF CHEMISTRY. **Potassium**. [s. l.], 2021. Disponível em: <https://www.rsc.org/periodic-table/element/19/potassium>. Acesso em: 10 jan. 2021.

SABESP. **Norma Técnica SABESP - NTS 062**Brasil: [s. n.], 2002.

SABESP. **Relatório de Sustentabilidade 2017**. [S. l.: s. n.]. Disponível em: http://site.sabesp.com.br/site/uploads/file/asabesp_doctos/relatorio_sustentabilidade_2017.pdf.

SALAZAR, Bruno Lopes. **DESENVOLVIMENTO DE FUNÇÕES DE CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO DE SISTEMAS DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO**. 2010. - UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS, [s. l.], 2010. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUOS-9ASKJC/1/monografia_de_final_de_curso_de_bruno_lopes_salazar_.pdf

SANDOZ. **amoxicilina + clavulanato de potássio (bula)**. PR: [s. n.], 2016. Disponível em: http://200.199.142.163:8002/FOTOS_TRATADAS_SITE_14-03-2016/bulas/36746.pdf.

SANT'ANA, Daniel. **Viabilidade técnica e operacional do aproveitamento de águas pluviais e do reúso de águas cinzas em edificações não-residenciais do Distrito Federal**. [S. l.: s. n.]. Disponível em: http://www.adasa.df.gov.br/images/storage/area_de_atuacao/abastecimento_agua_esgotamento_sanitario/regulacao/reuso_aguas_cinza_aproveitamento_aguas_pluviais/reusodf_5_viabilidade_tecnica_operacional_aproveitamento_aguas.pdf.

SANTIAGO, Antonio Dias; ROSSETTO, Raffaella. **Adubação Mineral**. [s. l.], [s. d.]. Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_38_711200516717.html. Acesso em: 20 fev. 2021.

SANTOS, André Bezerra dos. **Caracterização, Tratamento e Gerenciamento de Subprodutos de Correntes de Esgotos Segregadas e Não Segregadas em Empreendimentos Habitacionais**. Fortaleza; Ceará: RENTED - Rede Nacional de Tratamento de Esgotos Descentralizados, 2019. *E-book*. Disponível em: <https://repositorio.ufba.br/ri/handle/ri/30629>

SANTOS, Hélio Lopes dos *et al.* **Enxofre. Correção e Adubação do Solo**, Belo Horizonte, 1981. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/54816/1/enxofre.pdf>

SANTOS, Vanessa da Matta dos; AFONSO, Júlio Carlos. Iodo. **Química Nova na Escola**, São Paulo, v. 35, n. 4, p. 297–298, 2011. Disponível em: http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc35_4/12-EQ-16-11.pdf

SANTOS, EDUARDO CARDOSO. **ANÁLISE DE PRESCRIÇÕES DE ANTIBIÓTICOS EM UNIDADE BÁSICA DE SAÚDE NO MUNICÍPIO DE LAGARTO-SE**. 2018. - UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE, [s. l.], 2018. Disponível em: https://ri.ufs.br/bitstream/riufs/12346/2/EDUARDO_CARDOSO_SANTOS.pdf

SANTOS, Lúcia H. M. L. M. *et al.* Ecotoxicological aspects related to the presence of pharmaceuticals in the aquatic environment. **Journal of Hazardous Materials**, [S. l.], v. 175, n. 1–3, p. 45–95, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.10.100>

SANTOS, R. C. P.; BARROS, G. T. **Plano de segurança para utilização do cianeto de potássio**. [S. l.: s. n.]. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1117617>.

SARDEIRO, Paula Silva. **Parâmetros para a escolha de superfícies translúcidas visando o conforto térmico e visual na edificação**. 2007. -

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS, [s. l.], 2007. Disponível em: http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/258674/1/Sardeiro_PaulaSilva_D.pdf

SCHOVANZ, Dioice; COSTA, Luana Centofante; BONSEMBIANTE, Francieli Tiecher. Mapeamento do potencial álcali reativo das areias no Rio Grande do Sul. **REVISTA DE ARQUITETURA IMED**, Passo Fundo, v. 8, n. 1, p. 3–18, 2019. Disponível em: <https://doi.org/https://doi.org/10.18256/2318-1109.2019.v8i1.3122>

SECRETARIA DO GOVERNO MUNICIPAL DE SÃO PAULO. **Decreto nº57.547/2016**Brasil: [s. n.], 2016. Disponível em: https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/licenciamento/desenvolvimento_urbano/participacao_social/fundos/fundurb/index.php?p=227432

SECRETARIA MUNICIPAL DE URBANISMO E LICENCIAMENTO (SMUL) DA PREFEITURA DE SÃO PAULO. **Área e comprimento máximos de quadra**. [s. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://gestaourbana.prefeitura.sp.gov.br/frente-maxima-e-extensao-maxima-de-quadra/>. Acesso em: 31 mar. 2021.

SECRETÁRIO DO GOVERNO MUNICIPAL DE SÃO PAULO. **LEI Nº 16.050 DE 31 DE JULHO DE 2014**Brasil: [s. n.], 2014. Disponível em: <http://legislacao.prefeitura.sp.gov.br/leis/lei-16050-de-31-de-julho-de-2014>

SENADO NOTÍCIAS. **Senado aprova novo marco legal do saneamento básico**. [s. l.], 2020. Disponível em: <https://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2020/06/24/senado-aprova-novo-marco-legal-do-saneamento-basico>.

SILVA, Joelson Vieira da *et al.* MANDIOCA ‘IAC 14’ TRATADA COM REGULADORES VEGETAIS E BIOESTIMULANTE. **Revista Raízes e Amidos Tropicais**, [S. l.], v. 10, n. 1, p. 38–48, 2014. Disponível em: <https://doi.org/https://doi.org/10.17766/1808-981X.2014v10n1p38-48>

SILVA, LÍGIA RENATA ALMEIDA DA. **CARACTERIZAÇÃO BIOQUÍMICA E DE QUALIDADE NO AMADURECIMENTO DOS MAMÕES UENF/CALIMAN01 E TAINUNG01**. 2014a. - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, [s. l.], 2014. Disponível em: <http://uenf.br/posgraduacao/gmp/wp-content/uploads/sites/6/2014/05/Tese-MS-Lígia-Renata-A.-Silva.pdf>

SILVA, Daniel Freitas Reis e. **APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA ATRAVÉS DE UM SISTEMA DE COLETA COM COBERTURA VERDE: AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DRENADA E POTENCIAL DE ECONOMIA DE ÁGUA POTÁVEL**. 2014b. - Universidade Federal do Rio de Janeiro, [s. l.], 2014. Disponível em: <https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/11903/1/monopoli10009251.pdf>

SIMON, Gilberto. **Passo Fundo inaugura maior shopping do interior em 6 meses**. [s. l.], 2018. Disponível em: <https://portoimagem.wordpress.com/2018/04/17/passo-fundo-inaugura-maior-shopping-do-interior-em-6-meses/>. Acesso em: 18 abr. 2021.

SIQUEIRA, Sidnei Lima. **ESTUDO DA REMOÇÃO DE MICROCISTINA-**

LR UTILIZANDO OXIDAÇÃO COM CLORO, DIÓXIDO DE CLORO E PERMANGANATO DE POTÁSSIO. 2008. - UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS, [s. l.], 2008. Disponível em: http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/257941/1/Siqueira_SidneiLima_M.pdf

SNIS. Glossário de Informações - Água e Esgotos. [S. l.], p. 1–74, 2018. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/diagnostico-anual-agua-e-esgotos/diagnostico-dos-servicos-de-agua-e-esgotos-2018>

SNIS. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto 2018.** Brasília: [s. n.], 2019. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/diagnostico-anual-agua-e-esgotos/diagnostico-dos-servicos-de-agua-e-esgotos-2018>.

SOARES, Ana *et al.* Nutrients recovery from wastewater streams. In: SUAREZ, Juan M. Lema and Sonia (org.). **Innovative Wastewater Treatment & Resource Recovery Technologies : Impacts on Energy, Economy and Environment.** IWA ed. [S. l.]: IWA Publishing, 2017. p. 369–398. *E-book.*

SOARES, PAULO ANTÔNIO GALINDO. **OBTENÇÃO, CARACTERIZAÇÃO E APLICAÇÃO DE HIDROGÉIS A BASE DE POLISSACARÍDEOS.** 2015. - Universidade Federal de Pernambuco, [s. l.], 2015. Disponível em: https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/25281/1/TESE_Paulo_Antônio_Galindo_Soares.pdf

SOUSA, Catarina Viegas de. **Microalgas: do Tratamento de Efluentes para a Biorrefinaria.** 2014. - Universidade Nova de Lisboa, [s. l.], 2014. Disponível em: https://run.unl.pt/bitstream/10362/13523/1/Sousa_2014.pdf

SP JORNAL. **Shopping Anália Franco implanta sistema de tratamento de água.** [s. l.], 2019. Disponível em: <https://www.spjornal.com.br/2019/05/24/shopping-analia-franco-implanta-sistema-de-tratamento-de-agua/>. Acesso em: 6 jan. 2021.

TECNIPAR AMBIENTAL. **Tecnipar Ambiental.** São Paulo: [s. n.], 2021.

TECNO SAN. **PROJETO ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES PARA CONDOMÍNIO.** [s. l.], 2019. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=oZ0M949c3jk&list=PL0OUGOQJC6aBmQMZ8wANtXT-5gKuPh8Ag&index=8&t=8s>. Acesso em: 19 abr. 2021.

THE MOSAIC COMPANY. **A THE MOSAIC COMPANY ANUNCIA RESULTADOS DO SEGUNDO TRIMESTRE DE 2020. The Mosaic Company,** [S. l.], n. 1, 2021. Disponível em: http://www.mosaicco.com.br/documents/2Q20_News_Release_por_BR_0803_2.pdf

TILLEY, Elizabeth *et al.* Compendium of Sanitation Systems and Technologies. **Development,** [S. l.], p. 158, 2008. Disponível em: http://www.eawag.ch/organisation/abteilungen/sandec/publikationen/publications_sesp/downloads_sesp/compendium_high.pdf

TOMAZ, PLÍNIO. **Previsão de consumo de água.** São Paulo: [s. n.], 1999. *E-book.* Disponível em: <https://www.pliniotomaz.com/>

TOMAZ, PLÍNIO. **Economia de água**. [S. l.: s. n.]. *E-book*. Disponível em: <https://www.pliniotomaz.com/>

TOMAZ, PLÍNIO. **Aproveitamento de água de chuva em áreas urbanas para fins não potáveis**. [S. l.: s. n.]. *E-book*. Disponível em: https://909d9be6-f6f1-4d9c-8ac9-115276d6aa55.filesusr.com/ugd/0573a5_bfa504956e664155b22974ef016e05a7.pdf?index=true

TRANI, Paulo Espíndola; TRANI, André Luis. Fertilizantes: Cálculos de fórmulas Comerciais. **Boletim Técnico IAC**, 208., [S. l.], 2011. Disponível em: <http://www.biologico.sp.gov.br/>

TREVISAN, Marcele Cantarelli. **SAÚDE BUCAL COMO TEMÁTICA PARA UM ENSINO DE QUÍMICA CONTEXTUALIZADO**. 2012. - UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA, [s. l.], 2012. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/6659/TREVISAN, MARCELE CANTARELLI.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

TSUTIYA, Milton Tomoyuki. **Abastecimento de água**. 3. ed. São Paulo: Escola Politécnica da USP, 2006. *E-book*.

VENZKE, Carla Denize *et al.* Avaliação das tecnologias osmose reversa e eletrodialise reversa em uma estação de tratamento de água. **XIII Congresso Nacional de Meio Ambiente**, [S. l.], n. 1, 2016. Disponível em: http://www.meioambientepocos.com.br/anais-2016/430.AVALIAÇÃO_DAS_TECNOLOGIAS_OSMOSE_REVERSA_E_ELETRODIÁLISE_REVERSA_EM_UMA_ESTAÇÃO_DE_TRATAMENTO_DE_ÁGUA.pdf

VERDE. **Nossa história: encontrando a solução para superar a tempestade**. [s. l.], 2020. Disponível em: <https://blog.verde.ag/verde/nossa-historia-encontrando-a-solucao-para-superar-a-tempestade/>. Acesso em: 19 abr. 2021.

VICENTE, Carina Marcos. **Ensaio exploratório de lixiviação de minérios de ouro**. 2014. - FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO, [s. l.], 2014. Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/73720/2/31785.pdf>

VIEIRA, Patrick Fernandes. **Avaliação do potencial da água de chuva para fins não potáveis: análise do projeto de um condomínio residencial vertical em Curitiba-PR**. 2012. - UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ, [s. l.], 2012. Disponível em: http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/880/1/CT_CECONS_II_2012_08.pdf

VIEIRA, Pedro Abel *et al.* **GEOPOLÍTICA DO ALIMENTO: O BRASIL COMO FONTE ESTRATÉGICA DE ALIMENTOS PARA A HUMANIDADE**. [S. l.: s. n.]. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1114767/geopolitica-do-alimento-o-brasil-como-fonte-estrategica-de-alimentos-para-a-humanidade>.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4. ed. Minas Gerais: ufmg, 2014. *E-book*.

WETLANDS CONSTRUÍDOS. **Wetlands Construídos: uma solução para o tratamento de lodos de esgoto.** [s. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://www.wetlands.com.br/single-post/2017/06/23/Wetlands-Construídos-uma-solução-para-o-tratamento-de-lodos-de-esgoto>.

WHO. **Antibiotic Resistance.** [S. l.: s. n.]. Disponível em: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/antibiotic-resistance>.

APÊNDICE A – Presença de potássio, segundo relatos da literatura

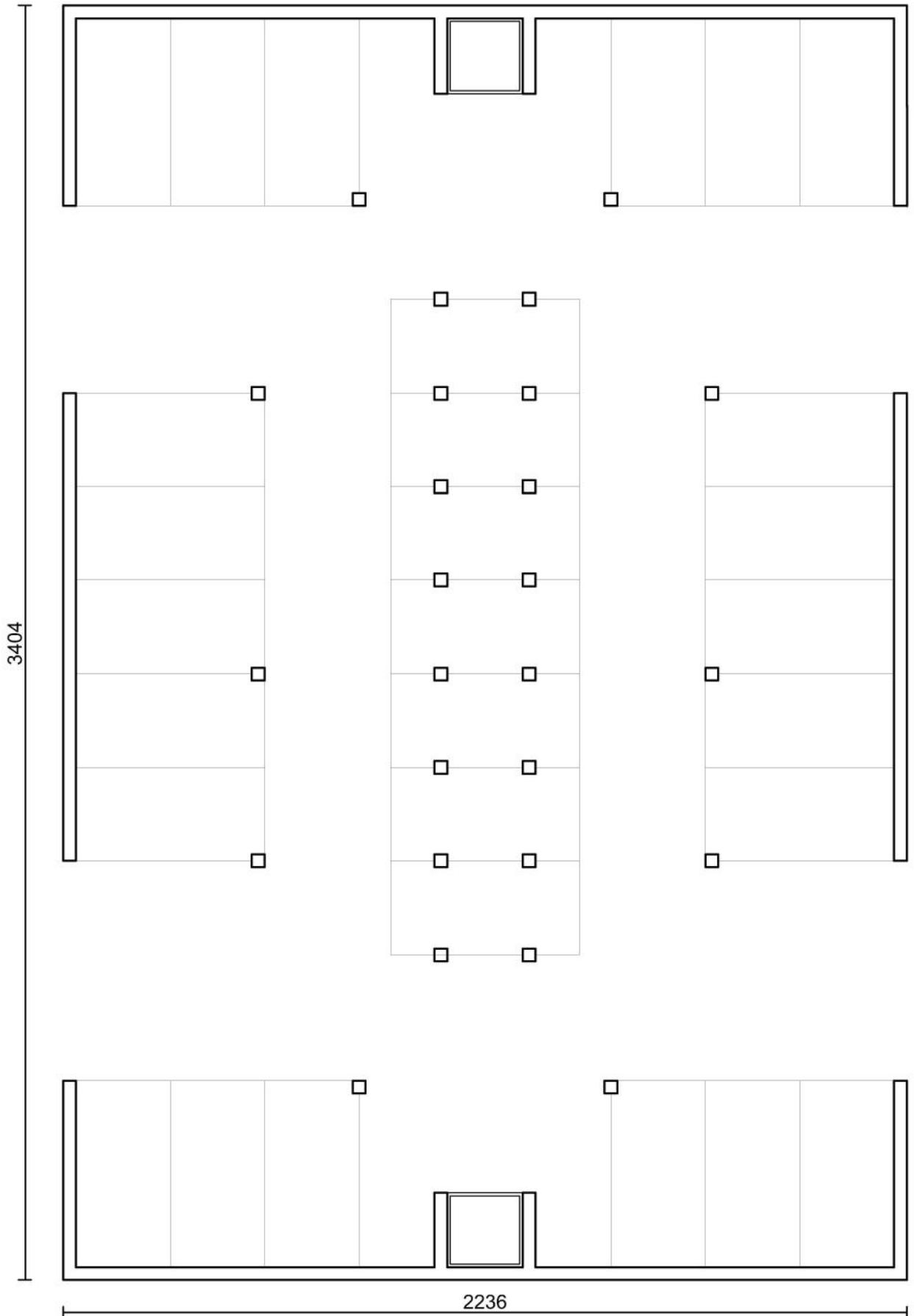
Fórmula	Nome	Presença	Função da formulação	Fontes da Literatura
K₂Cr₂O₇	Dicromato de potássio	Laboratório	Determinação de DQO em análises químicas	(SILVA, 2014b)
KOH	Hidróxido de potássio	Laboratório	Remoção de grupos acetila (Bioquímica), determinação da acidez (pH)	(SOARES, 2015) (SOUSA, 2014)
KCl	Cloreto de potássio	Agricultura: Fertilizante mineral Extintores de incêndio: pó químico seco Alimentação humana Ração Animal	Fonte de potássio para agricultura. Ex.: crescimento de plantas para produção de Biodiesel, adubação de pastagens, etc. Base química do pó, misturado a aditivos que dão estabilidade frente à umidade e à aglutinação Substituição do NaCl como sal de cozinha Substituição do NaCl como sal; suplementação de potássio	(JÚNIOR, 2000) (CECATO; GALBEIRO; RODRIGUES, 2005) (FAGUNDES, 2013) (DIAS, 2021) (KIRCHOF, 1997)
K₂SO₄	Sulfato de potássio	Agricultura: Fertilizante mineral Lã de Vidro Cinzas de algas Tijolo, água de amassamento de argamassa e cimento	Fonte de potássio para agricultura. Ex.: adubação de pastagens, produção de frutas comestíveis, etc. Redução da temperatura de fusão do material	(CECATO; GALBEIRO; RODRIGUES, 2005) (LEITE; CRUZ; NUNES, 2013) (GRANGEIRO; FILHO, 2006) (LOPES, 2014) (SANTOS; AFONSO, 2011) (FREITAS, 2018)
K₂CO₃	Carbonato de potássio	Cimentos álcalis	Produção de Betão (concreto) na construção civil	(FREITAS, 2018) (GOUVEIA, 2010)
KHCO₃	Bicarbonato de potássio	Extintores de incêndio: pó químico seco	Misturado a aditivos que dão estabilidade frente à umidade, extinguem fogo de líquidos inflamáveis por abafamento.	(FAGUNDES, 2013)
K₂O	Óxido de potássio	Vidros Solo Cimento: impureza	Tempera, aumentando a resistência do vidro - Reação álcali-agregado, ocasionando em patologia no cimento.	(SARDEIRO, 2007) (AKERMAN, 2017) (LEAL, 2012) (BONATO, 2015) (SCHOVANZ; COSTA; BONSEMBIANTE, 2019)
KNO₃	Nitrato de potássio	Explosivos e fogos de artifícios Alimentos e Fertilizantes Agricultura Putrefação de corpos em solos sob condições áridas	.. Conservante (sal antisséptico) Fonte de potássio para agricultura: produção de mandioca, morango, etc. Sal antisséptico natural	(DIAS, 2021) (DIAS, 2021) (SILVA <i>et al.</i> , 2014) (MARCO, 2017) (GRANGEIRO; FILHO, 2006) (CAMPOS, 2007)

KClO₃	Clorato de potássio	Explosivos e fogos de artifícios	..	(DIAS, 2021)
	Clavulanato de potássio	Medicamentos antibacterianos: amoxicilina + clavulanato de potássio	Protege a amoxicilina da degradação por enzimas, potencializando os efeitos do antibiótico	(SANTOS, 2018) (SANDOZ, 2016)
K₂HPO₄	Fosfato de potássio	Agricultura	Fertilizante: indutor de resistência para algumas espécies de plantas	(EMBRAPA, 2014)
KHCO₃	Bicarbonato de potássio	Extintores de incêndio: pó químico seco Tratamento de resíduos frutihortícolas	Bases químicas principais, que misturadas com aditivos que dão estabilidade ao pó frente à umidade e à aglutinação. Correção de pH em digestão anaeróbia	(FAGUNDES, 2013) (RIZK, 2009)
	Bicarbonato de potássio-ureia	Extintores de incêndio: pó químico seco	Bases químicas principais, que misturadas com aditivos que dão estabilidade ao pó frente à umidade e à aglutinação.	(FAGUNDES, 2013)
		Laboratório	Determinação do índice de iodo	(SOUSA, 2014)
KI	Iodeto de potássio	Farmácia: medicamentos, soluções antissépticas e expectorantes, tratamentos radioterápicos	Tratamento de asma e problemas respiratórios, micose pulmonar, Gastrite ulcerosa sifilitica hipercloridria, Sífilis hereditaria, esporotricose e demais doenças; expectorante (protege vias respiratórias, função antibact e antifungi) limpeza de ferimentos e ocasionalmente também é utilizado para limpeza da água; prevenção de exposição à radioatividade e tireopatias	(FLORES, 1923) (NOBRE <i>et al.</i> , 2002) (SANTOS; AFONSO, 2011) (ONO, 2012)
		Ração Animal	Suplementação de Iodo	(KIRCHOF, 1997)
KIO₃	Iodato de potássio	Ração Animal	Suplementação de Iodo, sendo ideal para adicionar ao sal comum	(KIRCHOF, 1997)
K₂HPO₄	Fosfato dipotássico	Laboratório	Meio fermentativo para inoculação de bactérias como Enterobacter aerogenes	(SOUSA, 2014)
KH₂PO₄	Fosfato monopotássico	Laboratório	Meio fermentativo para inoculação de bactérias como Enterobacter aerogenes	(SOUSA, 2014)
KMnO₄	Permanganato de potássio	Farmácia: antifúngicos Laboratório	Função oxidante, atuando como fungistático de modo indireto ao modificar as condições locais Função de agente oxidante, útil para usos como identificação de Alcenos (Teste de Baeyer) e Aminas, remoção de toxinas	(NOBRE <i>et al.</i> , 2002) (TREVISAN, 2012) (SIQUEIRA, 2008)
KClO₄	Perclorato de potássio	Farmácia	Bloqueador de tireoide (hipertireoidismo)	(LOUREIRO, 2014)
KBr	Brometo de potássio	Veterinária	Tratamento de epilepsia em cães	(OLIVEIRA; FIORIO, <i>l.s. d.</i>)

$C_6H_7KO_2$	Sorbato de potássio	Farmácia: medicamentos e cosméticos, como o pomadas, cremes, emulsões, soluções, xaropes, loções, entre outros	Conservação produtos sensíveis a mofo e fermentações, com pH inferior a 6,5	(EDITORA INSUMOS, [s. d.]
		Alimentação humana	Conservante de alimentos industrializados	(EDITORA INSUMOS, [s. d.] (FIB, 2017)
$K_2S_2O_3$	Metabissulfito de potássio	Alimentação humana	Conservante de alimentos devido às funções Antimicrobiana, Fungistática, Antioxidante e Quelante dos sulfitos	(COELHO, 2008)
K_2SO_3	Sulfito de potássio	Alimentação humana	Conservante de alimentos devido às funções Antimicrobiana, Fungistática, Antioxidante e Quelante dos sulfitos	(COELHO, 2008) (FAVERO; RIBEIRO; AQUINO, 2015)
$KHSO_3$	Bissulfito de potássio	Alimentação humana	Conservante de alimentos devido às funções Antimicrobiana, Fungistática, Antioxidante e Quelante dos sulfitos	(COELHO, 2008)
KCN	Cianeto de potássio	Mineração	Extração de ouro, formando KOH.	(VICENTE, 2014)
		Revelações fotográficas antigas	Fixagem da imagem antes do enxágue	(BUENO, 2010)
		Laboratório	Determinação de hemoglobina total do sangue, análise de Cálcio e Magnésio em amostras de solo	(DORNELES, 2018) (SANTOS; BARROS, 2019)
$KSCN$	Tiocianato de potássio	Laboratório	Agente complexante do Ferro	(SILVA, 2014a)
...	Formulações diversas	Lixiviado de Aterro sanitário	Fertilizante em estudo	(COELHO <i>et al.</i> , 2015)

Fonte: Elaboração própria, utilizando os autores citados na própria tabela.

➤ ANDAR CONSTITUÍDO DE VAGAS DE ESTACIONAMENTO:



APÊNDICE C – Planilhas de Cálculo: custos dos fertilizantes de fósforo e magnésio

➤ FERTILIZANTES DE FÓSFORO:

Custos em dólar					
Período	DAP(US\$/t)	MAP (US\$/t)	SSP (US\$/t)	TSP (US\$/t)	Valor do dólar (reais)
jan/20	312	312	128	246	4,152
fev/20	217	296	152	272	4,346
mar/20	293	293	148	252	4,894
abr/20	301	301	137	253	5,33
mai/20	310	310	135	248	5,64
jun/20	309	309	153	246	5,203
jul/20	308	308	143	242	5,287
ago/20	308	308	140	236	5,459
set/20	313	313	133	237	5,403
out/20	320	320	129	242	5,632
nov/20	351	334	133	245	5,422
dez/20	354	354	125	240	5,142
Custos em reais					
	DAP(R\$/t)	MAP (R\$/t)	SSP (R\$/t)	TSP (R\$/t)	
jan/20	1295,424	1295,424	531,456	1021,392	
fev/20	943,082	1286,416	660,592	1182,112	
mar/20	1433,942	1433,942	724,312	1233,288	
abr/20	1604,33	1604,33	730,21	1348,49	
mai/20	1748,4	1748,4	761,4	1398,72	
jun/20	1607,727	1607,727	796,059	1279,938	
jul/20	1628,396	1628,396	756,041	1279,454	
ago/20	1681,372	1681,372	764,26	1288,324	
set/20	1691,139	1691,139	718,599	1280,511	
out/20	1802,24	1802,24	726,528	1362,944	
nov/20	1903,122	1810,948	721,126	1328,39	
dez/20	1820,268	1820,268	642,75	1234,08	
MÉDIA ANUAL (reais/ton)	1596,62	1617,55	711,1111	1269,804	
IMPORTAÇÃO ANUAL (ton)	405100	4780000	1000000	805000	
Total GASTO (milhões de reais)	646,7908	7731,89	711,1111	1022,192	

Fonte: Elaboração própria, utilizando de dados de GLOBALFERT ([s. d.], 2021).

➤ FERTILIZANTE DE MAGNÉSIO:			
Período	Sulfato de Magnésio (US\$/t)	Valor do dólar (reais)	Sulfato de Magnésio (R\$/t)
jan/20	202	4,152	838,704
fev/20	282	4,346	1225,572
mar/20	488	4,894	2388,272
abr/20	387	5,33	2062,71
mai/20	387	5,64	2182,68
jun/20	301	5,203	1566,103
jul/20	301	5,287	1591,387
ago/20	166	5,459	906,194
set/20	131	5,403	707,793
out/20	245	5,632	1379,84
nov/20	133	5,422	721,126
dez/20	278	5,142	1429,476
MÉDIA ANUAL (reais/ton)			1.416,65
IMPORTAÇÃO ANUAL (ton)			4.102
Total GASTO (milhões de reais)			5,81

Fonte: Elaboração própria, utilizando dados de GLOBALFERT (2021).