



DISSERTAÇÃO DE MESTRADO - PPGESA

**ELABORAÇÃO DE BANCO DE DADOS DAS ESTAÇÕES DE
TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO IMPLANTADAS NA
RMB PARA FINS DE PLANEJAMENTO E OPERAÇÃO
ENVOLVENDO FASE LÍQUIDA, SÓLIDA E GASOSA**

**ENG° MAURILO ANDRÉ DA C. ASSUNÇÃO
ORIENTADOR PROF.DR NEYSON MARTINS MENDONÇA**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**

BELÉM (2022)





**ELABORAÇÃO DE BANCO DE DADOS DAS ETE'S DE ESGOTO SANITÁRIO
NA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM PARA FINS DE PLANEJAMENTO E
OPERAÇÃO ENVOLVENDO FASE LÍQUIDA, SÓLIDA E GASOSA.**

MAURILO ANDRÉ DA CUNHA ASSUNÇÃO

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL – MESTRADO PROFISSIONAL (PPGESA/ITEC) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL.

Examinada por:

Prof. Dr. Neyson M. Mendonça
(PPGESA/ITEC/UFPA - Orientador)

Prof. Dr. André Luiz da Silva Salgado Coelho
(PPGESA/ITEC/UFPA – Membro)

Prof. Dr. Arnaldo Sarti
(UNESP Araraquara – Membro)

BELÉM, PA

DEZEMBRO de 2022



Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a)
autor(a)

A851e ASSUNÇÃO, MAURILO ANDRÉ DA CUNHA.
Elaboração de banco de dados das ETE's de esgoto
sanitário na Região Metropolitana de Belém para fins de
planejamento e operação envolvendo fase líquida, sólida e
gasosa / MAURILO ANDRÉ DA CUNHA ASSUNÇÃO. —
2022.
84 f. : il.

Orientador(a): Prof. Dr. Neyson Martins Mendonça
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará,
Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Sanitária e Ambiental, Belém, 2022.

1. Banco de dados de ETE's. 2. subprotudo sólido.
3. metano. 4. carga orgânica. 5. energia química
disponível. I. Título.

CDD 620



RESUMO

O presente trabalho técnico consistiu na elaboração de banco de dados das estações de tratamento de esgoto (ETE's) sanitário da região metropolitana de Belém (RMB) para fins de planejamento e operação envolvendo às fases líquida, sólida e gasosa, para remoção de matéria carbonácea. Tal estudo abrange apenas os municípios de Ananindeua, Belém e Marituba, que em 2019 tinham sistemas de esgotamento sanitário (SES) do tipo centralizado (SES-C~33,35%) e descentralizado (SES-D~5,45%) envolvendo 23 ETE's e cujas etapas experimentais deste trabalho foram: 1) registro fotográfico da área ocupada pelas ETE's; 2) sistematização das informações básicas das ETE's; 3) quantificação da geração de subproduto sólido do tratamento preliminar; 4) balanço de cargas orgânicas em reatores UASB; 5) quantificação da produção e higienização de lodo dos reatores UASB; 6) quantificação potencial da geração de energia elétrica (EE) e emissão de metano dos reatores UASB. Assim, entre os principais resultados obtidos nesse trabalho, se obteve que a distribuição espacial foi de 5,0 ETE's (21,74%) em Ananindeua, 17 ETE's (73,91%) em Belém, e 1,0 ETE (4,35%) em Marituba, as quais tratando vazão média de projeto de 1.089 L/s (PE de 765.783 habitantes) vão gerar no tratamento preliminar cerca de 840,17 kg_{SSG}/d, 3548,2 kg_{areia}/d e de 29,53 kg_{escuma} /dia, e que quando os reatores UASB tiverem eficiência média de 65% e operarem sob carga orgânica total de 4.193 kg_{DQO}/d, em esses vão produzir 572,8 kg_{lodo}/d com potencial de higienizar por caleação química 3.062 kg_{biosólido}/d, tendo para essa situação de tratamento a geração de energia química disponível e de emissão de metano dos reatores UASB, respectivamente, de 584,33 kWh/d de EQD e 387,67 TCO₂/d mediante a produção normalizada de metano total de 59 Nm³/d PNCH₄, sendo verificado que as ETE's do SES-C em comparação com as ETE's do SES-D são as que tem maior possibilidade de aproveitamento dessa energia como fonte de calor.

Palavras-Chave Banco de dados de ETE's, subprotudo sólido, metano, carga orgânica, e energia química disponível



ABSTRACT

The present technical work consisted in the elaboration of a data bank of the wastewater treatment plant (WWTP's) of the metropolitan region of Belém (RMB) for planning and operation purposes involving the liquid, solid and gaseous phases, for the removal of carbonaceous matter. Such a study covers only the municipalities of Ananindeua, Belém and Marituba, which in 2019 have sanitary sewage systems (SES) of the centralized (SES-C~33.35%) and decentralized (SES-D~5.45%) types involving 23 WWTP's and whose experimental stages of this work are: 1) photographic record of the area occupied by the ETE's; 2) systematization of the basic information of the WWTP's; 3) quantification of the generation of solid by-product of the preliminary treatment; 4) balance of organic loads in UASB reactors; 5) quantification of production and sanitation of sludge in UASB reactors; 6) Potential quantification of electric power generation (EE) and methane emission from UASB reactors. Likewise, among the main results obtained in this work, it was obtained that the spatial distribution was 5.0 WWTP's (21.74%) in Ananindeua, 17 WWTP's (73.91%) in Belém, and 1.0 WWTP's (4, 35%) in Marituba, which is treating the project's average volume of 1,089 L/s (PE of 765,783 inhabitants) will generate in preliminary treatment about 840.17 kgSSG/d, 3548.2 kgareia/d and 29.53 kgscuma / day, and that when the UASB reactors have an average efficiency of 65% and will operate with a total organic load of 4,193 kgCOD/d, they will produce 572.8 kg_{sludge}/d with the potential to sanitize 3,062 kg_{biosolids}/d by alkaline stabilization, tending to this situation of treatment to the generation of available chemical energy and methane emission two UASB reactors, respectively, of 584.33 kWh/d of EQD and 387.67 TCO₂/d through the normalized production of total methane of 59 Nm³/d PNCH₄, being verified that the WWTP's of SES-C in comparison with the WWTP's of SES-D are the ones with the greatest possibility of using this energy as a source of heat.

Key words: Data bank, WWTP's, solid by-product, methane, organic load, and available chemical energy

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|----|--|----|
| 1 | | |
| 2 | Figura 1. Localização das ETE's nos municípios de Ananindeua, Belém e Marituba de | |
| 3 | SES-C e SES-D. | 16 |
| 4 | Figura 2. Fluxograma 01 de ETE's SES-D com tratamento preliminar (fase sólida) + | |
| 5 | tratamento secundário (fase líquida) e tratamento do lodo (fase sólida)..... | 19 |
| 6 | Figura 3. Fluxograma 02 de ETE's SES-D com tratamento preliminar (fase sólida) + | |
| 7 | tratamento secundário (fase líquida) e tratamento do lodo (fase sólida)..... | 20 |
| 8 | Figura 4. Fluxograma 03 de ETE's SES-C com tratamento preliminar (fase sólida) + | |
| 9 | emissário subfluvial + sistema de monitoramento integrado..... | 21 |
| 10 | Figura 5. Fluxograma 04 de ETE's SES-C com tratamento preliminar (fase sólida) + | |
| 11 | tratamento secundário (fase líquida) e tratamento do lodo (fase sólida)..... | 22 |
| 12 | Figura 6. Fluxograma 05 de ETE's SES-C com tratamento preliminar (fase sólida) + | |
| 13 | tratamento secundário (fase líquida) e tratamento do lodo (fase sólida)..... | 23 |
| 14 | Figura 7. Fluxograma 06 de ETE's SES-C com tratamento preliminar (fase sólida) + | |
| 15 | tratamento secundário (fase líquida) e tratamento do lodo (fase sólida)..... | 24 |
| 16 | Figura 8. Estrutura dos principais tópicos do banco de dados de planejamento e a | |
| 17 | operação das ETE's RMB nos municípios de Ananindeua, Belém e Marituba de | |
| 18 | SES-C e SES-D. | 27 |
| 19 | Figura 9. Template do banco de dados de planejamento e a operação das ETE's RMB | |
| 20 | nos municípios de Ananindeua, Belém e Marituba de SES-C e SES-D. | 28 |
| 21 | Figura 10. Box-plot potencial da geração de sólidos grosseiros (a), areia (b) e espuma | |
| 22 | (c) para ETE's do SES-C e ETE's do SES-D. | 34 |
| 23 | Figura 11. Gráficos de setores para balanço de cargas orgânicas (a, b e c) e balanço de | |
| 24 | DQO (d, e e f) em reatores UASB para ETE'S RMB..... | 38 |
| 25 | Figura 12. Box-plot do balanço de cargas orgânicas para ETE's do SES-C (a, b e c) e | |
| 26 | ETE's do SES-D (d, e e f). | 39 |
| 27 | Figura 13. Box-plot da produção de lodo total nas ETE's da RMB (a e b). | 45 |
| 28 | Figura 14. Box-plot da produção de lodo nas ETE's do SES-C (a e b) e ETE's do SES- | |
| 29 | D (c e d). | 45 |
| 30 | Figura 15. Box-plot das variáveis envolvidas na higienização de lodo nas ETE's da RMB | |
| 31 | para os cenários de investigação..... | 46 |
| 32 | Figura 16. Box-plot potencial da PNCH4 (a), TCO2(b), PNB (c) e EQD (d) para ETE's do | |
| 33 | SES-C e ETE's do SES-D..... | 50 |
| 34 | Figura 17. ETE SIDERAL – SES (C)..... | 57 |



| | | |
|----|--|----|
| 35 | Figura 18. ETE COQUEIRO – SES(C)..... | 58 |
| 36 | Figura 19. ETE RUA DA MATA – SES(C)..... | 59 |
| 37 | Figura 20. ETE TAVARES BASTOS – SES(C)..... | 60 |
| 38 | Figura 21. ETE BENGUI – SES(C)..... | 61 |
| 39 | Figura 22. ETE VILA DA BARCA - SES(D)..... | 62 |
| 40 | Figura 23. ETE PORTO TERMINAL HIDROVIÁRIO – SES(D)..... | 63 |
| 41 | Figura 24. ETE FÉ EM DEUS – SES(D)..... | 64 |
| 42 | Figura 25. ETE UNA – SES(C)..... | 65 |
| 43 | Figura 26. ETE VILA MOSQUEIRO – SES(C)..... | 66 |
| 44 | Figura 27. ETE AEROPORTO ILHA DE MOSQUEIRO..... | 67 |
| 45 | Figura 28. ETE PRATINHA – SES(D)..... | 68 |
| 46 | Figura 29. ETE ILHA DE OUTEIRO – SES(D)..... | 69 |
| 47 | Figura 30. ETE VIVER PRIMAVERA – SES(C)..... | 70 |
| 48 | Figura 31. ETE VIVER MARICÁ – SES(D)..... | 71 |
| 49 | Figura 32. ETE RESIDENCIAL QUINTA DOS PARICÁS – SES(D)..... | 72 |
| 50 | Figura 33. ETE RESIDENCIAL JK – SES(D)..... | 73 |
| 51 | Figura 34. ETE RESIDENCIAL ULISSES GUIMARÃES – SES(D)..... | 74 |
| 52 | Figura 35. ETE AURÁ – SES(D)..... | 75 |
| 53 | Figura 36. ETE NOVO CRISTO – SES(D)..... | 76 |
| 54 | Figura 37. ETE RIO MAGUARI AÇU – SES(D)..... | 77 |
| 55 | Figura 38. ETE VIVER MELHOR – SES(D)..... | 78 |
| 56 | Figura 39. ETE BERNARDO SAYÃO – SES(C)..... | 79 |
| 57 | | |
| 58 | | |
| 59 | | |
| 60 | | |
| 61 | | |
| 62 | | |
| 63 | | |
| 64 | | |
| 65 | | |
| 66 | | |
| 67 | | |
| 68 | | |
| 69 | | |
| 70 | | |
| 71 | | |
| 72 | | |
| 73 | | |
| 74 | | |
| 75 | | |



76

LISTA DE TABELAS

| | | |
|-----|--|----|
| 77 | Tabela 1: Principais características das ETE's da RMB em termos de vazão, tratamento preliminar, unidades de processo de tratamento para remoção de matéria orgânica, tratamento do lodo e tratamento do biogás. | 17 |
| 78 | | |
| 79 | | |
| 80 | Tabela 2: Variáveis empregadas para estimativa do potencial da geração de energia e da emissão do metano das ETE's. | 29 |
| 81 | | |
| 82 | Tabela 3: Equações para balanço de cargas orgânicas em reatores UASB das ETE's da RMB. | 31 |
| 83 | | |
| 84 | Tabela 4: Equações para estimativa da produção e higienização de lodo em reatores UASB das ETE's. | 32 |
| 85 | | |
| 86 | Tabela 5: Equações para estimativa do potencial da geração de energia e da emissão metano das ETE's. | 33 |
| 87 | | |
| 88 | Tabela 6. Resumo do estatístico descritivo dos subprodutos sólidos do tratamento preliminar das ETE's na RMB. | 35 |
| 89 | | |
| 90 | Tabela 7. Resumo do intervalo de confiança (IC) para subprodutos sólidos do tratamento preliminar das ETE's da RMB. | 37 |
| 91 | | |
| 92 | Tabela 8: Resumo do estatístico descritivo das cargas orgânicas nas ETE's na RMB. | 40 |
| 93 | Tabela 9: Resumo do estatístico descritivo das cargas orgânicas nas ETE's na RMB. | 41 |
| 94 | Tabela 10. Resumo do intervalo de confiança (IC) para cargas orgânicas das ETE's da RMB. | 44 |
| 95 | | |
| 96 | Tabela 11: Resumo do estatístico descritivo da produção de lodo nas ETE's na RMB | 45 |
| 97 | Tabela 12: Resumo do estatístico descritivo da higienização de lodo nas ETE's na RMB. | 47 |
| 98 | | |
| 99 | Tabela 13. Resumo do intervalo de confiança (IC) para produção de lodo e a higienização das ETE's da RMB. | 49 |
| 100 | | |
| 101 | Tabela 14: Resumo do estatístico descritivo da PNCH ₄ , TCO ₂ , PNB e EQD nas ETE's na RMB. | 51 |
| 102 | | |
| 103 | Tabela 15. Resumo do intervalo de confiança (IC) para PNCH ₄ , TCO ₂ , PNB, e EQD das ETE's da RMB. | 53 |
| 104 | | |
| 105 | Tabela 16. Resumo do intervalo de confiança (IC) para PNCH ₄ , TCO ₂ , PNB, e EQD das ETE's da RMB. | 53 |
| 106 | | |

107

108

109



LISTA DE SIGLAS

- 110
- 111 RMB – Região Metropolitana de Belém
- 112 PPGESA – Programa de pós – graduação em engenharia sanitária e ambiental
- 113 ITEC – Instituto de tecnologia
- 114 UFPA – Universidade federal do Pará
- 115 UNESP – Universidade estadual paulista
- 116 ETE - estação de tratamento de esgoto
- 117 km² - Quilômetros ao quadrado
- 118 hab./km² - Habitantes por quilômetros ao quadrado
- 119 IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e estatística
- 120 SES – sistema de esgotamento sanitário
- 121 SES/C – sistema de esgotamento sanitário centralizado
- 122 SES/D – sistema de esgotamento sanitário descentralizado
- 123 UASB - Upflow Anaerobic Sludge Blanket
- 124 EE – Energia elétrica
- 125 Key words – palavras chave
- 126 DQO – Demanda química de oxigênio
- 127 IC – intervalo de confiança
- 128 PLANASA – plano nacional de saneamento
- 129 SNIS – serviço nacional de informações sobre saneamento
- 130 Prosab – programa de saneamento básico
- 131 Cosanpa – Companhia de Saneamento do Pará
- 132 GM - grade média manual
- 133 PRC - peneira rotativa de canal
- 134 DHCD - caixa de areia de fluxo horizontal de câmara dupla
- 135 MQP - medidor de vazão Parshall
- 136 PE – peneira estática
- 137 DA - caixa de areia aerada de fluxo vertical
- 138 PRFI - peneira rotativa de fluxo interno
- 139 UASB - reator anaeróbio de manta de lodo
- 140 UASB+LAC - reator anaeróbio de manta de lodo + lodo ativado convencional
- 141 UASB+FAD - reator anaeróbio de manta de lodo + flotação por ar dissolvido



- 142 UASB+FAD - reator anaeróbio de manta de lodo + lagoa de polimento
- 143 UASB+BAS - reator anaeróbio de manta de lodo + biofiltro aerado submerso.
- 144 LSC – leito de secagem coberto
- 145 HQ – higienização química
- 146 DC – decanter centrífuga
- 147 NTU – Não tem unidade implantada
- 148 PNCH4 – produção normalizada de metano
- 149 TCO2 – taxa equivalente de gás carbono
- 150 PNB – produção normalizada de bio gás
- 151 EQD – energia química disponível
- 152 FIOCRUZ – Fundação Oswaldo Cruz
- 153 FADESP – fundação de amparo e desenvolvimento da pesquisa
- 154 UCP –
- 155 PROMABEM – programa de macrodrenagem da bacia da estrada nova
- 156 TCC – trabalho técnico de conclusão de curso
- 157 FAESA – Faculdade de engenharia sanitária e ambiental
- 158 CH4 – metano
- 159 ST – sólidos totais
- 160 BHEN – bacia hidrográfica da estrada nova
- 161 NBR – norma brasileira
- 162 ABNT – associação brasileira de normas técnicas
- 163 Mm – milímetros
- 164 L/S – litros por segundo
- 165 P_{SSGG} - produção de sólido grosseiro pelo gradeamento
- 166 X_{SSG} - volume de sólido grosseiro por m^3 de esgoto
- 167 FS - fator de segurança $Q_{méd}$ -vazão média de esgoto tratado
- 168 P_{SSGP} - produção de sólido grosseiro pelo peneiramento
- 169 X_{SSGP} -volume de sólido grosseiro por m^3 de esgoto
- 170 $Q_{méd}$ - vazão média de esgoto tratado
- 171 FS -fator de segurança
- 172 F_{SSD} - Fator de segurança - desarenador
- 173 P_{SSD} -produção de areia



- 174 X_D : volume de areia por m^3 de esgoto
- 175 $Q_{méd}$: vazão média de esgoto tratado
- 176 P_E : produção de espuma
- 177 Y_e : Coeficiente de produção de espuma
- 178 CO_a : carga média de DQO aplicada na ETE
- 179 DQO_r =massa diária de DQO removida
- 180 Pop = população contribuinte (hab.)
- 181 Q_{PC} = contribuição per capita
- 182 C_{DQO_t} =concentração de DQO total afluente
- 183 E_{DQO} = eficiência de remoção de DQO
- 184 CONAMA – conselho nacional de meio ambiente
- 185 Ton – tonelada
- 186 SO_4^{2-} _ sulfato
- 187 BRS – bactérias redutoras de sulfato
- 188 mg/L – miligrama por litro
- 189 AIQ – amplitude interquantil
- 190 IPVL – indicador de produtividade volumétrica de lodo
- 191 Rev.- revisão
- 192
- 193
- 194
- 195
- 196
- 197
- 198
- 199
- 200
- 201
- 202
- 203
- 204
- 205
- 206
- 207



208
209
210
211
212
213
214
215
216
217
218
219
220
221
222
223
224
225
226
227
228
229
230
231
232
233
234
235

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| RESUMO | 4 |
| ABSTRACT | 5 |
| 1.CONTEXTO E JUSTIFICATIVA | 13 |
| 2. OBJETIVOS | 15 |
| 3.DELINEAMENTO EXPERIMENTAL | 16 |
| 3.1.ÁREA DE ESTUDO | 16 |
| 3.2.DESCRICÃO DAS PRINCIPAIS UNIDADES DAS ETE'S DA RMB..... | 17 |
| 3.3.INVESTIGAÇÃO EXPERIMENTAL | 25 |
| 3.3.1.FIXAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE CONTORNO PARA TRATAMENTO PRELIMINAR E SECUNDÁRIO | 29 |
| 3.3.2.PRODUÇÃO DE SÓLIDOS GROSSEIROS, AREIA E ESCUMA | 29 |
| 3.3.3. BALANÇO DE CARGAS ORGÂNICAS EM REATORES UASB | 31 |
| 3.3.4. ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO E HIGIENIZAÇÃO DE LODO EM REATORES UASB | 32 |
| 3.3.5. DETERMINAÇÃO DO POTENCIAL DA GERAÇÃO DE EE E EMISSÃO DE METANO EM REATORES UASB | 33 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES | 34 |
| 4.1. PRODUÇÃO DE SÓLIDOS GROSSEIROS, AREIA E ESCUMA | 34 |
| 4.2. BALANÇO DE CARGAS ORGÂNICAS EM REATORES UASB | 37 |
| 4.3. ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO E HIGIENIZAÇÃO DE LODO EM REATORES UASB | 45 |
| 4.4. POTENCIAL DA GERAÇÃO DE EE E EMISSÃO DE METANO EM REATORES UASB | 50 |
| 5. CONCLUSÕES | 54 |
| 6. ANEXOS | 57 |
| 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 80 |

236 1.CONTEXTO E JUSTIFICATIVA

237 Historicamente, o Brasil sofre com o problema do crescimento urbano desordenado,
238 tanto nos grandes centros mais desenvolvidos, como nas localidades de menor porte. Há
239 dificuldade de criação de infraestrutura ao passo que vias e loteamentos avançam rumo a
240 periferias e áreas de expansão. A consequência disso é a precariedade em serviços
241 básicos como água e esgoto. Houve então a necessidade de centralizar os sistemas
242 públicos de saneamento por meio de empresas públicas no setor.

243 A centralização das empresas estaduais de saneamento na prestação dos serviços
244 de saneamento no Brasil teve sua origem com a implementação do Planasa pelo governo
245 militar, em 1971. Geridas pelos respectivos executivos estaduais, elas atuariam por quase
246 duas décadas segundo as diretrizes impostas pela União para o setor. Segundo os autores,
247 os municípios foram alijados desse processo e assim permaneceram mesmo após a
248 revogação do plano (1991), relegados a um papel passivo até a edição da nova Lei do
249 Saneamento, em 2007 (Fiocruz, 2016).

250 A nível nacional, o PLANASA incrementou os índices de saneamento do ponto de
251 vista de abastecimento de água. Porém, não houve satisfatório incremento em sistemas de
252 coleta e tratamento de esgotamento sanitário. Segundo o SNIS, dados atualizados para
253 2020, apenas 55,8% da população tem rede de esgoto e de todo esgoto gerado no país,
254 somente 50,8% possuem tratamento. Ainda segundo o SNIS, o estado do Pará conta com
255 10,7% de atendimento urbano com rede de esgoto, e 10% de esgoto gerados tratados no
256 estado tem seu descarte realizado em rios e córregos.

257 Já a nível local, dos municípios que compõem a Região Metropolitana de Belém
258 (RMB), figurando com os piores índices no ranking do saneamento, divulgado pelo instituto
259 Trata Brasil, o município de Ananindeua possui 43,96% de seu esgoto manejado de forma
260 adequada, por meio de sistemas centralizados de coleta e tratamento ou de soluções
261 individuais. Do restante, 11,3% é coletado, mas não é tratado e 44,74% não é tratado nem
262 coletado (SNIS, 2019).

263 Em Belém, capital do Estado do Pará. Estima-se que na cidade apenas 13% da
264 população da capital recebe atendimento de coleta de esgoto, enquanto 0,8% dos esgotos
265 de Belém são tratados (Trata Brasil, 2019).

266 Em seu Plano Municipal de Saneamento, o município de Marituba contabiliza
267 somente 44% de coleta de esgoto, porém, não possui sistema de tratamento público. Santa
268 Barbara conta com 0,6% de coleta de esgoto. E Santa Isabel consta nas bases oficiais
269 como sem coleta e sem tratamento público dos esgotos gerados. (SNIS, 2019).



270 A baixa malha de infraestrutura em saneamento acarreta deterioração dos recursos
271 hídricos disponíveis. Pois muitas das vezes os efluentes gerados são despejados nas
272 águas subterrâneas e superficiais.

273 Uma solução para a preservação dessas águas é o investimento em saneamento e
274 no tratamento do esgoto sanitário, que é realizado por meio de estações de tratamento de
275 esgoto que reproduzem, em um menor espaço e tempo, a capacidade de autodepuração
276 dos cursos d'água (Prosab, 2006). Entretanto, além da insuficiente infraestrutura de
277 saneamento em toda RMB, há também a inexistência de informações consolidadas em um
278 banco de dados gerados a partir do monitoramento das ETE's públicas nestes municípios.

279 A ausência de um banco de dados que contemple informações que caracterizem
280 estas ETE's, tanto em termos de vazão, quanto em etapas de tratamento na remoção dos
281 poluentes e contaminantes, assim como na destinação final das fases sólidas, líquida e
282 gasosa, dificulta o gerenciamento dos sistemas de forma individualizada e integrada na
283 RMB. Desse modo, a criação de um banco de dados dará suporte aos planejamentos
284 estratégicos de operação, implantação e ampliação dos sistemas de esgotamento sanitário
285 estudados, visto se ter ausência dessas informações nos planos municipais de saneamento
286 da RMB.

287

288

289

290

291

292

293

294

295

296

297

298

299

300

301

302

303

304



305

306 **2. OBJETIVOS**

307 **Principal:**

308 O objetivo do presente estudo é realizar a elaboração de banco de dados das
309 estações de tratamento de esgoto sanitário na RMB para fins de planejamento e operação
310 envolvendo fase líquida, sólida e gasosa.

311 **Específicos:**

- 312 • Estruturação e organização do resumo executivo em seis grupos principais: 1)
313 registro fotográfico da área ocupada pela ETE, 2) informações básicas; 3) geração
314 de subproduto sólido do tratamento preliminar, 4) balanço de cargas orgânicas em
315 reatores UASB, 5) produção e higienização de lodo em reatores UASB e 6) potencial
316 da geração de EE e emissão de metano em reatores UASB;
- 317 • Elaboração dos principais fluxogramas das ETE's da (RMB) que integram o SES-C
318 e o SES-D.

319

320

321

322

323

324

325

326

327

328

329

330

331

332

333

334

335

336

337

338

339

340 **3.DELINEAMENTO EXPERIMENTAL**

341 **3.1.Área de estudo**

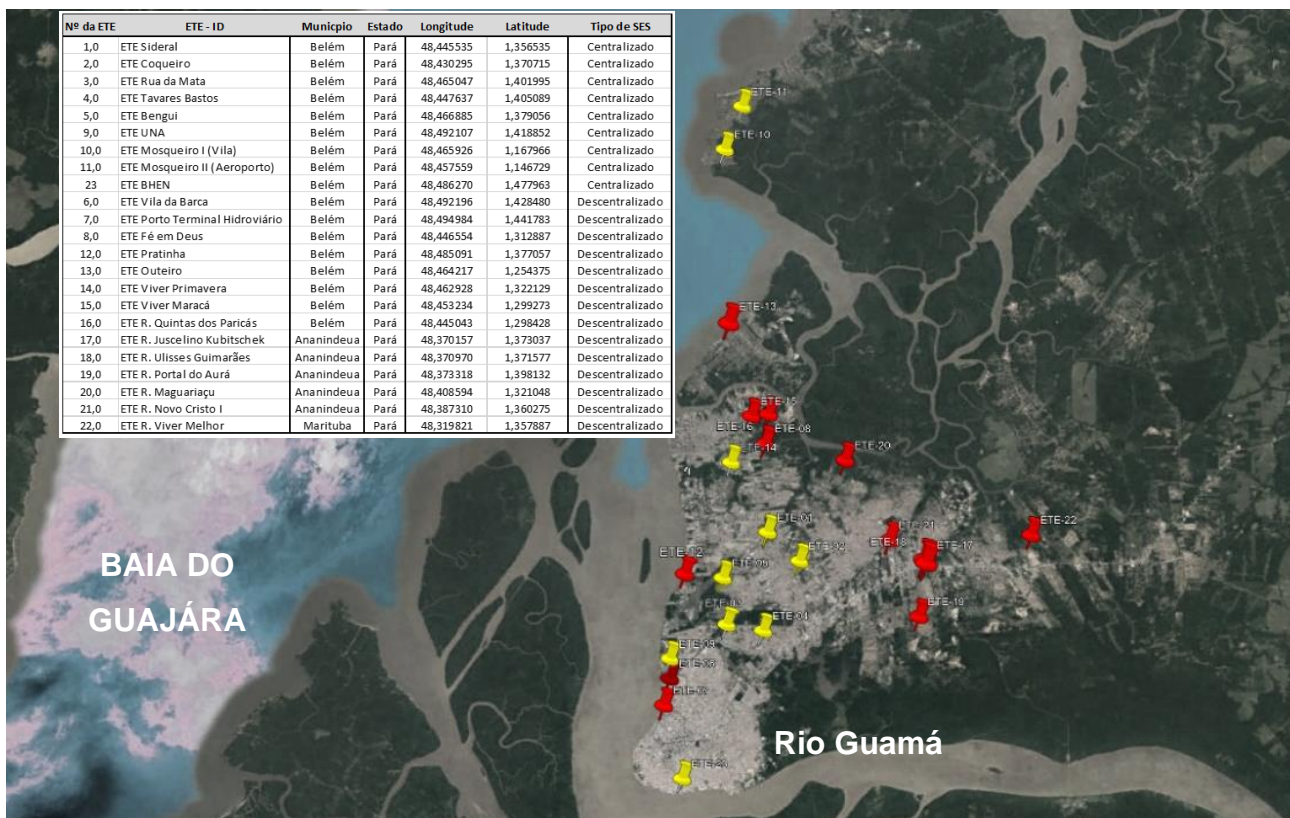
342 A área de estudo envolve os municípios de Ananindeua, Belém e Marituba que
 343 integram a região metropolitana de Belém (RMB) cuja área de abrangência desses é de
 344 1.353,261 km², e na qual residem aproximadamente 1.973.625 habitantes, resultando numa
 345 densidade de 1.458,42 hab./km² (IBGE,2019). Em função do desenvolvimento urbano
 346 desses municípios ocorre a presença de sistema de esgotamento sanitário (SES)
 347 centralizados (SES-C~33,35%) e descentralizados (SES-D~5,45%) atendendo população
 348 de 765.783 hab. (Mendonça *et al.* 2019).

349 Os SES-C e os SES-D são constituídos de redes coletoras, coletores-tronco,
 350 interceptores, estações elevatórias, linhas de recalque, estações de tratamento de esgoto
 351 (ETE) e emissários, cuja operação de tais unidades é prestada pela Companhia de
 352 Saneamento do Pará (COSANPA), e que na presente investigação foram levantadas nove
 353 (09) ETE's (centralizadas) e treze (13) ETE's (descentralizadas), cujas localizações podem
 354 ser observadas na Figura 1.

355

356

Figura 1.Localização das ETE's nos municípios de Ananindeua, Belém e Marituba do SES-C e do SES-D.



357

358

359

360

361

362

Nota: 1) SES-C: ETE's em amarelo e SES-D: ETE's em vermelho; 2) A ETE 23 – BHEN é a única entre as 23 que constam na Figura 1 que se encontra em fase de implantação.

363 3.2.Descrição das principais unidades das ETE's da RMB

364 As ETE's do SES-C e do SES-D investigadas no presente trabalho tem distintas
365 configurações cujas características principais envolvem as etapas de tratamento preliminar,
366 processo de tratamento, tratamento do lodo e tratamento do biogás, encontram-se descritas
367 de modo sumarizado na Tabela 1 a seguir:

368

369 **Tabela 1:** Principais características das ETE's da RMB em termos de vazão (média de projeto),
370 tratamento preliminar, unidades de processo de tratamento para remoção de matéria orgânica,
371 tratamento do lodo e tratamento do biogás.

| ETE | Q _{M-P} (L/s) | Tratamento Preliminar | Processo de tratamento | Tratamento de lodo | Tratamento do biogás |
|-------|------------------------|-----------------------|------------------------|--------------------|----------------------|
| ETE01 | 92,36 | GM/PRC/DHCD/MQP | UASB | LSC + HQ | NTU |
| ETE02 | 125,00 | GM/PRC/DHCD/MQP | UASB | LSC + HQ | NTU |
| ETE03 | 106,25 | GM/PE/DA/MQP | UASB + LAC | DC+ HQ | NTU |
| ETE04 | 256,25 | GM/PE/DA/MQP | UASB + FAD | DC+ HQ | NTU |
| ETE05 | 90,28 | GM/DHCD/MQP/PRFI | UASB | LSC+ HQ | NTU |
| ETE09 | 14,24 | GM/DM/PRC/MQP | UASB + FAD | DC+ HQ | NTU |
| ETE10 | 8,68 | PRETRAT/MQP | UASB + LP | DC+ HQ | NTU |
| ETE11 | 20,83 | PRETRAT/MQP | UASB + LP | DC+ HQ | NTU |
| ETE23 | 269,79 | GM/DM/PRC/MQP | UASB | DC+ HQ | NTU |
| ETE06 | 24,31 | GM/PRC/DHCD/MQP | UASB + BAS | LSC+ HQ | NTU |
| ETE07 | 45,14 | GM/PRC/DHCD/MQP | UASB + BAS | LSC+ HQ | NTU |
| ETE08 | 10,07 | GM/PRC/DHCD/MQP | UASB + BAS | LSC+ HQ | NTU |
| ETE12 | 8,68 | GM/PRC/DHCD/MQP | UASB | LSC+ HQ | NTU |
| ETE13 | 26,39 | GM/PRC/DHCD/MQP | UASB + BAS | LSC+ HQ | NTU |
| ETE14 | 7,64 | GM/PRC/DHCD/MQP | UASB + FA | LSC+ HQ | NTU |
| ETE15 | 25,35 | GM/PRC/DHCD/MQP | UASB + BAS | LSC+ HQ | NTU |
| ETE16 | 5,90 | GM/PRC/DHCD/MQP | UASB + BAS | LSC+ HQ | NTU |
| ETE17 | 10,76 | GM/PRC/DHCD/MQP | UASB + BAS | LSC+ HQ | NTU |
| ETE18 | 4,86 | GM/PRC/DHCD/MQP | UASB + BAS | LSC+ HQ | NTU |
| ETE19 | 4,86 | GM/PRC/DHCD/MQP | UASB + BAS | LSC+ HQ | NTU |
| ETE20 | 19,44 | GM/PRC/DHCD/MQP | UASB + BAS | LSC+ HQ | NTU |
| ETE21 | 19,10 | GM/PRC/DHCD/MQP | UASB + BAS | LSC+ HQ | NTU |
| ETE22 | 133,30 | GM/PRC/DHCD/MQP | UASB + BAS | LSC+ HQ | NTU |

372 **Nota:** As siglas utilizadas em cada etapa de tratamento da fase líquida, sólida e gasosa foram as seguintes:

373

374 I) **Tratamento Preliminar:** 1) GM/PRC/DHCD/MQP: grade média manual; peneira rotativa de
375 canal; caixa de areia de fluxo horizontal de câmara dupla; medidor de vazão Parshall; 2)
376 GM/PE/DA/MQP: grade média manual; peneira estática; caixa de areia aerada de fluxo
377 vertical; medidor de vazão Parshall; 3) GM/DHCD/MQP/PRFI: grade média manual; caixa
378 de areia de fluxo horizontal de câmara dupla; medidor de vazão Parshall; peneira rotativa



379 de fluxo interno; 4) PRC / DA/ MQP: Perneira rotativa de canal; caixa de areia aerada de fluxo
380 horizontal/ medidor de vazão Parshall.

381 II) **Processo de tratamento:**1) UASB: reator anaeróbio de manta de lodo; 2) UASB+LAC:
382 reator anaeróbio de manta de lodo + lodo ativado convencional;3) UASB+FAD: reator
383 anaeróbio de manta de lodo + flotação por ar dissolvido; 4) UASB+LP: reator anaeróbio de
384 manta de lodo + lagoa de polimento; 5) UASB+BAS: reator anaeróbio de manta de lodo +
385 biofiltro aerado submerso.

386 III) **Tratamento do lodo:**1) Leito de secagem coberto e higienização química com cal; 2)
387 Decanter centrífuga e higienização química com cal;

388 IV) **Tratamento do biogás:** Não tem unidade implantada para aproveitamento do biogás.

389 A seguir na **Figura 2** até **Figura 7** se podem observar os principais fluxogramas
390 envolvendo as fases líquida, sólida e gasosa para as ETE's que constam na Tabela 1.

391

392

393

394

395

396

397

398

399

400

401

402

403

404

405

406

407

408

409

410

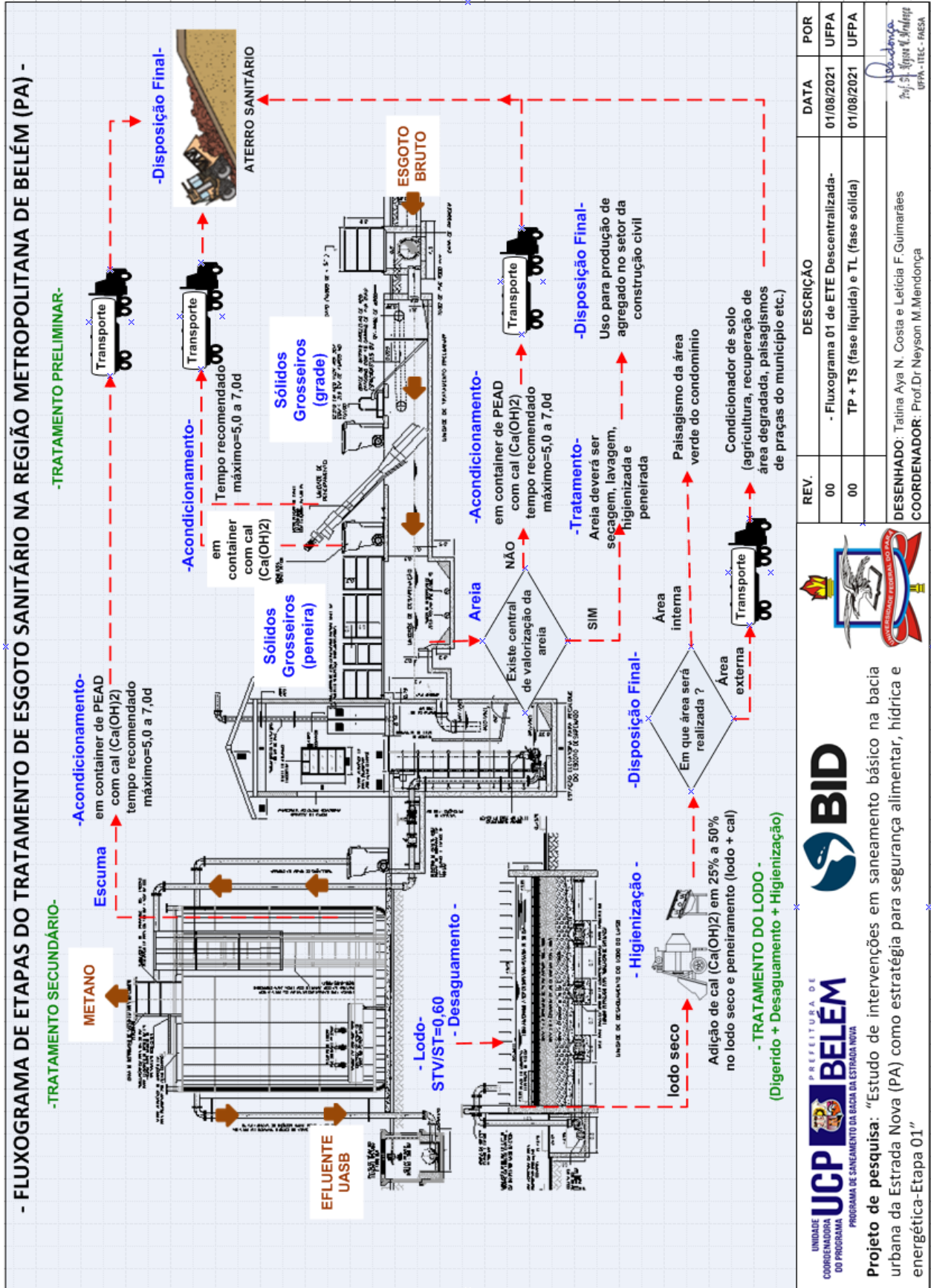
411

412

413

414
415

Figura 2. Fluxograma 01 de ETE's SES-D com tratamento preliminar (fase sólida) + tratamento secundário (fase líquida) e tratamento do lodo (fase sólida).



| REV. | DESCRIÇÃO | DATA | POR |
|------|---|------------|------|
| 00 | - Fluxograma 01 de ETE Descentralizada- | 01/08/2021 | UPFA |
| 00 | TP + TS (fase líquida) e TL (fase sólida) | 01/08/2021 | UPFA |

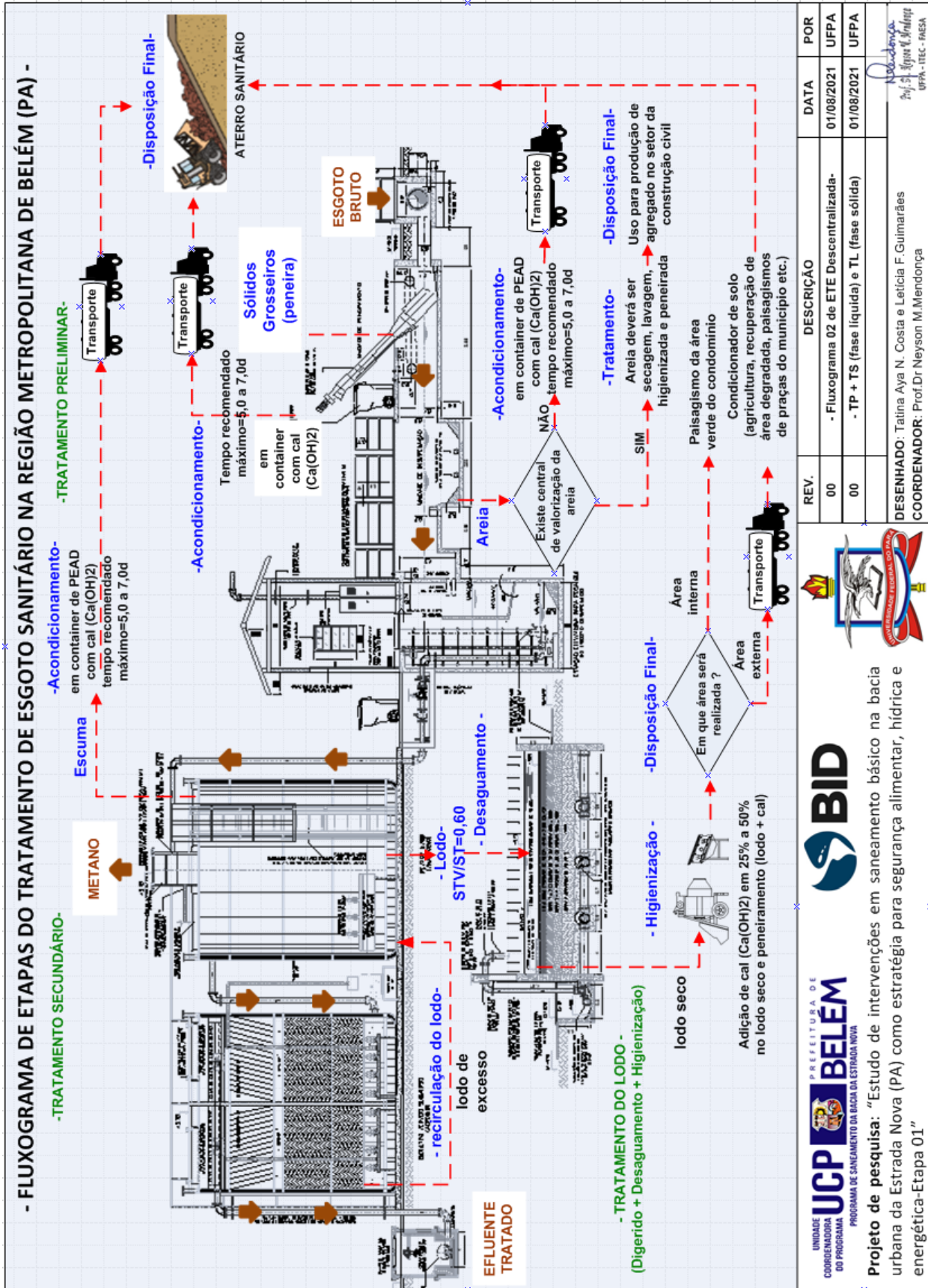
DESENHADO: Tainá Aya N. Costa e Leticia F. Guimarães
COORDENADOR: Prof.Dr Neyson M.Mendonça



Projeto de pesquisa: "Estudo de intervenções em saneamento básico na bacia urbana da Estrada Nova (PA) como estratégia para segurança alimentar, hídrica e energética-Etapa 01"

416
417
418

Figura 3. Fluxograma 02 de ETE's SES-D com tratamento preliminar (fase sólida) + tratamento secundário (fase líquida) e tratamento do lodo (fase sólida).



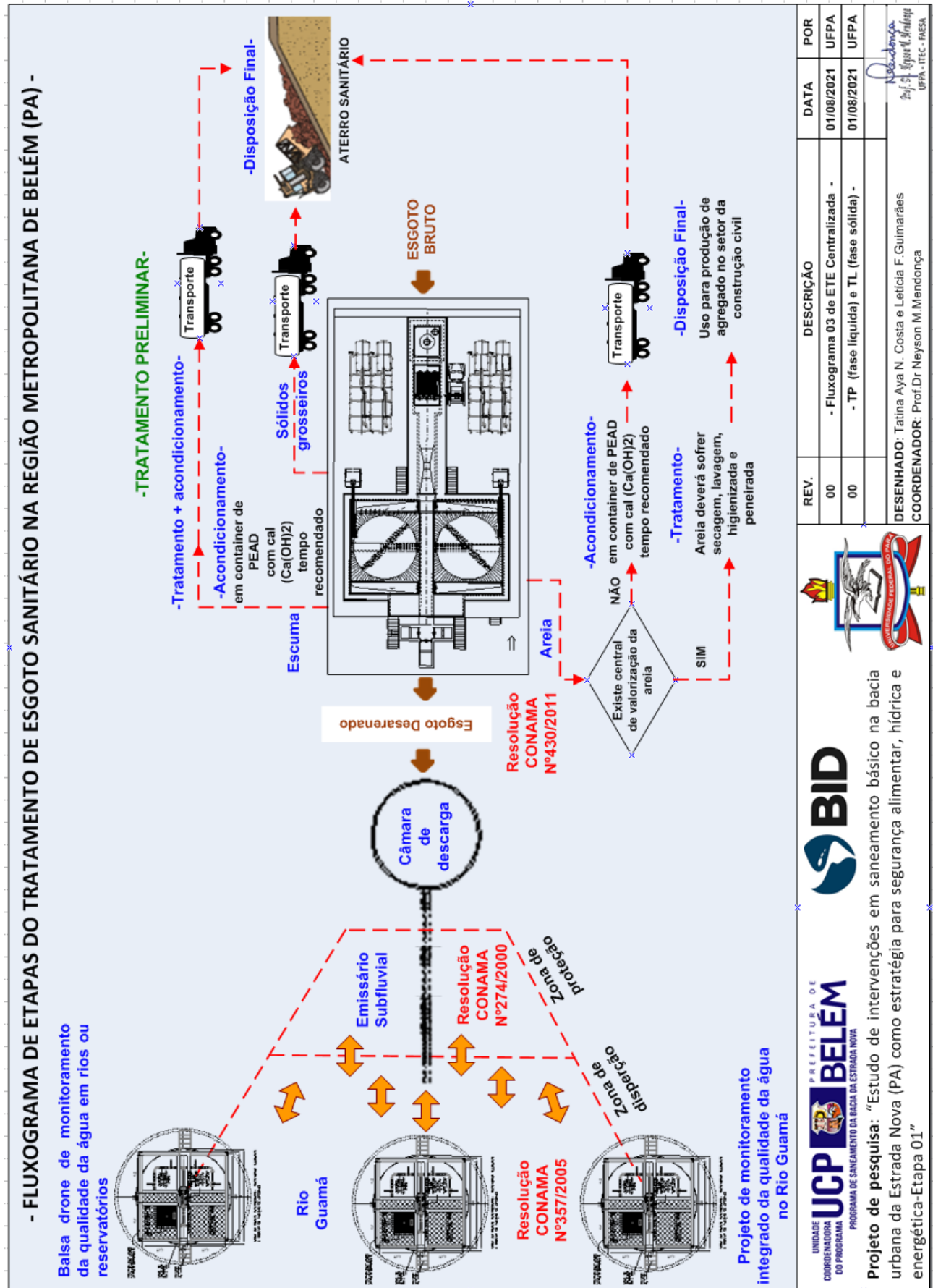
UNIDADE COORDENADORA DO PROGRAMA
UCP BELÉM
 PROGRAMA DE SANEAMENTO DA BACIA DA ESTRADA NOVA

BID

Projeto de pesquisa: "Estudo de intervenções em saneamento básico na bacia urbana da Estrada Nova (PA) como estratégia para segurança alimentar, hídrica e energética-Etapa 01"

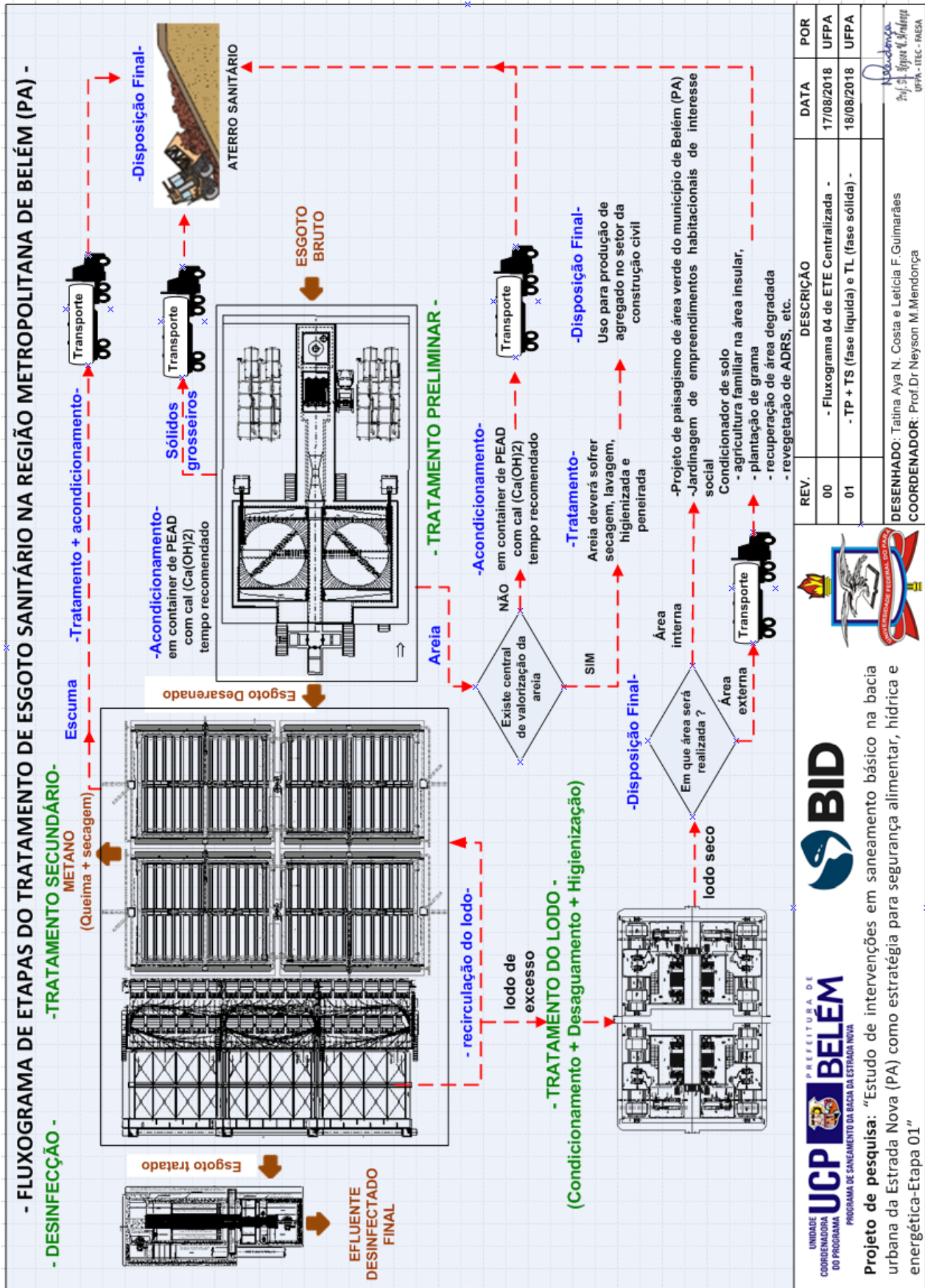
422
423

Figura 4. Fluxograma 03 de ETE's SES-C com tratamento preliminar (fase sólida) + emissário subfluvial+ sistema de monitoramento integrado.



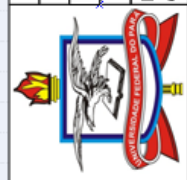
424

Figura 5. Fluxograma 04 de ETE's SES-C com tratamento preliminar (fase sólida) + tratamento secundário (fase líquida) e tratamento do lodo (fase sólida).



| REV. | DESCRIÇÃO | DATA | POR |
|------|---|------------|------|
| 00 | - Fluxograma 04 de ETE Centralizada - | 17/08/2018 | UFPA |
| 01 | - TP + TS (fase líquida) e TL (fase sólida) - | 18/08/2018 | UFPA |

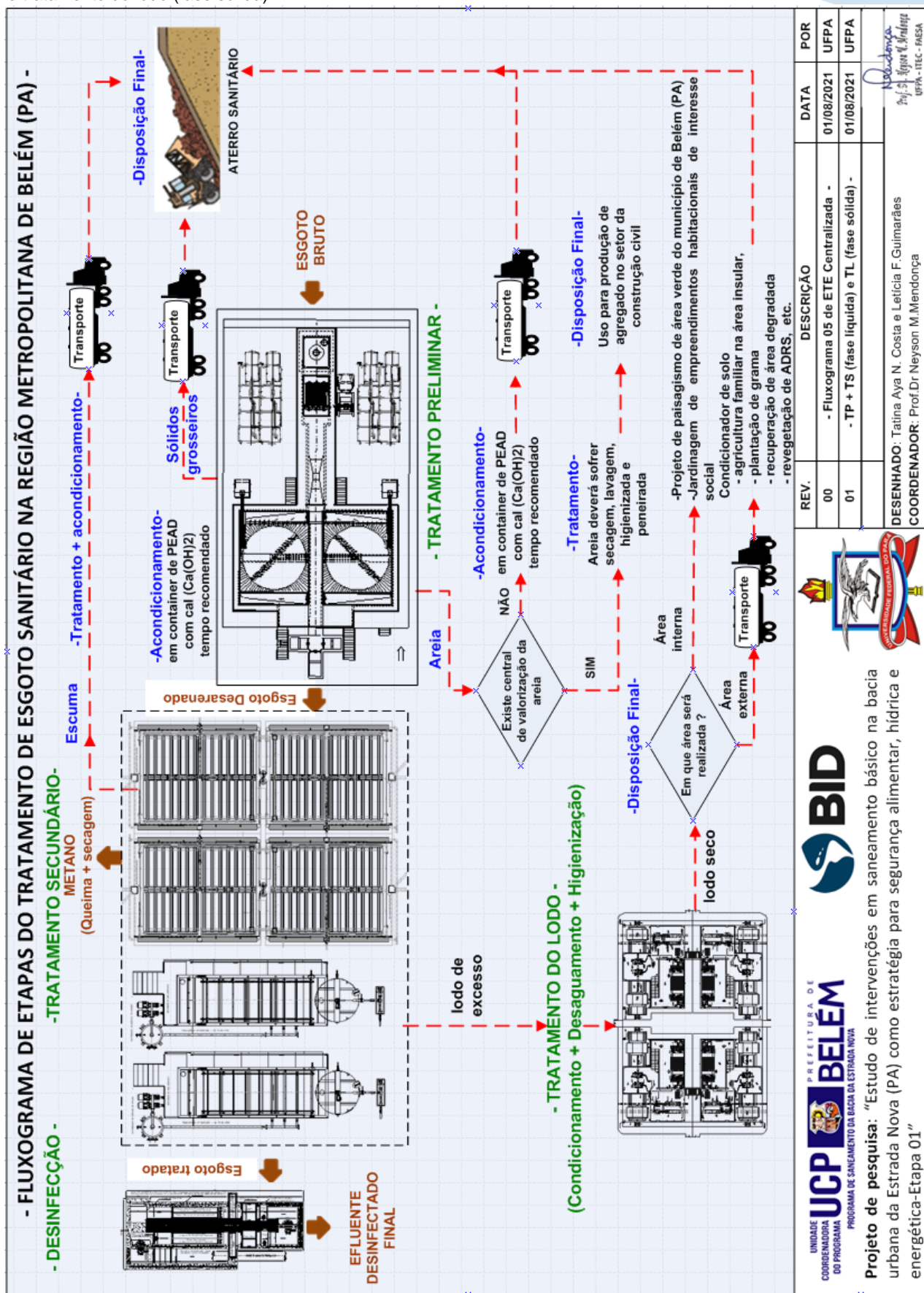
DESENHADO: Tatiana Aya N. Costa e Leticia F. Guimarães
COORDENADOR: Prof. Dr. Neyson M. Mendonça



UNIDADE COORDENADORA DO PROGRAMA
UCP BELEM
PROGRAMA DE SANEAMENTO DA BACIA DA ESTRADA NOVA

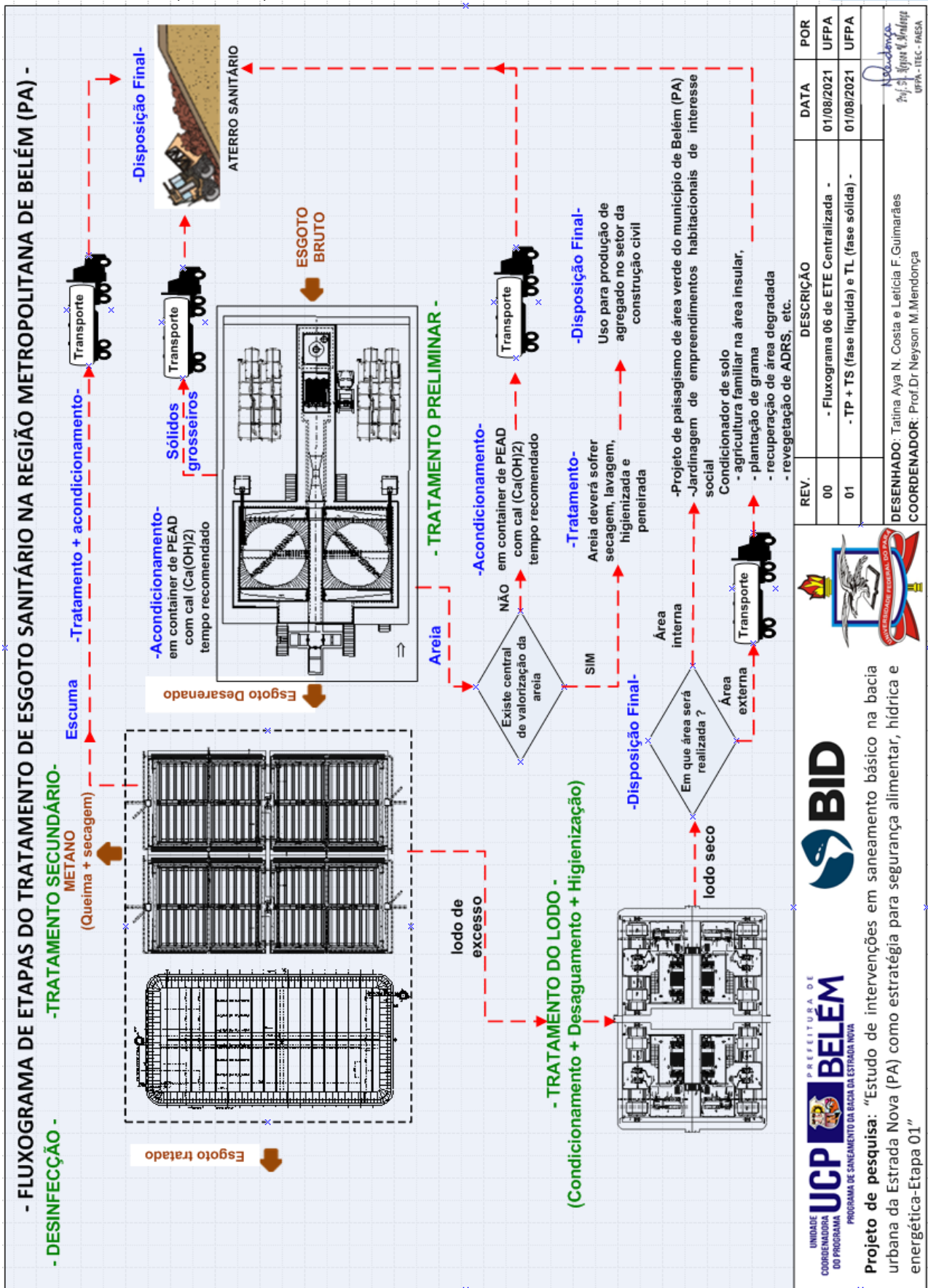
Projeto de pesquisa: "Estudo de intervenções em saneamento básico na bacia urbana da Estrada Nova (PA) como estratégia para segurança alimentar, hídrica e energética-Etapa 01"

Figura 6. Fluxograma 05 de ETE's SES-C com tratamento preliminar (fase sólida) + tratamento secundário (fase líquida) e tratamento do lodo (fase sólida).



431
432

Figura 7. Fluxograma 06 de ETE's SES-C com tratamento preliminar (fase sólida) + tratamento secundário (fase líquida) e tratamento do lodo (fase sólida).



| REV. | DESCRIÇÃO | DATA | POR |
|------|---|------------|------|
| 00 | - Fluxograma 06 de ETE Centralizada - | 01/08/2021 | UFPA |
| 01 | - TP + TS (fase líquida) e TL (fase sólida) - | 01/08/2021 | UFPA |

DESENHADO: Tatiana Aya N. Costa e Letícia F. Guimarães
COORDENADOR: Prof. Dr. Neyson M. Mendonça

Projeto de pesquisa: "Estudo de intervenções em saneamento básico na bacia urbana da Estrada Nova (PA) como estratégia para segurança alimentar, hídrica e energética-Etapa 01"

433
434

435 3.3. Investigação experimental

436 A investigação experimental do banco de dados das ETE's da RMB foi realizada
437 durante o ano de 2019, sendo essa parte integrante do projeto de pesquisa intitulado
438 "Estudo de intervenções em saneamento básico na bacia urbana da estrada nova (PA)
439 como estratégia para segurança alimentar, hídrica e energética", o qual é objeto do
440 convênio de cooperação técnico-científico (Nº Processo: 024679/2018-10) firmado entre a
441 UFPA/FADESP/UCP-PROMABEN.

442 A elaboração do banco de dados das ETE's da RMB se constituiu em um estudo
443 pioneiro na Região Norte, pois visa proporcionar uma visão ampla para fins de
444 planejamento e operação destas unidades de tratamento, com abrangência no tratamento
445 preliminar e na remoção da matéria carbonácea por processo anaeróbio, de modo a se
446 sistematizar as informações nos seguintes itens principais: i) Produção de sólidos
447 grosseiros, areia e espuma; ii) Balanço de cargas orgânicas em reatores UASB; iii)
448 Produção e higienização de lodo em reatores UASB e iv) Potencial da geração de EE e
449 emissão de metano em reatores UASB

450 Assim, o presente estudo foi dividido em duas etapas distintas. A primeira etapa
451 denominada de compilação de dados visou realizar o levantamento, tratamento e
452 preparação da informação para ser utilizada no banco de dados das ETE's da RMB a partir
453 dos trabalhos de conclusão de curso (TCC) desenvolvidos no âmbito do projeto de pesquisa
454 UFPA/FADESP/UCP-PROMABEN sob Coordenação do Prof. Dr. Neyson Martins de
455 Mendonça e discentes da Faculdade de Engenharia Sanitária e Ambiental (FAESA) da
456 UFPA como:

457 1) Guimarães, L. F. (2022) Mapeamento georreferenciado dos subprodutos
458 provenientes do tratamento preliminar das ETE's existentes no SES na região metropolitana
459 de Belém (RMB). 19 pg. Trabalho de Conclusão de Curso. Faculdade de Engenharia
460 Sanitária e Ambiental – Universidade Federal do Pará, Belém (PA);

461 2) Souza Junior, E. V. (2022) Estimativa da remoção de matéria orgânica em reatores
462 UASB's existentes nas ETE's do SES na região metropolitana de Belém (RMB). 31 pg.
463 Trabalho de Conclusão de Curso. Faculdade de Engenharia Sanitária e Ambiental –
464 Universidade Federal do Pará, Belém (PA);

465 3) Costa, T. A. N. (2022) Mapeamento georreferenciado da geração de lodo
466 proveniente de reator UASB existentes nas ETE's do SES na região metropolitana de Belém
467 (RMB). 17 pg. Trabalho de Conclusão de Curso. Faculdade de Engenharia Sanitária e
468 Ambiental – Universidade Federal do Pará, Belém (PA);

469 4) Santos, T. S. N. (2022) Estimativa da geração de energia e emissão de metano
470 produzido nas estações de tratamento de esgotos da região metropolitana de Belém (RMB).
471 15 pg. Trabalho de Conclusão de Curso. Faculdade de Engenharia Sanitária e Ambiental –
472 Universidade Federal do Pará, Belém (PA).

473 A segunda etapa objetivou estruturar a organização do resumo executivo dos 6.831
474 dados relacionados aos cenários de investigação em seis (06) grupos principais a saber
475 que são: 1) registro fotográfico da área ocupada pela ETE, 2) informações básicas; 3)
476 geração de subproduto sólido do tratamento preliminar, 4) balanço de cargas orgânicas em
477 reatores UASB, 5) produção e higienização de lodo em reatores UASB e 6) potencial da
478 geração de EE e emissão de metano em reatores UASB.

479 Tal organização objetivou como resultado final a apresentação de resumo executivo
480 estruturado envolvendo as 23 ETE's da RMB cuja sumarização é descrita a seguir:

- 481 • Registro fotográfico da área ocupada pela ETE: nesse item se tem a vista superior da
482 área ocupada da ETE, de tal maneira a se ter conhecimento sobre o estágio atual do
483 conjunto de operações e de processos unitários que compõe tal unidade de tratamento e o
484 fluxograma realizado para a fase líquida, sólida e gasosa, bem como se ter a organização
485 de álbum temporal digital quanto a etapa de início e/ou final de plano em conformidade a
486 concepção e projeto de engenharia previsto;
- 487 • Informações básicas: nesse item se tem a descrição de aspectos como nome da ETE,
488 numeração da ETE, vazão (projetada e registrada), população (projetada e equivalente),
489 município do Estado do Pará, localização georreferenciada (latitude e longitude), sistema
490 de tratamento de esgoto no qual a ETE se encontra interligada (centralizado ou
491 descentralizado), e para o tratamento preliminar, processo de tratamento, tratamento do
492 lodo e tratamento do biogás quais são as principais unidades que integram esses ;
- 493 • Geração de subproduto sólido do tratamento preliminar: nesse item se pretende
494 mensurar as quantidades de sólidos grosseiros, areia e espuma de modo a essas
495 subsidiarem as etapas de acondicionamento, tratamento e disposição final a ser dada para
496 tais subprodutos sólidos;
- 497 • Balanço de cargas orgânicas em reatores UASB: nesse item se pretende ter
498 conhecimento quanto a degradação ou não da matéria carbonácea nos reatores UASB
499 fracionando a carga DQO afluente em termos dos seguintes componentes principais: carga
500 DQO efluente, carga DQO removida, carga DQO convertida em lodo, carga DQO convertida
501 em CH₄, de maneira a se mensurar como os fluxos de massa se apresentam para um dado
502 período de operação;
- 503 • Potencial da geração de EE e emissão de metano em reatores UASB: nesse item
504 pretende-se conhecer sobre o potencial de geração de energia elétrica a partir do biogás
505 mediante obtenção de informações como a produção normalizada de metano (PNCH₄),
506 taxa de emissão de metano (CO₂ equivalente-TCO₂), produção normalizada de biogás
507 (PNB) e energia química disponível (EQD) e também se ter projeção global quanto à

508 contribuição e o impacto da emissão de metano pelos reatores UASB das ETE's da RMB
 509 em termos de gases de efeito estufa.

510 Na **Figura 8** e na Figura 9 pode-se observar, respectivamente, a estrutura do banco
 511 de dados de planejamento e a operação e o *template* digital de apresentação do banco de
 512 dados de planejamento e a operação das ETE's da RMB.

513 **Figura 8.** Estrutura dos principais tópicos do banco de dados de planejamento e a operação das
 514 ETE's RMB nos municípios de Ananindeua, Belém e Marituba de SES-C e SES-D.
 515



| | A | B | C | D | E | F | G | H | I | W | X | Y | Z |
|-------|---|---|-------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|---------|---------|--------|----------|
| 1 2 | SIGLA | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 0. Premissas estabelecidas e resultados | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 1. Dados de Entrada | | | | | | | | | | | | |
| 35 | 2. Parâmetros analisados | | | | | | | | | | | | |
| 36 | 2.1.0 | Balanco de cargas orgânicas | CO _{2(aq)} | 3.319,70 | 4.492,80 | 3.813,90 | 9.210,20 | 3.244,80 | 511,70 | 174,7 | 698,9 | 686,4 | 4.791,20 |
| 37 | 2.2.1 | Carga DQO afluente (kgDQO/d) | CS _{50x4-2M} | 542,60 | 734,40 | 624,20 | 1.505,50 | 530,40 | 83,60 | 28,6 | 114,2 | 112,2 | 783,2 |
| 38 | 2.2.2 | Carga SO4 afluente (kgSO4/d) | CO _{2(aq)M} | 1.327,90 | 1.797,10 | 1.527,60 | 3.684,10 | 1.297,90 | 204,70 | 69,9 | 279,6 | 274,6 | 1.916,50 |
| 39 | 2.2.3 | Carga DQO efluente (kgDQO/d) | CO _{2(aq)M} | 1.991,80 | 2.695,70 | 2.291,30 | 5.526,10 | 1.946,90 | 307,00 | 104,8 | 419,3 | 411,8 | 2.874,70 |
| 40 | 2.2.4 | Carga DQO removida (kgDQO/d) | CO _{50x4-2M} | 289,80 | 391,90 | 393,10 | 803,30 | 283,00 | 44,60 | 15,2 | 61 | 59,9 | 417,9 |
| 41 | 2.2.5 | Carga DQO utilizada na redução do SO4 (kgDQO/d) | CO _{2(aq)M} | 424,30 | 574,20 | 488,10 | 1.177,10 | 414,70 | 65,40 | 22,3 | 89,3 | 87,7 | 612,3 |
| 42 | 2.2.6 | Carga DQO convertida em lodo (kgDQO-lodo/d) | CO _{2(aq)M} | 1.278,00 | 1.729,60 | 1.470,20 | 3.545,70 | 1.249,20 | 197,00 | 67,3 | 269,1 | 264,2 | 1.844,50 |
| 43 | 2.2.7 | Carga DQO convertida em CH4 (kgDQO-CH4/d) | CO _{2(aq)M} | 21,30 | 21,30 | 21,30 | 21,30 | 21,30 | 21,30 | 21,3 | 21,3 | 21,3 | 21,3 |
| 44 | 2.2.8 | % DQO convertida em biomassa (%) | %DQO/lodo | 14,50 | 14,50 | 14,50 | 14,50 | 14,50 | 14,50 | 14,5 | 14,5 | 14,5 | 14,5 |
| 45 | 2.2.9 | % DQO utilizada na redução do SO4 (%) | %SO4-2M | 64,20 | 64,20 | 64,20 | 64,20 | 64,20 | 64,20 | 64,2 | 64,2 | 64,2 | 64,2 |
| 46 | 2.2.10 | % DQO convertida em metano (%) | %DQO/CH4 | | | | | | | | | | |
| 47 | | | | | | | | | | | | | |
| 48 | 2.2.0 | Em relação a DQO convertida em CH4 | | | | | | | | | | | |
| 49 | 2.3.0 | Balanco DQO no reator UASB | | 152,50 | 206,40 | 175,40 | 423,10 | 149,10 | 23,50 | 8 | 32,1 | 31,5 | 220,1 |
| 50 | 2.4.0 | Produção de metano e biogás | TCO2 | 1.002,00 | 1.356,10 | 1.152,70 | 2.779,90 | 979,4 | 154,4 | 52,7 | 210,9 | 207,2 | 1.446,10 |
| 51 | 2.5.0 | Perdas normalizadas de metano e de energia | PN _{legis} | 222,1 | 300,6 | 255,5 | 616,1 | 217,1 | 34,2 | 11,7 | 46,8 | 45,9 | 320,5 |
| 52 | 2.6.0 | Potencial de geração de energia | EQD | 1.509,80 | 2.043,40 | 1.736,90 | 4.188,90 | 1.475,80 | 232,7 | 79,5 | 317,9 | 312,2 | 2.179,10 |
| 53 | | | | | | | | | | | | | |
| 54 | 2.7.0 | Relações volumétricas e energéticas unitárias | | | | | | | | | | | |
| 55 | | | | | | | | | | | | | |
| 56 | 3.0 | Produção de lodo (anaeróbio-ferido-estabilizado) | | | | | | | | | | | |
| 57 | 3.1.0 | Vazão (L/s) | Q _{leg} | 92,36 | 125,00 | 106,25 | 256,25 | 90,28 | 14,24 | 4,86 | 19,44 | 19,10 | 133,30 |
| 58 | 3.1.1 | Produção de lodo (kgSS/d) | P _{lodo} | 331,97 | 449,28 | 381,89 | 921,02 | 324,48 | 51,17 | 17,47 | 69,89 | 68,64 | 479,12 |
| 59 | 3.1.2 | Volume de lodo (m³/d) | V _{lodo} | 8,14 | 11,01 | 9,36 | 22,57 | 7,95 | 1,25 | 0,43 | 1,71 | 1,68 | 11,74 |
| 60 | | | | | | | | | | | | | |
| 61 | 4.0 | Produção de sólidos grosseiros, areia e escuma | | | | | | | | | | | |
| 62 | 4.1.0 | Vazão (L/s) | Q _{leg} | 92,36 | 125,00 | 106,25 | 256,25 | 90,28 | 14,24 | 4,86 | 19,44 | 19,10 | 133,30 |
| 63 | 4.1.1 | Produção de sólidos grosseiros (L/d) | P _{SSG} | 93,61 | 126,68 | 107,68 | 259,70 | 91,49 | 14,43 | 4,93 | 19,71 | 19,35 | 135,10 |
| 64 | 4.1.2 | Produção de sólidos grosseiros (kg/d) | P _{SSG} | 60,84 | 82,34 | 69,99 | 168,81 | 59,47 | 9,38 | 3,20 | 12,81 | 12,58 | 87,81 |
| 65 | 4.1.3 | Produção de areia (L/d) | P _{SSA} | 183,54 | 248,40 | 211,14 | 509,22 | 179,40 | 28,29 | 9,66 | 38,64 | 37,95 | 264,90 |
| 66 | 4.1.4 | Produção de areia (kg/d) | P _{SSA} | 256,96 | 347,76 | 295,60 | 712,91 | 251,16 | 39,61 | 13,52 | 54,10 | 53,13 | 370,86 |
| 67 | 4.1.5 | Produção de escuma (kg/d) | P _e | 2,14 | 2,89 | 2,46 | 5,93 | 2,09 | 0,33 | 0,11 | 0,45 | 0,44 | 3,09 |
| 68 | | | | | | | | | | | | | |
| 69 | 5.0 | Higienização química (caldeação) | | | | | | | | | | | |
| 70 | 5.1.0 | Massa de lodo desaguada (kg/d) | MD _{lodo} | 282,17 | 383,89 | 324,61 | 782,87 | 275,81 | 43,49 | 14,85 | 59,41 | 58,34 | 407,25 |
| 71 | 5.1.1 | Produção de torta (kgSS/d) | P _{torta} | 1.410,87 | 1.909,44 | 1.623,03 | 3.914,34 | 1.379,04 | 217,47 | 74,25 | 297,03 | 291,72 | 2.036,26 |
| 72 | 5.1.2 | Quantidade de PQ para caldeação (Q _{cal}) | Q _{cal} | 84,65 | 114,57 | 97,38 | 234,86 | 82,74 | 13,05 | 4,45 | 17,82 | 17,50 | 122,18 |
| 73 | 5.1.3 | Quantidade de PQ aplicada (Q _{ap}) | Q _{ap} | 105,815 | 143,208 | 121,727 | 293,5751 | 103,428 | 16,3104 | 5,56856 | 22,2774 | 21,879 | 152,72 |
| 74 | 5.1.4 | Quantidade de biossólido produzido (Q _{bio,fluido}) | Q _{bio,fluido} | 1.516,69 | 2.052,65 | 1.744,76 | 4.207,91 | 1.482,47 | 233,78 | 79,82 | 319,31 | 313,60 | 2.188,98 |
| 75 | | | | | | | | | | | | | |

516

517

518
519

Figura 9. Template do banco de dados de planejamento e a operação das ETE's RMB nos municípios de Ananindeua, Belém e Marituba do SES-C e SES-D.

| - BASE DE DADOS DE PLANEJAMENTO E OPERAÇÃO DAS ETE'S DE ESGOTO SANITÁRIO NA RMB -SES(C) – ETE UNA (ETE 09) | | REV. | DESCRIÇÃO | DATA | POR |
|---|---|---|---|------------|------|
|  | <p>INFORMAÇÕES BÁSICAS:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Vazão: e População: - Município: - Localização georeferenciada: - Sistema de tratamento de esgoto: - Tratamento preliminar: - Processo de tratamento: - Tratamento do lodo: - Tratamento do biogás: | 00 | Processo de elaboração da base de dados – ETE09 | 25/02/2022 | UFGA |
| | <p>TRATAMENTO PRELIMINAR:</p> <p>Produção de sólidos grosseiros (kg/d):</p> <p>Produção de areia (kg/d):</p> <p>Produção de espuma (kg/d):</p> | | | | |
| <p>BALANÇO DE CARGA ORGÂNICA - UASB:</p> <p>Carga DQO afluente (kgDQO/d):</p> <p>Carga DQO efluente (kgDQO/d):</p> <p>Carga DQO removida (kgDQO/d):</p> <p>Carga DQO convertida em lodo (kgDQO-lodo/d):</p> <p>Carga DQO convertida em CH₄ (kgDQO-CH₄/d):</p> | | | | | |
| <p>PRODUÇÃO E HIZIENIZAÇÃO DE LODO - UASB:</p> <p>Produção de lodo (kgSST/d):</p> <p>Volume de lodo (m³/d):</p> <p>Massa de lodo desaguada (kg/d):</p> <p>Produção de torta (kgSST/d):</p> <p>Quantidade de PQ para caleação (Q_{Ca}):</p> <p>Quantidade de PQ aplicada (Q_{Ca}):</p> <p>Quantidade de biossólido produzido (Q_{Ca-bioss}):</p> | | | | | |
| <p>POTENCIAL DE GEE E EMISSÃO DE MENTANO - UASB:</p> <p>Produção normalizada de metano (Nm³/d)</p> <p>Taxa de emissão de metano (CO₂ equivalente)</p> <p>Produção normalizada de biogás (Nm³/d)</p> <p>Energia química disponível (kWh/d)</p> | | | | | |
| <p>Projeto de pesquisa: "Elaboração de banco de dados das estações de tratamento de esgoto sanitário implantadas na RMB para fins de planejamento e operação envolvendo fase líquida, sólida e gasosa"</p> | |  | | | |
| | | <p>Orientador: Maurício André da Cunha Assunção Orientador: Prof. Dr. Neyson M. Marcondes</p> | | | |

520

521 **3.3.1. Fixação das condições de contorno para tratamento preliminar e secundário**

522 Para se quantificar a produção de sólidos grosseiros, areia e espuma, realização do
 523 balanço de cargas orgânicas em reatores UASB, estimativa da produção e higienização de
 524 lodo em reatores UASB e determinação do potencial da geração de EE e emissão de
 525 metano em reatores UASB foram definidos três cenários (pessimista-1, realista-2 e otimista-
 526 3) com a fixação das condições de contorno descritas na Tabela 2, tendo como base para
 527 o tratamento preliminar o uso de valores das seguintes referências técnicas a saber
 528 referência (Ribeiro *et al*, 2018; Plana *et al*, 2018; Pereira *et al*, 2019) e no caso do
 529 tratamento secundário se fez uso da metodologia de Lobato (2011) mediante a aplicação
 530 do software PROBIO 1.0.

531

532 **Tabela 2:** Variáveis empregadas para estimativa do potencial da geração de energia e da emissão metano das ETE's.

| Variáveis de entrada do tratamento preliminar e do tratamento secundário das ETE's | Sigla | Cenários de avaliação | | |
|---|----------------------------------|-----------------------------|--------|--------|
| | | 1 | 2 | 3 |
| Volume de sólido grosseiro por m ³ de esgoto (L _{SSG} /m ³)-grade média | X _{SSGG} | 0,0042 | 0,0042 | 0,0042 |
| Volume de sólido grosseiro por m ³ de esgoto (L _{SSG} /m ³) - peneira | X _{SSGP} | 0,0060 | 0,0060 | 0,0060 |
| Massa específica de sólido grosseiro (kg/m ³) | d _{SSG} | 650 | 650 | 650 |
| Fator de segurança - retenção de sólidos grosseiros (-) | F _{SSG} | 1,15 | 1,10 | 1,05 |
| Volume de areia por m ³ de esgoto (L _a /m ³) | X _a | 0,02 | 0,02 | 0,02 |
| Massa específica de areia (kg/m ³) | d _{SSD} | 1.400 | 1.400 | 1.400 |
| Fator de segurança - desarenador (-) | F _{SSD} | 1,15 | 1,10 | 1,05 |
| Coeficiente de produção de espuma (gST/kgDQO _{aplicada}) | Y _e | 0,56 | 0,56 | 0,56 |
| Fator de segurança - espuma (-) | FS _e | 1,15 | 1,10 | 1,05 |
| <hr/> | | | | |
| Contribuição de esgoto por habitante (L/hab.d)* | q _{esg.} | 150 | 150 | 150 |
| DQO afluente (mg/L) | [DQO _B] | 416 | 416 | 416 |
| Vazão (m ³ /d) | Q _{esg.} | valor da Tabela 1 | | |
| Concentração de SO ₄ ⁻² no afluente (mg/L) | [SO ₄ ⁻²] | valor médio do esgoto bruto | | |
| Eficiência remoção DQO (%) | E _{DQO} | 60 | 65 | 70 |
| Eficiência redução SO ₄ ⁻² (%) | E _{SO4-2} | 80 | 75 | 70 |
| Coeficiente de produção de lodo (kgSV/kgDQO _{rem}) | Y | 0,15 | 0,15 | 0,15 |
| Coeficiente de produção DQO-lodo (kgDQO _{lodo} /kgDQO _{rem}) | K _{sólidos} | 0,213 | 0,213 | 0,213 |
| Temperatura operacional do reator (°C) | T | 27,0 | 27,0 | 27,0 |
| Perda de metano na fase gasosa com o gás residual (%) | FS | 7,5 | 5,0 | 2,5 |
| Fator de Supersaturação de CH ₄ na fase líquida | p _w | 1,7 | 1,35 | 1,0 |
| Outras perdas de metano (%) | p _o | 7,5 | 5,0 | 2,5 |
| <hr/> | | | | |
| Concentração do lodo de descarte (%) | [C _{lodo}] | 4,0 | 4,5 | 5,0 |
| Densidade do lodo (kgSST/m ³) | [g _{lodo}] | 1.020 | 1.020 | 1.020 |
| Coeficiente de sólidos no sistema (kgSST/kgDQO _{aplicada}) | Y _{lodo} | 0,10 | 0,15 | 0,20 |
| Eficiência de captura de sólidos (%) | C _S | 85,00 | 90,00 | 95,00 |
| Teor de ST no lodo desaguado (% ST) | T _{ST} | 20,00 | 20,00 | 20,00 |
| Tipo de cal | CaO | CaO | CaO | CaO |
| Teor de CaO (%CaO) | %CaO | 80,00 | 80,00 | 80,00 |
| Dosagem de CaO a ser aplicada na torta(%) | D _{CaO} | 30,00 | 30,00 | 30,00 |

533 Nota: (*) o dado de contribuição de esgoto por habitante foi determinado por Mendonça et al (2019) durante a fixação de
 534 critérios hidráulicos para obtenção da vazão e da carga de poluentes na BHEN.

535 **3.3.2. Produção de sólidos grosseiros, areia e espuma**

536 A estimativa da produção de sólidos grosseiros previu a utilização de grade média e
 537 peneiras nas ETE's da RMB para o SES-C e o SES-D de maneira a se ter atendimento
 538 quanto ao item 6.4.1. da NBR 12.2009/2011 da ABNT que menciona: " o tratamento
 539 biológico anaeróbico deve ser precedido de remoção de sólidos grosseiros e areia, sendo
 540 imprescindível a utilização de dispositivo de remoção com aberturas iguais ou inferiores a

541 12 mm para vazão máxima até 100 L/s e a 6mm para vazão máxima acima de 100 L/s)”,
 542 haja vista se ter redundância e melhor segurança quanto a retenção desses sólidos o que
 543 evita a ocorrência frequente de problemas operacionais como: obstrução de tubulações,
 544 redução do volume de reação do reator UASB, proteção dos dispositivos de transporte dos
 545 esgotos como: bombas, peças especiais como calhas de distribuição e coleta, etc.,

546 A seguir, apresentam-se as expressões utilizadas para o cálculo da produção de
 547 sólidos grosseiros nas ETE's da RMB:

| | | |
|---|--|---|
| Estimativa da produção de sólidos grosseiros (gradeamento) | $P_{SSGG} = X_{SSGG} \cdot Q_{méd} \cdot FS$ | P _{SSGG} : produção de sólido grosseiro pelo gradeamento X _{SSGG} : volume de sólido grosseiro por m ³ de esgoto Q _{méd} : vazão média de esgoto tratado FS: fator de segurança |
| Estimativa da produção de sólidos grosseiros (peneiramento) | $P_{SSGP} = X_{SSGP} \cdot Q_{méd} \cdot FS$ | P _{SSGP} : produção de sólido grosseiro pelo peneiramento X _{SSGP} : volume de sólido grosseiro por m ³ de esgoto Q _{méd} : vazão média de esgoto tratado FS: fator de segurança |

548

549 Em relação a produção de areia, a determinação deste subproduto sólido envolvendo
 550 a desarenação das ETE's do SES-C e do SES-D, teve na etapa de levantamento de campo
 551 as seguintes situações principais: i) a ETE se encontrava em obra de ampliação e/ou de
 552 recuperação do tratamento preliminar; ii) a ETE estava em fase de consolidação do projeto
 553 básico e/ou executivo para implementação de tal unidade no SES-C ou no SES-D, fatos
 554 esses que não permitiram se ter dados primários. Desse modo, se definiu que a remoção
 555 de areia nas ETE's da RMB iria se diferenciar em função do aumento do desempenho de
 556 reatores UASB quanto a remoção de matéria orgânica, apresentando redução gradativa no
 557 F_{SSD} de aproximadamente 5,0% do cenário 1 para o cenário 2, e de cerca 10,0% do cenário
 558 1 para o cenário 3.

559 Ressalta-se nesse momento, que o presente trabalho fez uso de valores de F_{SSD}
 560 mais conservadores e daqueles reportados por Mendonça *et al* (2019) que variam de 20 a
 561 30% quando há grande incerteza relativa à geração e à característica desse subproduto
 562 sólido na etapa do tratamento preliminar.

563 A seguir, apresentam-se as expressões utilizadas para o cálculo da produção de
 564 areia nas ETE's da RMB:

| | | |
|---------------------------------|--|---|
| Estimativa da produção de areia | $P_{SSD} = X_D \cdot Q_{méd} \cdot FS$ | P _{SSD} : produção de areia X _D : volume de areia por m ³ de esgoto Q _{méd} : vazão média de esgoto tratado FS: fator de segurança |
|---------------------------------|--|---|

565

566 Finalmente para a produção de espuma, se fez uso do coeficiente de produção de
 567 espuma (Y_e) reportado por Pereira *et al* (2019) acrescido do F_e, tendo-se realizado para
 568 esse último a redução gradativa de seu valor em função da estratégia operacional de
 569 descarte da espuma pratica nas ETE's em termos regular, bom e excelente relacionados,
 570 respectivamente, ao aumento do desempenho de reatores UASB quanto a remoção de
 571 matéria orgânica para os cenários de investigação estabelecidos (cenário 1, cenário 2 e
 572 cenário 3).

573 A seguir, apresentam-se as expressões utilizadas para o cálculo da produção de
574 espuma nas ETE's da RMB:

| | | |
|----------------------------------|-----------------------------------|--|
| Estimativa da produção de espuma | $P_E = Y_e \cdot CO_a \cdot FS_e$ | P_E : produção de espuma (kgST/d) Y_e : Coeficiente de produção de espuma (gST/kgDQOaplicada) CO_a : carga média de DQO aplicada na ETE FS_e : fator de segurança |
|----------------------------------|-----------------------------------|--|

575 **3.3.3. Balanço de cargas orgânicas em reatores UASB**

576 O balanço de cargas orgânicas em reatores UASB foi realizado segundo a
577 metodologia de Lobato (2011) e a aplicação do software PROBIO 1.0 cujo equacionamento
578 encontra-se na Tabela 3 em termos de DQO envolvendo a carga DQO afluyente, carga SO_4^{2-}
579 afluyente, carga DQO efluente, carga DQO removida, carga DQO utilizada na redução do
580 SO_4^{2-} , Carga DQO convertida em lodo e carga DQO convertida em CH_4 .

581

582 **Tabela 3:** Equações para balanço de cargas orgânicas em reatores UASB das ETE's da RMB.

| | | |
|---|---|---|
| Estimativa da massa diária de DQO removida no sistema. | $DQO_r = P \cdot Q_{PC} \cdot C_{DQOt} \cdot E_{DQO}$ $DQO_r = Q_{méd} \cdot C_{DQOt} \cdot E_{DQO}$ | DQO_r =massa diária de DQO removida no sistema (kgDQO _r .d ⁻¹) Pop = população contribuinte (hab.)(54g/hab.dia) Q_{PC} = contribuição per capita de DQO (m ³ .hab ⁻¹ .d ⁻¹) $Q_{méd}$ = vazão média de esgoto afluyente ao reator(m ³ .d ⁻¹) C_{DQOt} =concentração de DQO total afluyente (kgDQO.m ⁻³) E_{DQO} = eficiência de remoção de DQO (%) |
| Estimativa da massa diária de DQO utilizada pela biomassa. | $DQO_{lodo} = Y_{obs} \cdot DQO_r$ $Y_{obs} = Y \cdot k_{sólidos}$ | DQO_{lodo} =massa diária de DQO convertida em lodo (kgDQO _{lodo} .d ⁻¹) Y_{obs} =coeficiente de produção de sólidos no sistema (kgDQO _{lodo} .kgDQOr ⁻¹) Y =coeficiente de produção de sólidos (kgSVT ⁻¹ .kgDQOr ⁻¹) $k_{sólidos}$ =fator de conversão de STV em DQO (1,42 kgDQO _{lodo} .kgSVT ⁻¹) |
| Estimativa da carga de sulfato convertida em sulfeto | $CO_{SO_4^{2-}C} = Q_{méd} \cdot C_{SO_4^{2-}} \cdot E_{SO_4^{2-}}$ | $C_{SO_4^{2-}}$ = carga de SO_4 convertida em sulfeto (kg SO_4^{2-} .d ⁻¹) $Q_{méd}$ = vazão média de esgoto afluyente ao reator (m ³ .d ⁻¹) $C_{SO_4^{2-}}$ = concentração média de SO_4^{2-} no afluyente (kg SO_4^{2-} .m ⁻³) $E_{SO_4^{2-}}$ = eficiência de redução de SO_4^{2-} (%) |
| Estimativa da massa diária de DQO utilizada na redução de sulfato | $DQO_{SO_4^{2-}} = C_{SO_4^{2-}} \cdot K_{DQO-SO_4^{2-}}$ | $DQO_{SO_4^{2-}}$ =DQO utilizada pela BRS na redução de sulfato (kgDQO _{SO4-2} d ⁻¹) $K_{DQO-SO_4^{2-}}$ =DQO consumida na redução de sulfato (0,667 kgDQO/kgSO ₄₋₂ convertido) |
| Estimativa da massa diária de DQO convertida em metano | $Q_{CH_4} = \left(\frac{DQO_{CH_4} \cdot R \cdot (273 + T)}{P \cdot K_{DQO} \cdot 1000} \right) DQO_r$ $= DQO_r - DQO_{lodo} - DQO_{SO_4^{2-}}$ | DQO_{CH_4} =massa diária de DQO convertida em metano (kgDQO _{CH4} .d ⁻¹) Q_{CH_4} = produção volumétrica teórica de metano (m ³ .d ⁻¹) R = constante dos gases (0,08206 atm.L.mol ⁻¹ .k ⁻¹) T = temperatura operacional do reator (°C) P = pressão atmosférica (1 atm) K_{DQO} = DQO correspondente a um mol de CH_4 (0,064 kgDQO.mol ⁻¹) |

583 **3.3.4. Estimativa da produção e higienização de lodo em reatores UASB**

584 A estimativa futura da produção e higienização de lodo em reatores UASB levou em
 585 consideração que o lodo de excesso, encontra-se estabilizado, o desaguamento é
 586 mecanizado para ETE's do SES-C com aplicação de decanter centrífuga e natural para as
 587 ETE's do SES-D com o uso de leito de secagem cobertos e que o processo de higienização
 588 do lodo desaguado (torta) será por meio da técnica de estabilização química com cal em
 589 atendimento a Resolução CONAMA Nº 498/2020 para obtenção de biossólido Classe B,
 590 cuja destinação final e valorização pode ser realizada para agricultura, recuperação de
 591 áreas degradadas, paisagismos de praças dos municípios etc.

592 As expressões utilizadas para o cálculo da produção e higienização de lodo em
 593 reatores UASB nas ETE's da RMB foi realizada com base no roteiro Andreoli *et al.* (2021)
 594 e na dissertação de mestrado de Pereira (2013) envolvendo a influência do agente
 595 alcalinizante na qualidade do lodo higienizado. Na presente estimativa a estratégia de
 596 descarte levou em consideração a média ponderada da concentração envolvendo o lodo
 597 de manta e de leito em reatores UASB, e a Tabela 4.

598 **Tabela 4:** Equações para estimativa da produção e higienização de lodo em reatores UASB das ETE's.

| | | |
|--|--|---|
| <p>Estimativa da produção mássica e volumétrica de lodo bruto em UASB</p> | $P_{\text{lodo}} = Y_{\text{lodo}} \cdot CO_a$ $V_{\text{lodo}} = \frac{P_{\text{lodo}}}{\gamma \cdot C_{\text{lodo}}}$ | <p>P_{lodo}: produção de sólidos do reator UASB (kgSST/d) Y_{lodo}: Coeficiente de sólidos no sistema (kgSST/kgDQO_{aplicada}) CO_a: carga média de DQO aplicada na ETE (kgDQO/d) V_{lodo}: produção volumétrica de lodo do reator UASB (m³/d) C_{lodo}: concentração média ponderada de lodo excesso a ser descartada do reator UASB (%)</p> |
| <p>Estimativa da massa de lodo desaguado por via mecanizada ou natural</p> | $MD_{\text{lodo}} = P_{\text{lodo}} \cdot T_{ST}$ | <p>MD_{lodo}: massa de lodo desaguado por via mecanizada ou natural (kgSST/d) C_s: eficiência de captura de sólidos (%)</p> |
| <p>Estimativa da produção de torta por via mecanizada ou natural</p> | $P_{\text{torta}} = \frac{MD_{\text{lodo}}}{T_{ST}}$ | <p>P_{torta}: produção de torta por via mecanizada ou natural para um valor dado teor de ST (kgSST/d) T_{ST}: Teor de ST no lodo desaguado (% ST)</p> |
| <p>Estimativa de produto químico e produção de biossólido</p> | $Q_{CaO} = P_{\text{torta}} \cdot D_{CaO}$ $Q_{cal} = \frac{Q_{CaO}}{\%_{CaO}}$ $Q_{\text{bio+lodo}} = MD_{\text{lodo}} + Q_{cal}$ | <p>Q_{CaO}: quantidade de produto químico para caleação (kgCaO/d) Q_{cal}: quantidade de Cal aplicada (kgCal/d) $\%_{CaO}$: Teor de CaO (%CaO) D_{CaO}: dosagem de produto químico a ser aplicada na torta (%) $Q_{\text{bio+lodo}}$: quantidade de biossólido produzido (kg/d)</p> |

599 **3.3.5. Determinação do potencial da geração de EE e emissão de metano em reatores**

600 **UASB**

601 A determinação do potencial da geração de EE e emissão de metano em reatores
 602 UASB também foi realizado segundo a metodologia de Lobato (2011) e a aplicação do
 603 software PROBIO 1.0 cujo equacionamento encontra-se na Tabela 5 com a estimativa
 604 referente a produção normalizada de metano (PNCH₄), taxa de emissão de metano (CO₂
 605 equivalente-TCO₂), produção normalizada de biogás (PNB) e energia química disponível
 606 (EQD).

607

608 **Tabela 5:** Equações para estimativa do potencial da geração de energia e da emissão metano das ETE's.

| | | |
|--|---|--|
| <p>Estimativa das perdas de metano</p> | $Q_{W-CH_4} = Q_{CH_4} \cdot P_w$ $Q_{O-CH_4} = Q_{CH_4} \cdot P_o$ $Q_{L-CH_4} = Q_{méd} \cdot P_L \cdot f_{CH_4} \cdot \left(\frac{R \cdot (273 + T)}{P \cdot K_{DQO}} \right)$ $P_L = \frac{\%CH_4}{100} \cdot K_h \cdot F_s$ | <p>Q_{W-CH_4} = perda de metano na fase gasosa, com o gás residual (m³.d⁻¹) p_w = percentual de perda de metano na fase gasosa, com o gás residual (%) Q_{O-CH_4} = outras perdas de metano na fase gasosa (m³.d⁻¹) p_o = percentual de outras perdas de metano na fase gasosa (%) Q_{L-CH_4} = perda de metano na fase líquida, dissolvido no efluente (m³.d⁻¹) p_L = perda de metano na fase líquida, dissolvido no efluente (kg.m⁻³) f_{CH_4} = fator de conversão de massa de metano em massa de DQO – coeficiente estequiométrico (4 kg_{DQO}.kg_{CH₄}⁻¹) K_h = constante de Henry (mg.L⁻¹.atm⁻¹) F_s = fator de supersaturação de CH₄ na fase líquida $\%CH_4$ = percentual de CH₄ no biogás</p> |
| <p>Estimativa da produção real de metano</p> | $Q_{REAL-CH_4} = Q_{CH_4} - Q_{W-CH_4} - Q_{O-CH_4} - Q_{L-CH_4}$ | <p>$Q_{REAL-CH_4}$ = produção real de metano disponível para recuperação de energia (m³.d⁻¹)</p> |
| <p>Estimativa das perdas de metano</p> | $PE_{REAL-CH_4} = Q_{N-REAL-CH_4} \cdot E_{CH_4}$ | <p>$PE_{REAL-CH_4}$ = potencial energético disponível (MJ.d⁻¹) $Q_{REAL-CH_4}$ = produção real de metano disponível para recuperação de energia (m³.d⁻¹) E_{CH_4} = energia calorífica decorrente da combustão do metano (35,9 MJ.Nm⁻³)</p> |

609

610

611

612

613

614

615

616

617

618

619 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

620 A seguir apresentam-se os resultados obtidos quanto à produção de sólidos
621 grosseiros, areia e espuma; balanço de cargas orgânicas em reatores UASB; estimativa da
622 produção e higienização de lodo e a determinação do potencial da geração de energia para
623 as ETE's da RMB Belém (PA).

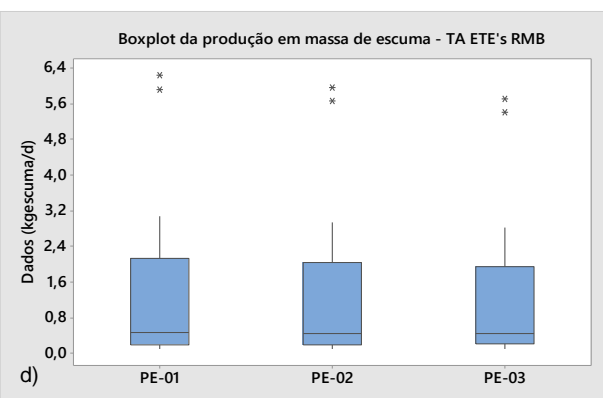
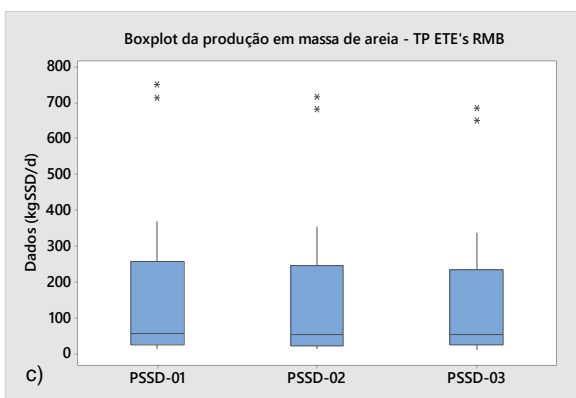
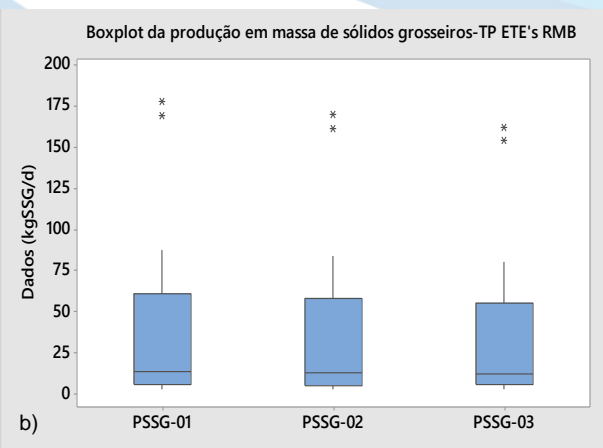
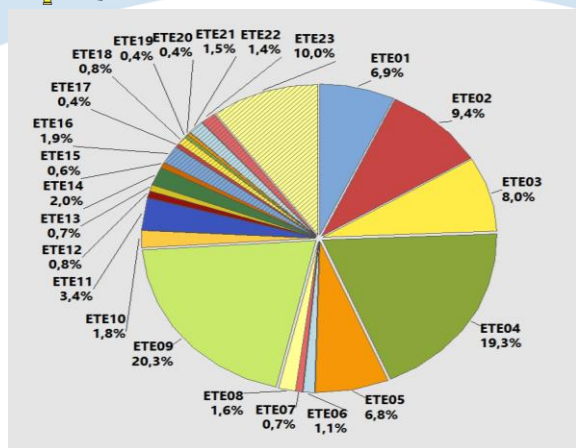
624 4.1. Produção de sólidos grosseiros, areia e espuma

625 A seguir na **Figura 10** apresentam-se os gráficos de *box-plot* da geração de sólidos
626 grosseiros, areia e espuma para todas as ETE's da RMB envolvendo o SES-C e SES-D, e
627 na tabela-6 se tem o resumo estatístico descritivo contendo número de dados (n), média
628 (x), mediana (med), desvio padrão (DP), mínimo (mín.) e máximo (máx.) se abrangendo os
629 cenários de investigação do presente estudo.

630 Para o SES-C a vazão média das ETE's é de $127 \pm 84,7$ L/s e em cujo sistema de
631 esgotamento se tem uma faixa de variação da vazão com valor mínimo de 24,3 L/s (ETE-
632 01) e máximo de 269,8 L/s (ETE-09), enquanto que para o SES-D a vazão média é de 13,34
633 L/s com intervalo de variação de 4,86 L/s (mínimo-ETE-18/ETE-19) a 26,39 L/s (máximo-
634 ETE-13). Em termos percentuais, a vazão de todas as ETE's do SES-C, corresponde a
635 85,95% da capacidade hidráulica de todas as ETE's da RMB, o que equivale a
636 aproximadamente 658.182 habitantes, enquanto que 9,35% do valor restante
637 correspondente a população equivalente de 107.600 habitantes, que é atendida pelo SES-
638 D.

639 Além disso, se pode notar com base na vazão (Figura 10) que as ETE's existentes
640 nos municípios de Ananindeua, Belém e Marituba tem 49,6% (~ 659,30L/s) da capacidade
641 hidráulica demanda pelas ETE09, ETE04, ETE23 que integram o SES-C, restando cerca
642 de 50,4% (~ 670,14L/s) para as demais ETE's que integram o SES-C e SES-D.

643 **Figura 10.** Box-plot potencial da geração de sólidos grosseiros (b), areia (c) e espuma (d)
644 para ETE's do SES-C e ETE's do SES-D.



645 **Tabela 6.** Resumo do estatístico descritivo dos subprodutos sólidos do tratamento preliminar das ETE's na RMB.

| TIPO DE SES | Variável | Unidade | N | Média | DP | Soma | Mínimo | Mediana | Máximo |
|-----------------------------|--------------------|---------|----|-------|-------|--------|--------|---------|--------|
| SES-C+SES-D (1º CENÁRIO) | Sólidos grosseiros | kg/d | 23 | 38,1 | 50,4 | 875,8 | 3,2 | 13,7 | 177,7 |
| | Areia | kg/d | 23 | 160,8 | 212,9 | 3698,7 | 13,5 | 58,0 | 750,6 |
| | Escuma | kg/d | 23 | 1,3 | 1,8 | 30,8 | 0,1 | 0,5 | 6,2 |
| SES-C+SES-D (2º CENÁRIO) | Sólidos grosseiros | kg/d | 23 | 36,4 | 48,2 | 837,7 | 3,1 | 13,1 | 170,0 |
| | Areia | kg/d | 23 | 153,8 | 203,6 | 3537,9 | 12,9 | 55,4 | 717,9 |
| | Escuma | kg/d | 23 | 1,3 | 1,7 | 29,4 | 0,1 | 0,5 | 6,0 |
| SES-C+SES-D (3º CENÁRIO) | Sólidos grosseiros | kg/d | 23 | 35,1 | 45,8 | 807,0 | 2,9 | 12,5 | 162,3 |
| | Areia | kg/d | 23 | 148,2 | 193,6 | 3408,0 | 12,3 | 52,9 | 685,3 |
| | Escuma | kg/d | 23 | 1,2 | 1,6 | 28,4 | 0,1 | 0,4 | 5,7 |

646 A produção mássica devido a retenção dos sólidos grosseiros, areia e espuma para
 647 as ETE's na RMB podem ser observadas, respectivamente, na Figura 10b, Figura 10c e
 648 Figura 10d, e cujos gráficos de box-plot indicam a existência de valores extremos (outliers)
 649 em todos os cenários de investigação realizados. A ocorrência desses outliers se deve
 650 principalmente aos valores de vazão ≥ 250 L/s para a ETE04 e a ETE09. Além disso, se
 651 pode observar nos gráficos de box-plot (Figura 10b, Figura 10c e Figura 10d) e dados
 652 medianos (**Figura 10**) redução gradual discreta quanto a geração de sólidos grosseiros,
 653 areia e espuma ao se comparar os três cenários, a qual se deve principalmente pelo fato
 654 de nas condições impostas se considerar FS de baixa variabilidade $\sim 4,5\%$, o que é razoável
 655 se a operação das ETE's do SES-C e do SES-D, disporem da implementação de unidades

656 de peneiramento mecanizada, desarenação mecanizada, e do protocolo de descarte de
657 espuma em unidades UASB.

658 A seguir se descrevem as inferências principais quanto ao potencial de geração de
659 sólidos grosseiros, areia e espuma para o Cenário 1, Cenário 2 e Cenário 3:

660 No Cenário 1 as ETE's da RMB tratando cerca de 1.329,5 L/s ao se considerar os
661 dados médios da **Figura 10** vão produzir cerca de 1.143 kg/mês de sólidos grosseiros,
662 4.800 kg/mês de areia e 40 kg/d de espuma. Enquanto que no Cenário 2 em média espera-
663 se geração mensal de 1.092 kg/mês, 4.614 kg/mês e 40 kg/mês, respectivamente, para
664 sólidos grosseiros, areia e espuma. E finalmente, para o Cenário 3, mantendo-se a mesma
665 capacidade hidráulica das ETE's do SES-C e do SES-D, a produção dos subprodutos
666 sólidos do tratamento preliminar das ETE's terá em média 1.053 kg/mês de sólidos
667 grosseiros, 4.446 kg/mês de areia e 36 kg/d de espuma.

668 Além disso, ao se correlacionar os dados de vazão das ETE's com a PSSG, PSSD e
669 PE envolvendo todos cenários por tipo de SES se obtém as seguintes expressões: i) SES-C:
670 $PSSG_{(kg/d)} = 0,000 + 0,6301 Q_{esg} (L/s)$; $PSSD_{(kg/d)} = 0,000 + 2,661 Q_{esg} (L/s)$ e $PE_{(kg/d)} = 0,000 +$
671 $0,02214 Q_{esg} (L/s)$ ($R^2=0,995$) e ii) SES-D: $PSSG_{(kg/d)} = 0,3805 + 0,6146 Q_{esg} (L/s)$; $PSSD_{(kg/d)} =$
672 $1,607 + 2,596 Q_{esg} (L/s)$ e $PE_{(kg/d)} = 0,01338 + 0,02160 Q_{esg} (L/s)$ ($R^2=0,938$). Essas
673 expressões nos permitem identificar que no SES-C, as ETE's têm cerca de 99,5% da variação
674 explicada pela relação linear entre vazão e os subprodutos sólidos (sólidos grosseiros, areia
675 e espuma), enquanto que no SES-D se teve apenas 93,8% para tal relação linear, ou seja,
676 6,2% da variação de produção dos subprodutos sólidos não podem ser explicadas pela vazão.

677 A seguir na **Tabela 7** se tem o resumo do intervalo de confiança (IC) para os
678 subprodutos sólidos das ETE's da RMB considerando os cenários avaliados. E no qual se
679 verifica que em termos da mediana, que a produção será de SSG: ~ 66,95 kg/d (56,89 kg/d
680 < IC < 763,8 kg/d – IC 0,9478), SSD: ~ 282,7 kg/d (240,2 kg/d < IC < 347,8 kg/d – IC 0,9478)
681 e PE: ~ 2,35 kg/d (1,999 kg/d < IC < 2,893 kg/d – IC 0,9478) paras as ETE's do SES-C,
682 enquanto que nas ETE's do SES-D se obteve os seguintes valores de SSG: ~ 6,71 kg/d
683 (5,72 kg/d < IC < 11,49 kg/d – IC 0,9116), SSD: ~ 28,33 kg/d (24,15 kg/d < IC < 48,51 kg/d
684 – IC 0,9116) e PE: ~ 0,235 kg/d (0,235 kg/d < IC < 0,4036 kg/d – IC 0,9116) paras as ETE's
685 do SES-C, e cuja equivalência per capita para os distintos tipos de ETE's (centralizado ou
686 descentralizado) é de 8,01gSSG/hab.d, 33,81gSSD/hab.d e 0,28gPE/hab.d.

687
688

689 **Tabela 7.** Resumo do intervalo de confiança (IC) para subprodutos sólidos do tratamento
 690 preliminar das ETE's da RMB.

| ETE'S DO SES-C DA RMB (CENÁRIO DE 1, CENÁRIO 2 e CENÁRIO 3) | | | | | |
|---|----|-------------|--------------------|-----------------------------|--------------|
| VARIÁVEL | N | MEDIANA (%) | CONFIANÇA ATINGIDA | INTERVALO DE CONFIANÇA (IC) | |
| | | | | INFERIOR (%) | SUPERIOR (%) |
| Sólidos grosseiros (kg/d) | 27 | 66,95 | 0,9478 | 56,89 | 82,34 |
| Areia (kg/d) | 27 | 282,7 | 0,9478 | 240,2 | 347,8 |
| Escuma (kg/d) | 27 | 2,35 | 0,9478 | 1,999 | 2,893 |

| ETE'S DO SES-D DA RMB (CENÁRIO DE 1, CENÁRIO 2 e CENÁRIO 3) | | | | | |
|---|----|-------------|--------------------|-----------------------------|--------------|
| VARIÁVEL | N | MEDIANA (%) | CONFIANÇA ATINGIDA | INTERVALO DE CONFIANÇA (IC) | |
| | | | | INFERIOR (%) | SUPERIOR (%) |
| Sólidos grosseiros (kg/d) | 42 | 6,71 | 0,9116 | 5,72 | 11,49 |
| Areia (kg/d) | 42 | 28,33 | 0,9116 | 24,15 | 48,51 |
| Escuma (kg/d) | 42 | 0,235 | 0,9116 | 0,2009 | 0,4036 |

691 Em termos de destinação final, praticando-se a solução de envio desses materiais
 692 para aterro sanitário com tarifa de R\$ 112,42/ton. (Aterro Sanitário de Marituba), o custo
 693 mensal para a situação mais desfavorável (Cenário 1) é de cerca de R\$ 12.459,31 para
 694 ETE's SES-C e de R\$ 2.036,88 para ETE's SES-D. Então, com base nessas informações
 695 de produção e de estimativa de custo, surge o alerta para que o gerenciamento desses
 696 subprodutos sólidos seja realizado mediante a avaliação de fatores como: capacidade
 697 hidráulica da ETE, frequência de limpeza, tipo de instalação e custo, já que os mesmos
 698 impactaram diretamente sobre a elaboração da tarifa de esgoto a ser praticada nos
 699 municípios envolvidos nesse estudo considerando-se a dinâmica do SES.

700 **4.2. Balanço de cargas orgânicas em reatores UASB**

701 A seguir na **Figura 11** e na **Figura 12** se tem, respectivamente, os gráficos de setores
 702 e de box-plot para balanço de cargas orgânicas e balanço de DQO em reatores UASB das
 703 ETE's do SES-C e das ETE's do SES-D abrangendo Cenário 1, Cenário 2, e Cenário 3.
 704 Enquanto que na **Tabela 8** e na **Tabela 9** se tem o resumo estatístico descritivo contendo
 705 número de dados (n), média (x), mediana (med), desvio padrão (DP): mínimo (mín.) e
 706 máximo (máx.) para as informações mencionadas anteriormente.

707

708

709

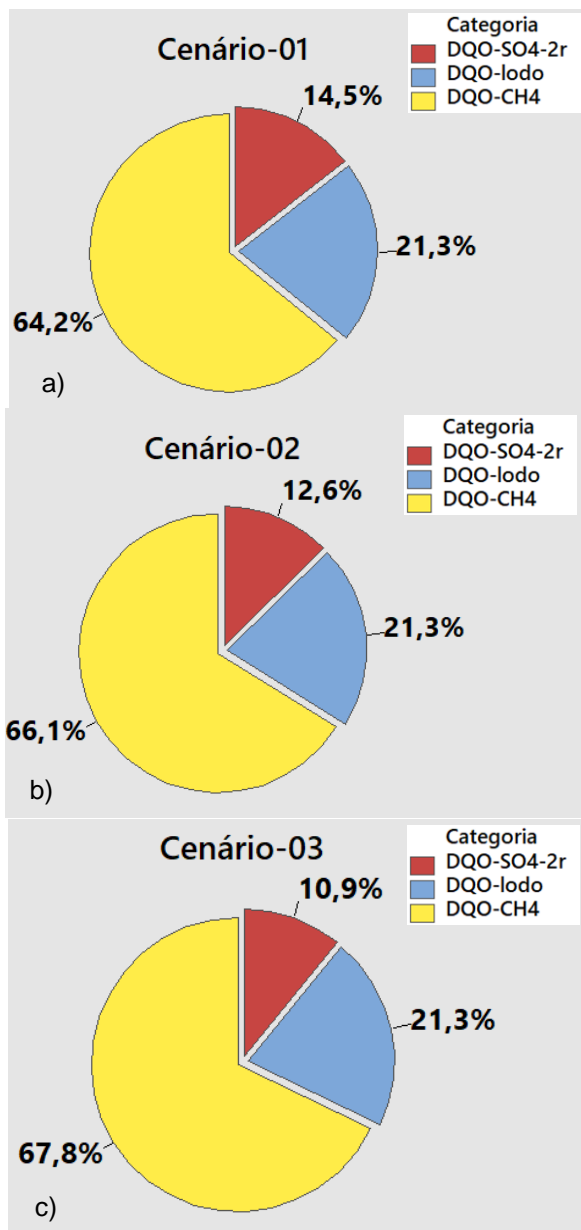
710

711

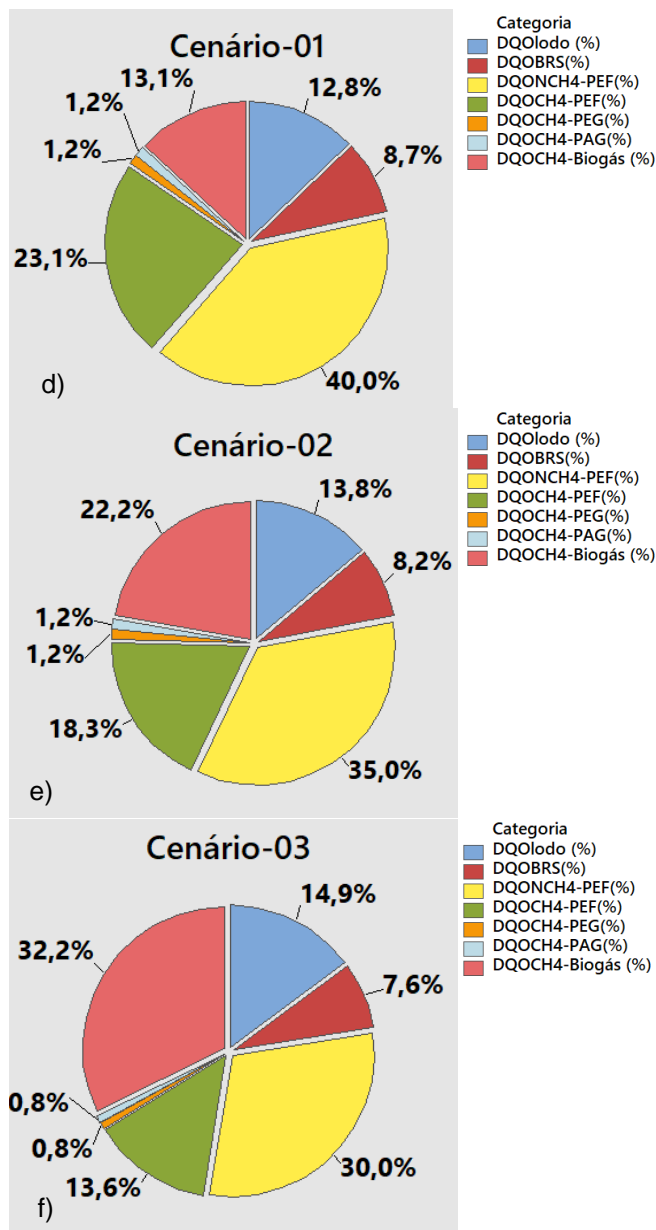
712

713 **Figura 11.** Gráficos de setores para balanço de cargas orgânicas (a, b e c) e balanço de
 714 DQO (d, e e f) em reatores UASB para ETE'S RMB.

Balanço de cargas orgânicas - ETE'S RMB

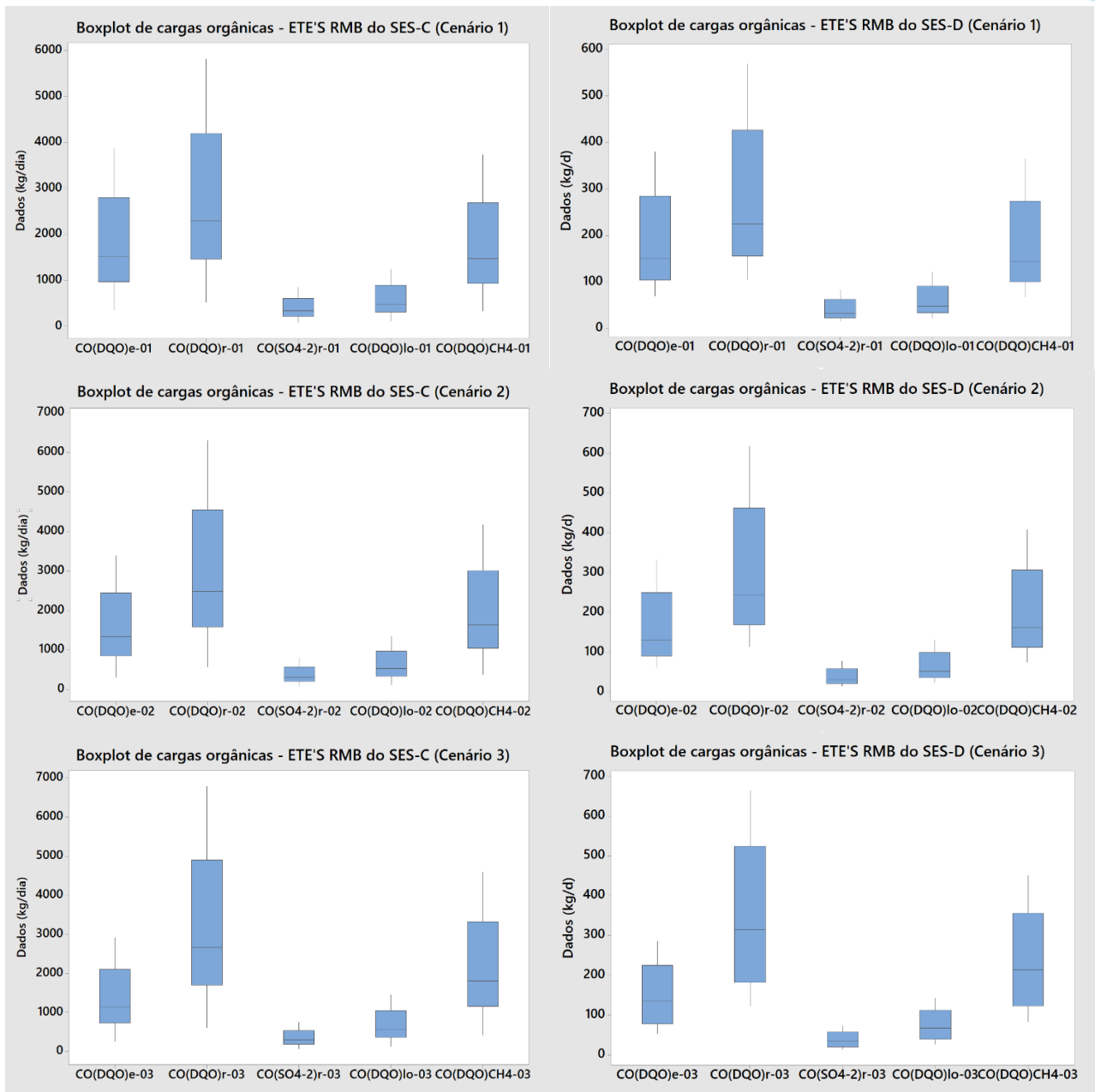


Balanço DQO (UASB) - ETE'S RMB



715
 716
 717
 718
 719
 720
 721
 722
 723
 724

725 **Figura 12.** Box-plot do balanço de cargas orgânicas para ETE's do SES-C (a, b e c) e ETE's
726 do SES-D (d, e e f).



740 **Tabela 8:** Resumo do estatístico descritivo das cargas orgânicas nas ETE's na RMB.

| TIPO DE SES | Variável | N | Média | DP | Soma | Mínimo | Mediana | Máximo |
|-----------------------------|--|----|-------|-------|--------|--------|---------|--------|
| SES-C+SES-D (1º CENÁRIO) | CO(DQO)a-01 | 23 | 2.078 | 2.750 | 47.785 | 175 | 749 | 9.697 |
| | CO(DQO)e-01 | 23 | 831 | 1.100 | 19.114 | 70 | 300 | 3.879 |
| | CO(DQO)r-01 | 23 | 1.247 | 1.650 | 28.671 | 105 | 449 | 5.818 |
| | CO(SO ₄ ²⁻)r-01 | 23 | 181 | 240 | 4.168 | 15 | 65 | 846 |
| | CO(DQO)lo-01 | 23 | 266 | 352 | 6.107 | 22 | 96 | 1.239 |
| | CO(DQO)CH ₄ -01 | 23 | 800 | 1.059 | 18.396 | 67 | 288 | 3.733 |
| SES-C+SES-D (2º CENÁRIO) | CO(DQO)a-01 | 23 | 2.078 | 2.750 | 47.785 | 175 | 749 | 9.697 |
| | CO(DQO)e-01 | 23 | 727 | 963 | 16.725 | 61 | 262 | 3.394 |
| | CO(DQO)r-01 | 23 | 1.350 | 1.788 | 31.060 | 114 | 487 | 6.303 |
| | CO(SO ₄ ²⁻)r-01 | 23 | 170 | 225 | 3.907 | 14 | 61 | 793 |
| | CO(DQO)lo-01 | 23 | 288 | 381 | 6.616 | 24 | 104 | 1.343 |
| | CO(DQO)CH ₄ -01 | 23 | 893 | 1.182 | 20.537 | 75 | 322 | 4.168 |
| SES-C+SES-D (3º CENÁRIO) | CO(DQO)a-01 | 23 | 2.078 | 2.750 | 47.785 | 175 | 749 | 9.697 |
| | CO(DQO)e-01 | 23 | 629 | 822 | 14.466 | 52 | 225 | 2.909 |
| | CO(DQO)r-01 | 23 | 1.468 | 1.917 | 33.755 | 122 | 524 | 6.788 |
| | CO(SO ₄ ²⁻)r-01 | 23 | 160 | 209 | 3.680 | 13 | 57 | 740 |
| | CO(DQO)lo-01 | 23 | 313 | 408 | 7.190 | 26 | 112 | 1.446 |
| | CO(DQO)CH ₄ -01 | 23 | 995 | 1.300 | 22.885 | 83 | 355 | 4.602 |
| TIPO DE SES | Variável | N | Média | DP | Soma | Mínimo | Mediana | Máximo |
| SES-C (1º CENÁRIO) | CO(DQO)a-01 | 9 | 4.563 | 3.044 | 41.071 | 874 | 3.819 | 9.697 |
| | CO(DQO)e-01 | 9 | 1.825 | 1.217 | 16.428 | 349 | 1.528 | 3.879 |
| | CO(DQO)r-01 | 9 | 2.738 | 1.826 | 24.642 | 524 | 2.291 | 5.818 |
| | CO(SO ₄ ²⁻)r-01 | 9 | 398 | 266 | 3.582 | 76 | 333 | 846 |
| | CO(DQO)lo-01 | 9 | 583 | 389 | 5.249 | 112 | 488 | 1.239 |
| | CO(DQO)CH ₄ -01 | 9 | 1.757 | 1.172 | 15.811 | 336 | 1.470 | 3.733 |
| SES-C (2º CENÁRIO) | CO(DQO)a-01 | 9 | 4.563 | 3.044 | 41.071 | 874 | 3.819 | 9.697 |
| | CO(DQO)e-01 | 9 | 1.597 | 1.065 | 14.375 | 306 | 1.337 | 3.394 |
| | CO(DQO)r-01 | 9 | 2.966 | 1.978 | 26.696 | 568 | 2.482 | 6.303 |
| | CO(SO ₄ ²⁻)r-01 | 9 | 373 | 249 | 3.358 | 71 | 312 | 793 |
| | CO(DQO)lo-01 | 9 | 632 | 421 | 5.686 | 121 | 529 | 1.343 |
| | CO(DQO)CH ₄ -01 | 9 | 1.961 | 1.308 | 17.651 | 376 | 1.641 | 4.168 |
| SES-C (3º CENÁRIO) | CO(DQO)a-01 | 9 | 4.563 | 3.044 | 41.071 | 874 | 3.819 | 9.697 |
| | CO(DQO)e-01 | 9 | 1.369 | 913 | 12.321 | 262 | 1.146 | 2.909 |
| | CO(DQO)r-01 | 9 | 3.194 | 2.131 | 28.750 | 612 | 2.673 | 6.788 |
| | CO(SO ₄ ²⁻)r-01 | 9 | 348 | 232 | 3.135 | 67 | 292 | 740 |
| | CO(DQO)lo-01 | 9 | 680 | 454 | 6.124 | 130 | 569 | 1.446 |
| | CO(DQO)CH ₄ -01 | 9 | 2.166 | 1.444 | 19.491 | 415 | 1.812 | 4.602 |

741
742
743
744
745
746
747
748

749 **Tabela 9:** Resumo do estatístico descritivo das cargas orgânicas nas ETE's na RMB

| TIPO DE SES | Variável | N | Média | DP | Soma | Mínimo | Mediana | Máximo |
|-----------------------|---------------|----|-------|-----|-------|--------|---------|--------|
| SES-D (1º CENÁRIO) | CO(DQO)a-01 | 14 | 480 | 270 | 6.714 | 175 | 374 | 949 |
| | CO(DQO)e-01 | 14 | 192 | 108 | 2.686 | 70 | 150 | 379 |
| | CO(DQO)r-01 | 14 | 288 | 162 | 4.028 | 105 | 225 | 569 |
| | CO(SO4-2)r-01 | 14 | 42 | 24 | 586 | 15 | 33 | 83 |
| | CO(DQO)lo-01 | 14 | 61 | 35 | 858 | 22 | 48 | 121 |
| | CO(DQO)CH4-01 | 14 | 185 | 104 | 2.585 | 67 | 144 | 365 |
| SES-D (2º CENÁRIO) | CO(DQO)a-01 | 14 | 480 | 270 | 6.714 | 175 | 374 | 949 |
| | CO(DQO)e-01 | 14 | 168 | 95 | 2.350 | 61 | 131 | 332 |
| | CO(DQO)r-01 | 14 | 312 | 176 | 4.364 | 114 | 243 | 617 |
| | CO(SO4-2)r-01 | 14 | 39 | 22 | 549 | 14 | 31 | 78 |
| | CO(DQO)lo-01 | 14 | 66 | 37 | 930 | 24 | 52 | 131 |
| | CO(DQO)CH4-01 | 14 | 206 | 116 | 2.886 | 75 | 161 | 408 |
| SES-D (3º CENÁRIO) | CO(DQO)a-01 | 14 | 480 | 270 | 6.714 | 175 | 374 | 949 |
| | CO(DQO)e-01 | 14 | 153 | 82 | 2.145 | 52 | 135 | 285 |
| | CO(DQO)r-01 | 14 | 358 | 192 | 5.006 | 122 | 315 | 664 |
| | CO(SO4-2)r-01 | 14 | 39 | 21 | 546 | 13 | 34 | 72 |
| | CO(DQO)lo-01 | 14 | 76 | 41 | 1.066 | 26 | 67 | 141 |
| | CO(DQO)CH4-01 | 14 | 242 | 130 | 3.394 | 83 | 213 | 450 |

750 Na **Figura 11** se pode observar a distribuição das cargas orgânicas utilizadas para redução
751 de SO_4^{2-} , convertida em biomassa (lodo) e a transformada em CH_4 para as ETE'S RMB
752 envolvendo SES-C e SES-D, e cuja avaliação desta figura, indica que a maior parcela
753 devido ao tratamento anaeróbio irá resultar na carga orgânica de entrada convertida em
754 metano, tendo menor valor de 64,2% para o Cenário-01 (**Figura 11a**) e maior valor de 67,8%
755 para o Cenário-03 (**Figura 11c**). Além disso, se verifica que a fração de 21,3% devido a
756 parcela de carga orgânica transformada em lodo se mantém constante em todos os
757 cenários simulados, enquanto que a parcela de redução de SO_4^{2-} teve valores de 14,5%,
758 12,6% e 10,9% para os Cenário-01, Cenário-02 e Cenário-03, respectivamente. O fato de
759 não se ter alterações na carga orgânica transformada em lodo nos cenários simulados, se
760 deve a igualdade do valor do coeficiente de produção de lodo (Y) em todos os cenários, e
761 a diminuição na eficiência de SO_4^{2-} (%) de 6,66% do Cenário 1 ao Cenário 2 (**Figura 11a-**
762 **b**) e de 14,0 % do Cenário 1 ao Cenário 3 (**Figura 11a-c**), pois se considera na remoção da
763 matéria carbonácea em esgoto sanitário a prevalência do processo de metanogênese em
764 relação ao de sulfotogênese (van Haandel & Lettinga, 1994 e Chernicharo, 2007). Também,
765 na **Figura 11d-f** se tem o balanço de matéria orgânica em reatores UASB e as principais
766 conclusões são:

- 767 • A DQO aplicada ao reator UASB convertida em biomassa terá uma faixa variação de
768 12,8% (Cenário 1) a 14,9% (Cenário 3), verificando-se que as bactérias redutoras de
769 sulfato (BRS) irão utilizar entre 7,6% a 8,7% da DQO aplicada para a redução de sulfato;
- 770 • Mantendo-se carga de DQO aplicada de 47.784,90 kgDQO/d em todas as ETE's, a
771 DQO efetivamente convertida em CH₄ (DQOCH₄-Biogás) e presente no biogás, que
772 representará, portanto, o potencial efetivo de recuperação de energia, terá valores de
773 13,1%, 22,2% e 32,2%, para os Cenário 1, Cenário 2 e Cenário 3, respectivamente. O
774 melhor desempenho verificado no Cenário 3, se configura na situação otimista, que no
775 caso da RMB está sujeita à alta precipitação pluviométrica e influência da maré,
776 provavelmente só será alcançado no SES-C ou SES-D, quando fatores como nível de
777 água subterrânea, grau de acesso da água pluvial no SES, qualidade da execução da
778 rede, idade da rede, material da tubulação, etc. permitirem menor acesso de água de
779 infiltração na rede coletora de esgoto, o que deve ser recorrentemente combatido e
780 controlado, devido a influência significativa deste fator quanto a alteração que se pode ter
781 nas condições estabelecidas em termos da caracterização da matéria orgânica no esgoto
782 bruto a ser tratado;
- 783 • Em termos de perdas, se observa destaque para a DQO convertida em metano e
784 perda dissolvida com o efluente (DQOCH₄-PEF), cujo percentual tem valor mínimo de
785 13,6% para o Cenário 3 e máximo de 23,1% para o Cenário 1. Tal diferença percentual,
786 se deve aos valores de desempenho em termos de DQO estabelecidos nas simulações
787 (Tabela 2), e cuja concentração no efluente tratado em média irá ocasionar DQO de 38,44
788 mg/L (Cenário 1) a 17,12 mg/L (Cenário 3). Esses valores de concentração para
789 DQOCH₄-PEF são em média 1,39 vezes superior a faixa de 15 a 25 mg/L reportada por
790 Lobato et al. (2012).

791 O comportamento dos gráficos de box-plot da **Figura 12** relativo às distintas frações
792 de DQO envolvidas no tratamento de esgoto com reatores do tipo UASB, revela que em
793 todos os cenários simulados não se teve valores atípicos (*outliers*), independentemente do
794 tipo SES-C ou SES-D. E que as maiores AIQ aconteceram para a CO(DQO)_r, sendo
795 observando no SES-C valor de 3.197 kgDQO/d e de 342,9 kgDQO/d para o SES-D, ambos
796 ocorridos no Cenário 3 (Figura 12c-f). Ainda é possível também, notar na Figura 12, que
797 em todos os cenários estudados, os valores máximos da CO(DQO)_e, CO(DQO)_r, CO(SO₄⁻²)_r,
798 CO(DQO)_{io}, CO(DQO)_{CH₄} ocorreram para as ETE's do SES-C, devido essas unidades
799 de tratamento de esgoto possuírem maior capacidade hidráulica e de tratamento da carga
800 orgânica quando comparadas com as ETE's do SES-D.

801 A seguir se descrevem o panorama geral do balanço de massa da matéria
802 carbonácea por cenário simulado no software Probio 1.0, para o SES-C e para SES-D:

803 No Cenário 1: o SES-C (Figura 12a), pelos resultados medianos nos revela que as
804 ETE's tratando 3.819 kgDQO/d de carga orgânica (Tabela 8) com desempenho médio de
805 60%, irão ter 1.528 kgDQO/d no efluente, 488 kgDQO/d convertida em lodo digerido e 1.470
806 kgDQO/d como CH₄, enquanto que no SES-D (Figura 12d) para a carga orgânica de
807 entrada de 374 kgDQO/d, que representa (100%) do conteúdo carbonáceo se obtém 150
808 kgDQO/d no efluente, 48 kgDQO/d como lodo digerido e 144 kgDQO/d na forma de CH₄;

809 Para o Cenário 2: o SES-C (Figura 12b), as ETE's tratando 3.819 kgDQO/d de carga
810 orgânica (Tabela 8) operando com eficiência de remoção de 65% em termos de DQO, vão
811 ter 1.337 kgDQO/d no efluente, 529 kgDQO/d como lodo e 1.641 kgDQO/d em termos de
812 CH₄, enquanto que no SES-D (Figura 12e) com carga orgânica mediana de entrada de 374
813 kgDQO/d, se espera divisão desta, em 150 kgDQO/d no efluente, 52 kgDQO/d na forma de
814 lodo e 161 kgDQO/d como CH₄.

815 E finalmente no Cenário 3: para o SES-C (Figura 12c) com as ETE's sob eficiência
816 de remoção de 70% para DQO e recebendo carga bruta orgânica de 3.819 kgDQO/d
817 (Tabela 8), essas unidades vão apresentar distribuição da carga de 1.146 kgDQO/d no
818 efluente, 569 kgDQO/d como lodo e 1.812 kgDQO/d em termos de CH₄, enquanto que no
819 SES-D (Figura 12f) para carga orgânica mediana de entrada de 374 kgDQO/d, se espera
820 divisão desta em 135 kgDQO/d no efluente, 67 kgDQO/d na forma de lodo e 213 kgDQO/d
821 como CH₄.

822 A seguir na Tabela 10 se tem o resumo do intervalo de confiança (IC) para CO(DQO)_e,
823 CO(DQO)_r, CO(SO₄⁻²)_r, CO(DQO)_{lo} e CO(DQO)CH₄ das ETE's da RMB considerando os
824 cenários avaliados, de maneira a se ter conhecimento da margem de incerteza (ou
825 imprecisão) frente aos cálculos efetuados no presente estudo. E no qual se verifica que a
826 menor confiança a atingida ocorre para as ETE's do SES-D.

827

828

829

830

831

832

833

834

835

836 **Tabela 10.** Resumo do intervalo de confiança (IC) para cargas orgânicas das ETE's da
 837 RMB

| ETE'S DO SES-C DA RMB (CENÁRIO DE 1, CENÁRIO 2 e CENÁRIO 3) | | | | | |
|---|----|-------------|--------------------|-----------------------------|--------------|
| VARIÁVEL | N | MEDIANA (%) | CONFIANÇA ATINGIDA | INTERVALO DE CONFIANÇA (IC) | |
| | | | | INFERIOR (%) | SUPERIOR (%) |
| CO(DQO)e | 27 | 1.337 | 0,9478 | 1.136 | 1.677 |
| CO(DQO)r | 27 | 2.482 | 0,9478 | 2.109 | 3.114 |
| CO(SO ₄ ⁻²)r | 27 | 312,3 | 0,9478 | 265,3 | 391,8 |
| CO(DQO)lo | 27 | 528,7 | 0,9478 | 449,2 | 663,5 |
| CO(DQO) _{CH4} | 27 | 1.641 | 0,9478 | 1.395 | 2.059 |

| ETE'S DO SES-D DA RMB (CENÁRIO DE 1, CENÁRIO 2 e CENÁRIO 3) | | | | | |
|---|----|-------------|--------------------|-----------------------------|--------------|
| VARIÁVEL | N | MEDIANA (%) | CONFIANÇA ATINGIDA | INTERVALO DE CONFIANÇA (IC) | |
| | | | | INFERIOR (%) | SUPERIOR (%) |
| CO(DQO)e | 42 | 140,1 | 0,9116 | 109,8 | 205,9 |
| CO(DQO)r | 42 | 252,4 | 0,9116 | 202,8 | 411,8 |
| CO(SO ₄ ⁻²)r | 42 | 31,60 | 0,9116 | 27,20 | 52,40 |
| CO(DQO)lo | 42 | 53,80 | 0,9116 | 43,20 | 87,70 |
| CO(DQO) _{CH4} | 42 | 169,1 | 0,9116 | 134,1 | 264,2 |

838
 839
 840
 841
 842
 843
 844
 845
 846
 847
 848
 849
 850
 851
 852
 853
 854
 855
 856
 857
 858
 859
 860
 861
 862
 863
 864
 865
 866
 867
 868

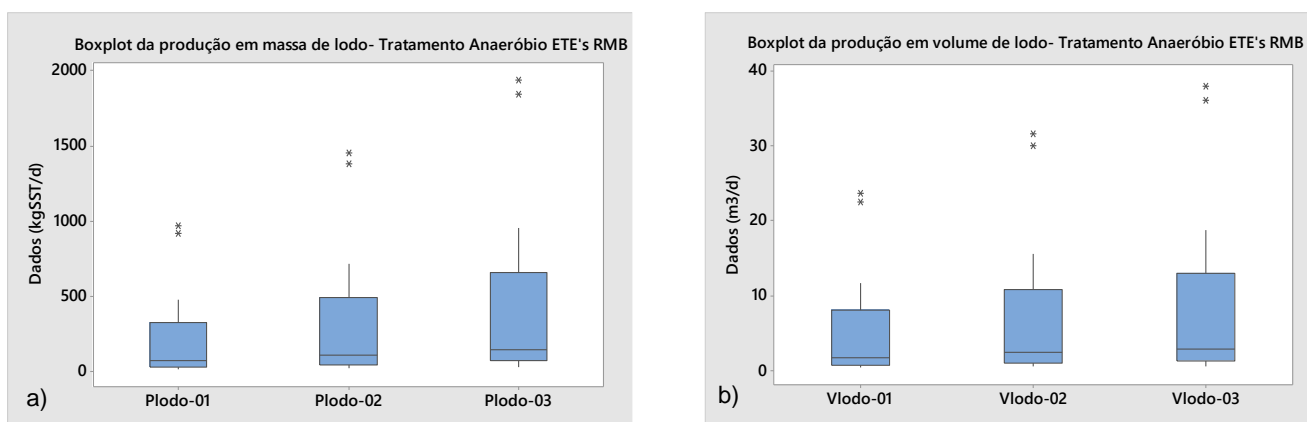
869 **4.3. Estimativa da produção e higienização de lodo em reatores UASB**

870 A seguir na **Tabela 11**, **Figura 13**, **Figura 14** e **Figura 15** estão apresentados: o
 871 resumo estatístico descritivo, gráfico de box-plot (massa e volume) da produção de lodo
 872 para todas as ETE's da RMB e gráfico de box-plot (massa e volume) da geração de lodo
 873 para ETE's por tipo de SES interligado em função dos cenários de investigação do presente
 874 estudo.

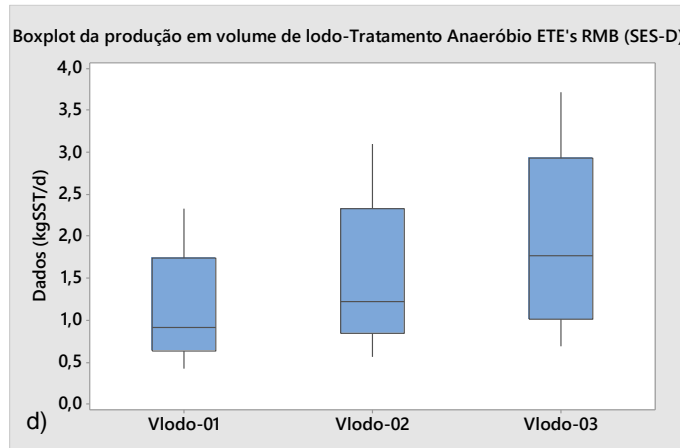
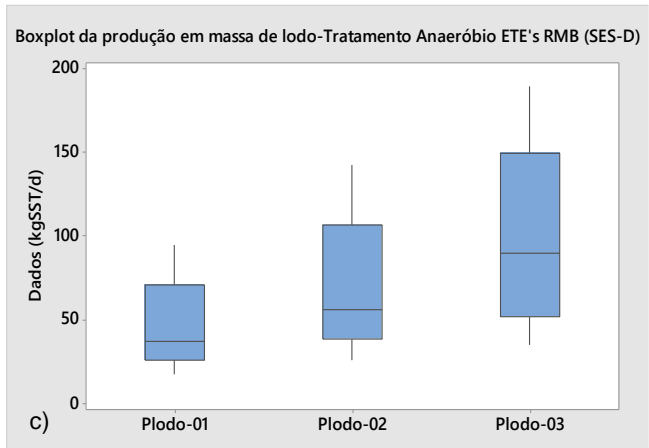
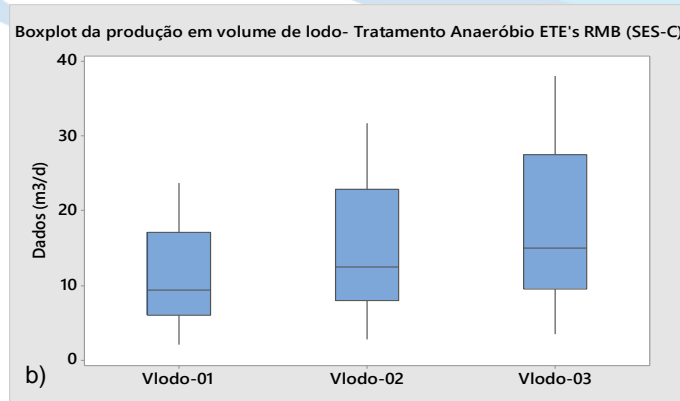
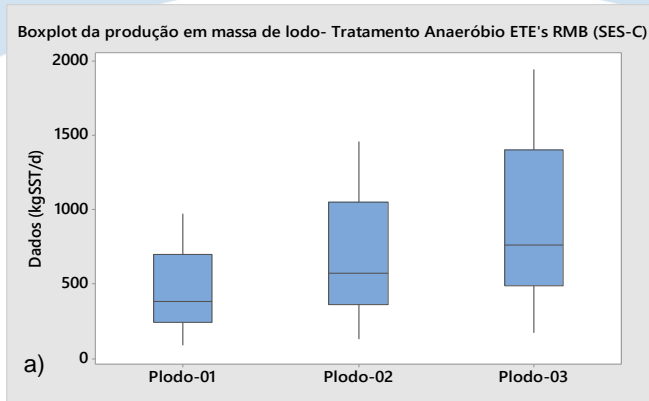
875 **Tabela 11:** Resumo do estatístico descritivo da produção de lodo nas ETE's na RMB

| TIPO DE SES | Variável | N | Média | DP | Soma | Mínimo | Mediana | Máximo |
|-----------------------------|-------------------|----|--------|--------|----------|--------|---------|----------|
| SES-C+SES-D (1º CENÁRIO) | P _{lodo} | 23 | 207,80 | 275,00 | 4.778,50 | 17,50 | 74,90 | 969,70 |
| | V _{lodo} | 23 | 5,09 | 6,74 | 117,12 | 0,43 | 1,84 | 23,77 |
| SES-C+SES-D (2º CENÁRIO) | P _{lodo} | 23 | 311,60 | 412,60 | 7.167,70 | 26,20 | 112,30 | 1.454,60 |
| | V _{lodo} | 23 | 6,79 | 8,99 | 156,16 | 0,57 | 2,45 | 31,69 |
| SES-C+SES-D (3º CENÁRIO) | P _{lodo} | 23 | 419,00 | 548,00 | 9.644,00 | 35,00 | 150,00 | 1.939,00 |
| | V _{lodo} | 23 | 8,22 | 10,74 | 189,10 | 0,69 | 2,94 | 38,03 |
| TIPO DE SES | Variável | N | Média | DP | Soma | Mínimo | Mediana | Máximo |
| SES-C (1º CENÁRIO) | P _{lodo} | 9 | 456,00 | 304,00 | 4.107,00 | 87,00 | 382,00 | 970,00 |
| | V _{lodo} | 9 | 11,18 | 7,46 | 100,66 | 2,14 | 9,36 | 23,77 |
| SES-C (2º CENÁRIO) | P _{lodo} | 9 | 685,00 | 457,00 | 6.161,00 | 131,00 | 573,00 | 1.455,00 |
| | V _{lodo} | 9 | 14,91 | 9,95 | 134,22 | 2,85 | 12,48 | 31,69 |
| SES-C (3º CENÁRIO) | P _{lodo} | 9 | 913,00 | 609,00 | 8.214,00 | 175,00 | 764,00 | 1.939,00 |
| | V _{lodo} | 9 | 17,90 | 11,94 | 161,06 | 3,43 | 14,98 | 38,03 |
| TIPO DE SES | Variável | N | Média | DP | Soma | Mínimo | Mediana | Máximo |
| SES-D (1º CENÁRIO) | P _{lodo} | 14 | 47,96 | 27,01 | 671,43 | 17,47 | 37,44 | 94,85 |
| | V _{lodo} | 14 | 1,18 | 0,66 | 16,46 | 0,43 | 0,92 | 2,33 |
| SES-D (2º CENÁRIO) | P _{lodo} | 14 | 71,90 | 40,50 | 1.007,10 | 26,20 | 56,20 | 142,30 |
| | V _{lodo} | 14 | 1,57 | 0,88 | 21,94 | 0,57 | 1,22 | 3,10 |
| SES-D (3º CENÁRIO) | P _{lodo} | 14 | 102,2 | 54,9 | 1430,2 | 34,9 | 89,9 | 189,7 |
| | V _{lodo} | 14 | 2,003 | 1,076 | 28,044 | 0,685 | 1,762 | 3,72 |

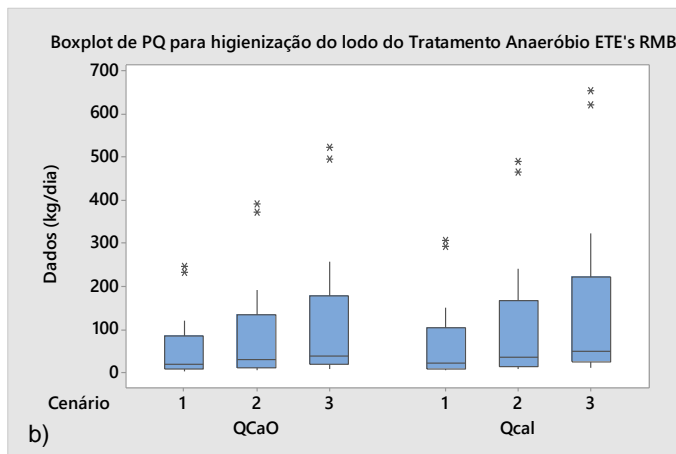
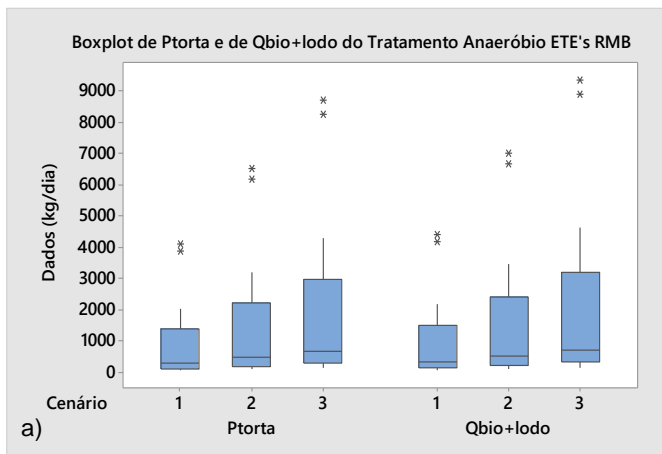
876 **Figura 13.** Box-plot da produção de lodo total nas ETE's da RMB (a e b).



877 **Figura 14.** Box-plot da produção de lodo nas ETE's do SES-C (a e b) e ETE's do SES-D (c
 878 e d).



879 **Figura 15.** Box-plot das variáveis envolvidas na higienização de lodo nas ETE's da RMB
 880 para os cenários de investigação.



881 ETE's da RMB e na **Tabela 12** o resumo estatístico relativo a essa etapa de
 882 gerenciamento de lodo.

883
 884
 885
 886
 887
 888

889 **Tabela 12:** Resumo do estatístico descritivo da higienização de lodo nas ETE's na RMB.

| TIPO DE SES | Variável | N | Média | DP | Soma | Mínimo | Mediana | Máximo |
|-----------------------------|-----------------------|----|----------|----------|-----------|--------|----------|----------|
| SES-C+SES-D (1º CENÁRIO) | P _{torta} | 23 | 883,00 | 1.169,00 | 20.309,00 | 74,00 | 318,00 | 4.121,00 |
| | Q _{CaO} | 23 | 53,00 | 70,10 | 1.218,50 | 4,50 | 19,10 | 247,30 |
| | Q _{Cal} | 23 | 66,20 | 87,70 | 1.523,10 | 5,60 | 23,90 | 309,10 |
| | Q _{bio+lodo} | 23 | 949,00 | 1.257,00 | 21.832,00 | 80,00 | 342,00 | 4.430,00 |
| SES-C+SES-D (2º CENÁRIO) | P _{torta} | 23 | 1.402,00 | 1.856,00 | 32.255,00 | 118,00 | 505,00 | 6.545,00 |
| | Q _{CaO} | 23 | 84,10 | 111,40 | 1.935,30 | 7,10 | 30,30 | 392,70 |
| | Q _{Cal} | 23 | 105,20 | 139,20 | 2.419,10 | 8,80 | 37,90 | 490,90 |
| | Q _{bio+lodo} | 23 | 1.508,00 | 1.996,00 | 34.674,00 | 127,00 | 543,00 | 7.036,00 |
| SES-C+SES-D (3º CENÁRIO) | P _{torta} | 23 | 1.887,00 | 2.465,00 | 43.400,00 | 157,00 | 674,00 | 8.727,00 |
| | Q _{CaO} | 23 | 113,20 | 147,90 | 2.604,00 | 9,40 | 40,40 | 523,60 |
| | Q _{Cal} | 23 | 141,50 | 184,90 | 3.255,00 | 11,80 | 50,50 | 654,50 |
| | Q _{bio+lodo} | 23 | 2.028,00 | 2.650,00 | 46.654,00 | 169,00 | 724,00 | 9.382,00 |
| TIPO DE SES | Q _{CaO} | N | Média | DP | Soma | Mínimo | Mediana | Máximo |
| SES-C (1º CENÁRIO) | P _{torta} | 9 | 1.939,00 | 1.294,00 | 17.455,00 | 371,00 | 1.623,00 | 4.121,00 |
| | Q _{CaO} | 9 | 116,40 | 77,60 | 1.047,30 | 22,30 | 97,40 | 247,30 |
| | Q _{Cal} | 9 | 145,50 | 97,00 | 1.309,10 | 27,80 | 121,70 | 309,10 |
| | Q _{bio+lodo} | 9 | 2.085,00 | 1.391,00 | 18.764,00 | 399,00 | 1.745,00 | 4.430,00 |
| SES-C (2º CENÁRIO) | P _{torta} | 9 | 3.080,00 | 2.054,00 | 27.723,00 | 590,00 | 2.578,00 | 6.545,00 |
| | Q _{CaO} | 9 | 184,80 | 123,30 | 1.663,40 | 35,40 | 154,70 | 392,70 |
| | Q _{Cal} | 9 | 231,00 | 154,10 | 2.079,20 | 44,20 | 193,30 | 490,90 |
| | Q _{bio+lodo} | 9 | 3.311,00 | 2.209,00 | 29.802,00 | 634,00 | 2.771,00 | 7.036,00 |
| SES-C (3º CENÁRIO) | P _{torta} | 9 | 4.107,00 | 2.739,00 | 36.964,00 | 786,00 | 3.437,00 | 8.727,00 |
| | Q _{CaO} | 9 | 246,40 | 164,40 | 2.217,80 | 47,20 | 206,20 | 523,60 |
| | Q _{Cal} | 9 | 308,00 | 205,40 | 2.772,30 | 59,00 | 257,80 | 654,50 |
| | Q _{bio+lodo} | 9 | 4.415,00 | 2.945,00 | 39.736,00 | 845,00 | 3.695,00 | 9.382,00 |
| TIPO DE SES | Variável | N | Média | DP | Soma | Mínimo | Mediana | Máximo |
| SES-D (1º CENÁRIO) | P _{torta} | 14 | 203,80 | 114,80 | 2.853,60 | 74,20 | 159,10 | 403,10 |
| | Q _{CaO} | 14 | 12,23 | 6,89 | 171,21 | 4,45 | 9,55 | 24,19 |
| | Q _{Cal} | 14 | 15,29 | 8,61 | 214,02 | 5,57 | 11,93 | 30,23 |
| | Q _{bio+lodo} | 14 | 219,10 | 123,40 | 3.067,60 | 79,80 | 171,10 | 433,30 |
| SES-D (2º CENÁRIO) | P _{torta} | 14 | 323,70 | 182,30 | 4.532,20 | 117,90 | 252,70 | 640,20 |
| | Q _{CaO} | 14 | 19,42 | 10,94 | 271,93 | 7,08 | 15,16 | 38,41 |
| | Q _{Cal} | 14 | 24,28 | 13,67 | 339,91 | 8,84 | 18,95 | 48,02 |
| | Q _{bio+lodo} | 14 | 348,00 | 196,00 | 4.872,10 | 126,80 | 271,70 | 688,30 |
| SES-D (3º CENÁRIO) | P _{torta} | 14 | 459,70 | 247,00 | 6.436,00 | 157,20 | 404,40 | 853,70 |
| | Q _{CaO} | 14 | 27,58 | 14,82 | 386,16 | 9,43 | 24,26 | 51,22 |
| | Q _{Cal} | 14 | 34,48 | 18,53 | 482,70 | 11,79 | 30,33 | 64,02 |
| | Q _{bio+lodo} | 14 | 494,2 | 265,5 | 6918,7 | 169 | 434,7 | 917,7 |

890

891 A produção mássica e volumétrica de lodo nas ETE's na RMB (**Figura 13, Figura 14 e**
 892 **Figura 15**) indicam a existência de valores extremos (outliers) em todos os cenários de
 893 investigação realizados, cuja ocorrência desses outliers se deve a capacidade hidráulica da
 894 ETE04 e da ETE09 (vazão ≥ 250 L/s), fato esse que não acontece quando se tem a Além

895 disso, se pode observar nos gráficos de box-plot (**Figura 13, Figura 14 e Figura 15**) o
896 aumento no valor da mediana da produção de lodo ao se comparar os cenários de
897 investigação, e cujo incremento resulta do desempenho dos reatores UASB de 60%, 65%
898 a 70% quanto a remoção de matéria carbonácea (DQO) estabelecido nas premissas desse
899 estudo.

900 A seguir se descrevem as inferências principais quanto a produção de lodo e a
901 higienização para o Cenário 1, Cenário 2 e Cenário 3:

902 No Cenário 1 as ETE's da RMB tratando 2.078 ± 2.750 kgDQO_a/d em média vão gerar
903 $207,80 \pm 275$ kg/dia (**Tabela 11**) de lodo e cujo potencial de produção de biossólido pela via
904 de estabilização alcalina é de aproximadamente $949,00 \pm 1.257$ kg/dia (Figura 15b).
905 Enquanto, que no Cenário 2 e no Cenário 3, respectivamente, mantendo-se a mesma carga
906 aplicada de DQO do Cenário 1, se tem acréscimos de 1,50 a 2,0 vezes na produção de
907 lodo, o que irá demandar quantidades medianas de cal aplicada de $\sim 105,20 \pm 1.257$
908 kgQ_{Cal}/dia no Cenário 2 e de $\sim 141,50 \pm 184,90$ kgQ_{Cal}/dia no Cenário 3, para fabricação de
909 biossólido (**Tabela 14**) de $\sim 1.508,00 \pm 1.996$ kg_{bio+lodo}/dia e de $\sim 2.028,00 \pm 2.650$ kg_{bio+lodo}/dia,
910 respectivamente, relativo a esses cenários.

911 Além disso, os resultados envolvendo todos os cenários, indicaram que 85,7% do
912 gerenciamento de lodo (produção e a higienização) nas ETE's da RMB acontecerá nas
913 ETE's do SES-C, com destaque para a ETE09, que operando com $3.319,70$ kgDQO_a/d
914 pode produzir 6.950 ± 2.476 kg/dia de biossólido, e os 14,3% restantes serão representados
915 pelas ETE's do SES-D, com maior potencial para ETE22 (492 ± 175 kg/dia de biossólido).

916 A seguir **Tabela 13** se tem o resumo do intervalo de confiança (IC) quanto a produção
917 de lodo e a higienização do lodo nas ETE's da RMB considerando os cenários avaliados. E
918 no qual se verifica que em termos da mediana, que a produção de lodo, em termos globais,
919 se considerando todos os cenários e apenas a remoção de C por tratamento anaeróbio, se
920 obteve valor mediano de $\sim 572,8$ kg/d ($381,9$ kg/d < IC < $763,8$ kg/d – IC 0,9478) para as
921 ETE's do SES-C e de $\sim 60,22$ kg/d ($46,80$ kg/d < IC < $76,75$ kg/d – IC 0,9116) para as ETE's
922 do SES-D, com produção per capita de $6,24$ gST/hab.d, $9,36$ gST/hab.d e $12,59$ gST/hab.d,
923 respectivamente, para o cenário 1, 2 e 3. Esses resultados de produção per capita quanto
924 comparados aos dados de 12 a 18 gST/hab.d reportados por Andreoli *et al.*(2001) indicam
925 que o Cenário 1 e 2 se refere a um quadro de baixa produtividade de lodo, ocasionado
926 sobretudo pela característica do esgoto sanitário e as condições de desempenho fixadas
927 para o reator UASB, enquanto, no Cenário 3 se tem situação de normalidade já que os
928 dados estão dentro do intervalo indicado pela literatura técnica.

929 **Tabela 13.** Resumo do intervalo de confiança (IC) para produção de lodo e a higienização
930 das ETE's da RMB.

| ETE'S DO SES-C DA RMB (CENÁRIO DE 1, CENÁRIO 2 e CENÁRIO 3) | | | | | |
|---|----|---------|--------------------|-----------------------------|--------------|
| VARIÁVEL | N | MEDIANA | CONFIANÇA ATINGIDA | INTERVALO DE CONFIANÇA (IC) | |
| | | | | INFERIOR (%) | SUPERIOR (%) |
| Produção de lodo (kg/d) | 27 | 572,8 | 0,9478 | 381,9 | 763,8 |
| Produção de lodo (m ³ /d) | 27 | 12,48 | 0,9478 | 9,36 | 15,66 |
| Produção de torta (kgSST/d) | 27 | 2.578 | 0,9478 | 1.626 | 3.437 |
| QCaO (kg/d) | 27 | 154,7 | 0,9478 | 97,4 | 206,2 |
| QCal(kg/d) | 27 | 193,3 | 0,9478 | 121,7 | 257,8 |
| Qbio+lodo (kg/d) | 27 | 2.771 | 0,9478 | 1.745 | 3.695 |

| ETE'S DO SES-D DA RMB (CENÁRIO DE 1, CENÁRIO 2 e CENÁRIO 3) | | | | | |
|---|----|---------|--------------------|-----------------------------|--------------|
| VARIÁVEL | N | MEDIANA | CONFIANÇA ATINGIDA | INTERVALO DE CONFIANÇA (IC) | |
| | | | | INFERIOR (%) | SUPERIOR (%) |
| Produção de lodo (kg/d) | 42 | 60,22 | 0,9116 | 46,80 | 76,75 |
| Produção de lodo (m ³ /d) | 42 | 1,259 | 0,9116 | 1,020 | 1,713 |
| Produção de torta (kgSST/d) | 42 | 271,0 | 0,9116 | 210,6 | 345,4 |
| QCaO (kg/d) | 42 | 16,26 | 0,9116 | 12,64 | 20,72 |
| QCal(kg/d) | 42 | 20,32 | 0,9116 | 15,79 | 25,90 |
| Qbio+lodo (kg/d) | 42 | 291,3 | 0,9116 | 226,4 | 371,3 |

931 Outro importante, aspecto quanto a produção de lodo, se refere a obtenção do
932 indicador de produtividade volumétrica de lodo (IPVL), que nesse trabalho seguiu
933 adaptação a propostos por Batista (2015) como sendo a razão do $m^3_{\text{lodo}}/kgDQO_{re}$, e cujos
934 resultados foram os seguintes:

935 I) indicador por tipo de ETE's (SES-C e SES-D): ao realizarmos a determinação do
936 IPVL considerando a mediana se obtém valor de $0,005 m^3_{\text{lodo}}/kgDQO_{re}$;

937 II) indicador por município: a determinação por município, considerando a mediana,
938 indicou valor de $0,005 m^3_{\text{lodo}}/kgDQO_{re}$ em Ananindeua, $0,006 m^3_{\text{lodo}}/kgDQO_{re}$ em Belém
939 e $0,005 m^3_{\text{lodo}}/kgDQO_{re}$ em Marituba;

940 III) indicador por cenário: a obtenção desse indicador, considerando a mediana, por
941 cenário revelou dados de $0,004 m^3_{\text{lodo}}/kgDQO_{re}$ – Cenário 01, $0,005 m^3_{\text{lodo}}/kgDQO_{re}$ –
942 Cenário 02 e $0,006 m^3_{\text{lodo}}/kgDQO_{re}$ – Cenário 03.

943 O fato de não se observar diferença do IPVL por tipo de ETE's decorrer da
944 equiparidade em termo da eficiência de $\sim 65\%$ remoção de DQO e nas premissas desse
945 estudo não se ter considerado distintos Y_{lodo} para ETE's do SES-C e ETE's do SES-D. E
946 para o caso do IPVL por município, a diferença observada se deve a distribuição espacial
947 das ETE's, cuja configuração até 2019 era de 5 ETE's (21,74%) em Ananindeua, 17 ETE's
948 (73,91%) em Belém, e 1 ETE (4,35%) em Marituba, o que irá se refletir proporcionalmente
949 na carga de DQO removida e na produção de lodo. Contudo, ao se determinar o IPVL por
950 cenário se verifica distintos valores para o indicador e que tem aumento de 23% (Cenário

951 1 para Cenário 2) e de 37% (Cenário 1 para 3), ocasionado pela melhorar das unidades
952 UASB em remover a matéria carbonácea (DQO) e converter parte dessa em lodo.

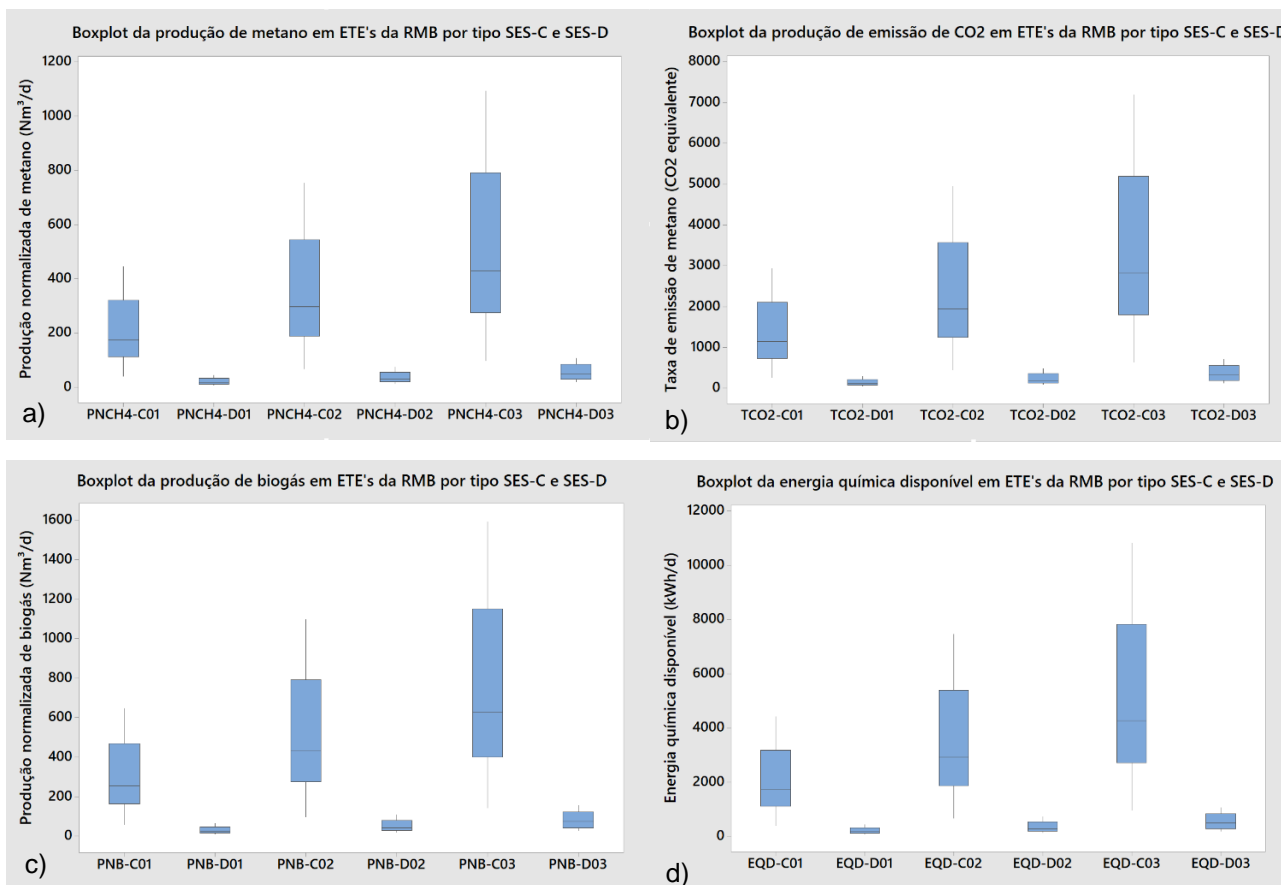
953

954 4.4. Potencial da geração de EE e emissão de metano em reatores UASB

955 A seguir na **Figura 16**, se tem como o comportamento de variação para PNCH4,
956 TCO2, PNB e EQD para os cenários de avaliação das ETE's do SES-C e das ETE's do
957 SES-D e na **Tabela 14** se tem o resumo estatístico descritivo quanto ao potencial da
958 geração de energia e de emissão de metano

959

960 **Figura 16.** Box-plot potencial da PNCH4 (a), TCO2(b), PNB (c) e EQD (d) para ETE's do
961 SES-C e ETE's do SES-D.



962

963

964

965

966

967

968

969

970 **Tabela 14:** Resumo do estatístico descritivo da PNCH₄, TCO₂, PNB e EQD nas ETE's na
 971 RMB.

| TIPO DE SES | VARIÁVEL | UNIDADES | N | MÉDIA | DP | MÍNIMO | MEDIANA | MÁXIMO |
|-----------------------------|-----------|-----------------------------|----|-------|-------|--------|---------|--------|
| SES-C+SES-D (1º CENÁRIO) | PNCH4-01 | Nm ³ /d | 23 | 95,4 | 126,4 | 8 | 34,4 | 445,5 |
| | TCO2-01 | CO ₂ equivalente | 23 | 627 | 830 | 53 | 226 | 2927 |
| | PNB-01 | Nm ³ /d | 23 | 139 | 184 | 11,7 | 50,1 | 648,7 |
| | EQD-01 | kWh/d | 23 | 945 | 1251 | 80 | 341 | 4410 |
| SES-C+SES-D (2º CENÁRIO) | PNCH4-02 | Nm ³ /d | 23 | 161,5 | 213,7 | 13,6 | 58,2 | 753,6 |
| | TCO2-02 | CO ₂ equivalente | 23 | 1061 | 1404 | 89 | 382 | 4951 |
| | PNB-02 | Nm ³ /d | 23 | 235,1 | 311,2 | 19,8 | 84,7 | 1097,3 |
| | EQD-02 | kWh/d | 23 | 1598 | 2116 | 134 | 576 | 7460 |
| SES-C+SES-D (3º CENÁRIO) | PNCH4-03 | Nm ³ /d | 23 | 236,1 | 308,6 | 19,7 | 84,4 | 1093 |
| | TCO2-03 | CO ₂ equivalente | 23 | 1551 | 2027 | 129 | 555 | 7181 |
| | PNB-03 | Nm ³ /d | 23 | 343,8 | 449,4 | 28,7 | 122,9 | 1591,5 |
| | EQD-03 | kWh/d | 23 | 2338 | 3055 | 195 | 836 | 10820 |
| TIPO DE SES | VARIÁVEL | UNIDADES | N | MÉDIA | DP | MÍNIMO | MEDIANA | MÁXIMO |
| SES-C (1º CENÁRIO) | PNCH4-C01 | Nm ³ /d | 9 | 209,6 | 139,8 | 40,1 | 175,4 | 445,5 |
| | TCO2-C01 | CO ₂ equivalente | 9 | 1377 | 919 | 264 | 1153 | 2927 |
| | PNB-C01 | Nm ³ /d | 9 | 305,3 | 203,6 | 58,4 | 255,5 | 648,7 |
| | EQD-C01 | kWh/d | 9 | 2075 | 1384 | 397 | 1737 | 4410 |
| SES-C (2º CENÁRIO) | PNCH4-C02 | Nm ³ /d | 9 | 354,6 | 236,5 | 67,9 | 296,8 | 753,6 |
| | TCO2-C02 | CO ₂ equivalente | 9 | 2330 | 1554 | 446 | 1950 | 4951 |
| | PNB-C02 | Nm ³ /d | 9 | 516 | 344 | 99 | 432 | 1097 |
| | EQD-C02 | kWh/d | 9 | 3511 | 2342 | 672 | 2938 | 7460 |
| SES-C (3º CENÁRIO) | PNCH4-C03 | Nm ³ /d | 9 | 514 | 343 | 99 | 430 | 1093 |
| | TCO2-C03 | CO ₂ equivalente | 9 | 3376 | 2254 | 647 | 2828 | 7181 |
| | PNB-C03 | Nm ³ /d | 9 | 748 | 500 | 143 | 627 | 1592 |
| | EQD-C03 | kWh/d | 9 | 5087 | 3397 | 975 | 4261 | 10820 |
| TIPO DE SES | VARIÁVEL | UNIDADES | N | MÉDIA | DP | MÍNIMO | MEDIANA | MÁXIMO |
| SES-D (1º CENÁRIO) | PNCH4-D01 | Nm ³ /d | 14 | 22,02 | 12,43 | 8 | 17,2 | 43,6 |
| | TCO2-D01 | CO ₂ equivalente | 14 | 144,8 | 81,5 | 52,7 | 113 | 286,3 |
| | PNB-D01 | Nm ³ /d | 14 | 32,09 | 18,07 | 11,7 | 25,05 | 63,5 |
| | EQD-D01 | kWh/d | 14 | 218,1 | 122,9 | 79,5 | 170,3 | 431,4 |
| SES-D (2º CENÁRIO) | PNCH4-D02 | Nm ³ /d | 14 | 37,26 | 20,99 | 13,6 | 29,1 | 73,7 |
| | TCO2-D02 | CO ₂ equivalente | 14 | 244,9 | 137,9 | 89,2 | 191,2 | 484,3 |
| | PNB-D02 | Nm ³ /d | 14 | 54,28 | 30,55 | 19,8 | 42,4 | 107,3 |
| | EQD-D02 | kWh/d | 14 | 369 | 207,8 | 134,4 | 288 | 729,7 |
| SES-D (3º CENÁRIO) | PNCH4-D03 | Nm ³ /d | 14 | 57,58 | 30,94 | 19,7 | 50,65 | 106,9 |
| | TCO2-D03 | CO ₂ equivalente | 14 | 378,2 | 203,2 | 129,4 | 332,7 | 702,4 |
| | PNB-D03 | Nm ³ /d | 14 | 83,8 | 45 | 28,7 | 73,8 | 155,7 |
| | EQD-D03 | kWh/d | 14 | 570 | 306,2 | 195 | 501,4 | 1058,4 |

972
 973 Na **Figura 16**, se pode observar que entre ETE's SES-C e ETE's SES-D os
 974 diagramas em caixa da PNCH₄, TCO₂, PNB e EQD em todos os cenários não tem valores
 975 atípicos (outliers), e que independentemente do tipo SES-C ou SES-D, a AIQ apresenta

976 valor crescente do Cenário 1 ao Cenário 3 para todas as variáveis mencionadas, fato esse
977 atribuído as condições de contorno impostas. Também, é possível se notar na Figura 2 que
978 em todos os cenários estudados, os valores máximos da PNCH₄, TCO₂, PNB e EQD
979 ocorreram para as ETE's do SES-C, devido essas unidades de tratamento de esgoto
980 possuírem maior capacidade hidráulica e de tratamento da carga orgânica quando
981 comparadas com as ETE's do SES-D.

982 No Cenário 1 as ETE's da RMB tratando cerca de 47.784,90 kgDQO/d com eficiência
983 média de remoção de 60%, tem para as ETE's do SES-C, média de PNCH₄ de 209,6±139,8
984 Nm³/d, enquanto que a média obtida para as ETE's do SES-D foi de 22,02±12,43 Nm³/d.
985 Além disso, é possível se observar com base nos dados da **Tabela 14** que a TCO₂, PNB,
986 e EQD, tiveram, respectivamente, média de 627±830, 139±184 Nm³/d, e 945±1.251 kwh/d.

987 Para o Cenário 2, considerando as ETE's da RMB removendo 65% da carga
988 orgânica aplicada de 47.784,90 kgDQO/d, ao se comparar as condições de contorno deste
989 cenário com as do Cenário 1, os dados de PNCH₄, TCO₂, PNB, e EQD indicaram, em
990 média, incremento de 70%, tendo para o SES-C os valores máximos e mínimos em relação
991 a tais variáveis ocorridos para a ETE09 e ETE10, respectivamente. Enquanto, que no SES-
992 D com cerca de 14,05% do potencial da geração de energia das ETE's da RMB, a ETE14
993 teve os maiores valores de PNCH₄, TCO₂, PNB, e EQD, e o menores valores para essas
994 variáveis foram observados na ETE19/ETE20.

995 E finalmente, para o Cenário 3, com carga orgânica aplicada da ordem de 48.221,70
996 kgDQO/d e desempenho dos reatores UASB de 70% para remover matéria carbonácea, a
997 média de PNCH₄, TCO₂, PNB, e de EQD foi de 236,1±308,6 Nm³/d, 1.551±2.027,
998 343,8±449,4 Nm³/d e 2.338±3.055 kwh/d, respectivamente. Ao se confrontar tais dados
999 com os valores médios do cenário referência (Cenário 1), o potencial da geração de energia
1000 salta para aproximadamente 2,5 vezes mais, revelando assim para a EQD distribuição da
1001 ordem de 85,69% oriunda do SES-C e de 14,31% do SES-D, e obtendo-se em média para
1002 ETE04 e para ETE09, em torno de 39,24% do PNCH₄ total, e cuja contribuição dessas
1003 ETE's juntas é de 2.131,10 Nm³/d e de 21.097,70 kwh/d.

1004 Além disso, ao se correlacionar os dados de vazão das ETE's com EQD envolvendo
1005 todos cenários por tipo de SES se obtém as seguintes expressões: i) SES-C: EQD=-1,9+28,04
1006 Q_{esg.} (R²=0,703) e ii) SES-D: EQD= - 25,37+27,00 Q_{esg.} (R²=0,564). Essas expressões nos
1007 permitem identificar que no SES-C, as ETE's têm cerca de 70,3% da variação explicada pela
1008 relação linear entre vazão e EQD, enquanto que no SES-D se teve apenas 50,3% para tal
1009 relação linear, ou seja, 49,7% da variação de EQD não podem ser explicadas pela vazão.

1010 Então, se pode constatar que a determinação da EQD e conseqüentemente seu
 1011 aproveitamento em energia mecânica, térmica e/ou elétrica tem considerável influência da
 1012 vazão da ETE, haja vista que tal variável está implicitamente conectada a capacidade de
 1013 produção e a recuperação de metano, conforme corroborado por Possetti *et al.* (2012).

1014 A seguir na **Tabela 15** se tem o resumo do intervalo de confiança (IC) para PNCH₄,
 1015 TCO₂, PNB, e EQD das ETE's da RMB considerando os cenários avaliados, de maneira a
 1016 se ter conhecimento da margem de incerteza (ou imprecisão) frente aos cálculos efetuados
 1017 no presente estudo. E no qual se verifica que a menor confiança a atingida ocorre para as
 1018 ETE's do SES-D.

1019 **Tabela 15.** Resumo do intervalo de confiança (IC) para PNCH₄, TCO₂, PNB, e EQD das
 1020 ETE's da RMB.

| ETE'S DO SES-C DA RMB (CENÁRIO DE 1, CENÁRIO 2 e CENÁRIO 3) | | | | | |
|---|----|-------------|--------------------|-----------------------------|--------------|
| VARIÁVEL | N | MEDIANA (%) | CONFIANÇA ATINGIDA | INTERVALO DE CONFIANÇA (IC) | |
| | | | | INFERIOR (%) | SUPERIOR (%) |
| PNCH ₄ | 27 | 296,8 | 0,9478 | 182,9 | 423,1 |
| TCO ₂ | 27 | 1.950 | 0,9478 | 1.201 | 2.780 |
| PNB | 27 | 432,1 | 0,9478 | 266,3 | 616,1 |
| EQD | 27 | 2.938 | 0,9478 | 1.810 | 4.189 |

1021

1022 **Tabela 16.** Resumo do intervalo de confiança (IC) para PNCH₄, TCO₂, PNB, e EQD das
 1023 ETE's da RMB.

| ETE'S DO SES-D DA RMB (CENÁRIO DE 1, CENÁRIO 2 e CENÁRIO 3) | | | | | |
|---|----|-------------|--------------------|-----------------------------|--------------|
| VARIÁVEL | N | MEDIANA (%) | CONFIANÇA ATINGIDA | INTERVALO DE CONFIANÇA (IC) | |
| | | | | INFERIOR (%) | SUPERIOR (%) |
| PNCH ₄ | 42 | 31,20 | 0,9116 | 23,90 | 40,80 |
| TCO ₂ | 42 | 205,3 | 0,9116 | 157,1 | 268,0 |
| PNB | 42 | 45,50 | 0,9116 | 34,80 | 59,40 |
| EQD | 42 | 30,93 | 0,9116 | 236,7 | 403,9 |

1024

1025 O potencial da geração de EE e emissão de metano em reatores UASB, em termos
 1026 globais, se considerando todos os cenários, teve valor mediano de PNCH₄ ~ 296,8 Nm³/d
 1027 (182,9 Nm³/d < IC < 423,1 Nm³/d), TCO₂ ~1.950 CO_{2eq.} (1.201 CO_{2eq.} < IC < 2.780 CO_{2eq.}),
 1028 PNB~432,1 Nm³/d (266,3 Nm³/d < IC < 616,1 Nm³/d) e EQD ~2.938 kWh/d (1.810 kWh/d <
 1029 IC < 4.189 kWh/d) para as ETE's do SES-C, sendo observado para as ETE's do SES-D
 1030 redução de 10,5% para PNCH₄, TCO₂ e PNB e 95 vezes menos de EQD.

1031

1032

1033

1034 5. CONCLUSÕES

1035 Com base na elaboração de banco de dados das ETE'S de esgoto sanitário na RMB (PA)
1036 para fins de planejamento e operação envolvendo fase líquida, sólida e gasosa, destacam-
1037 se as seguintes conclusões:

1038 - Na etapa de levantamento de campo, ocorrida em 2019, se mapearam 23 ETE's (22
1039 unidades instaladas e 1 a ser implementada) com capacidade hidráulica de 1.089 L/s
1040 (85,95%- SES-C e 9,35%- SES-D), PE (população equivalente) de 765.783 habitantes e
1041 distribuição espacial de 17 ETE's (73,91%) em Belém, 5 ETE's (21,74%) em Ananindeua e
1042 1 ETE (4,35%) em Marituba;

1043 - Para o SES-C a vazão média das ETE's foi de $127 \pm 84,7$ L/s, obtendo-se faixa de variação
1044 com valor mínimo de 24,3 L/s (ETE-01) e máximo de 269,8 L/s (ETE-09), enquanto para o
1045 SES-D a vazão média foi de $13,34 \pm 7,51$ L/s, sendo obtido dados mínimos e máximos,
1046 respectivamente, de 4,86 L/s (ETE-18/ETE-19) e de 26,39 L/s (ETE-13);

1047 - A produção mássica devido aos sólidos grosseiros, areia e espuma nas ETE's na RMB
1048 considerando os cenários avaliados, tiveram valores mediano de SSG: $\sim 66,95$ kg/d (56,89
1049 kg/d < IC < 763,8 kg/d – IC 0,9478), SSD: $\sim 282,7$ kg/d (240,2 kg/d < IC < 347,8 kg/d – IC
1050 0,9478) e PE: $\sim 2,35$ kg/d (1,999 kg/d < IC < 2,893 kg/d – IC 0,9478) para as ETE's do
1051 SES-C, enquanto que nas ETE's do SES-D se obteve resultados de SSG: $\sim 6,71$ kg/d (5,72
1052 kg/d < IC < 11,49 kg/d – IC 0,9116), SSD: $\sim 28,33$ kg/d (24,15 kg/d < IC < 48,51 kg/d – IC
1053 0,9116) e PE: $\sim 0,235$ kg/d (0,235 kg/d < IC < 0,4036 kg/d – IC 0,9116) para as ETE's do
1054 SES-C, e cuja equivalência per capita para os distintos tipos de ETE's (centralizado ou
1055 descentralizado) é de 8,01gSSG/hab.d, 33,81gSSD/hab.d e 0,28gPE/hab.d;

1056 - A distribuição das cargas orgânicas utilizadas para redução de SO_4^{-2} , convertida em
1057 biomassa (lodo) e a transformada em CH_4 para as ETE'S RMB envolvendo SES-C e SES-
1058 D, indicou que a maior parcela devido ao tratamento anaeróbio irá resultar na carga
1059 orgânica de entrada convertida em metano, tendo menor valor de 64,2% para o Cenário-01
1060 e maior valor de 67,8% para o Cenário-03. Além de se verifica que a fração de 21,3% devido
1061 a parcela de carga orgânica transformada em lodo se mantém constante em todos os
1062 cenários simulados, enquanto a parcela de redução de SO_4^{-2} teve valores de 14,5%, 12,6%
1063 e 10,9% para os Cenário-01, Cenário-02 e Cenário-03, respectivamente;

1064 - Quando a carga de DQO aplicada for de 47.784,90 kgDQO/d em todas as ETE's, a DQO
1065 efetivamente convertida em CH_4 ($\text{DQO}_{\text{CH}_4\text{-Biogás}}$) e presente no biogás, que representará,
1066 portanto, o potencial efetivo de recuperação de energia, terá valores de 13,1%, 22,2% e
1067 32,2%, para os Cenário 1, Cenário 2 e Cenário 3, respectivamente. O melhor desempenho

1068 verificado no Cenário 3, se configura na situação otimista, que no caso da RMB está sujeita
1069 à alta precipitação pluviométrica e influência da maré, provavelmente só será alcançado no
1070 SES-C ou SES-D, quando fatores como nível de água subterrânea, grau de acesso da água
1071 pluvial no SES, qualidade da execução da rede, idade da rede, material da tubulação, etc.
1072 permitirem menor acesso de água de infiltração na rede coletora de esgoto, o que deve ser
1073 recorrentemente combatido e controlado, devido a influência significativa destes fatores
1074 quanto a alteração nas condições estabelecidas em termos da caracterização da matéria
1075 orgânica no esgoto bruto a ser tratado;

1076 - A produção de lodo, em termos globais, se considerando todos os cenários e apenas a
1077 remoção de carbono pelo tratamento anaeróbio, indicou valor mediano de $\sim 572,8$ kg/d ($381,9$
1078 kg/d < IC < $763,8$ kg/d – IC $0,9478$) para as ETE's do SES-C e de $\sim 60,22$ kg/d ($46,80$ kg/d <
1079 IC < $76,75$ kg/d – IC $0,9116$) para as ETE's do SES-D, com produção per capita de
1080 $6,24$ gST/hab.d, $9,36$ gST/hab.d e $12,59$ gST/hab.d, respectivamente, para o cenário 1, 2 e 3.

1081 - O indicador de produtividade volumétrica de lodo em termos de determinação por
1082 município, considerando a mediana, teve valor de $0,005$ m³lodo/kgDQOre em Ananindeua,
1083 $0,006$ m³lodo/kgDQOre em Belém e $0,005$ m³lodo/kgDQOre em Marituba. Enquanto para
1084 os cenários de investigação tal indicador apresentou dados de $0,004$ m³lodo/kgDQOre –
1085 Cenário 01, $0,005$ m³lodo/kgDQOre – Cenário 02 e $0,006$ m³lodo/kgDQOre – Cenário 03;

1086 - Para a higienização do lodo o panorama no Cenário 1 para as ETE's da RMB tratando
1087 2.078 ± 2.750 kgDQO_a/d em média é que essas unidades vão gerar $207,80 \pm 275$ kg/dia de
1088 lodo e cujo potencial de produção de bio sólido pela via de estabilização alcalina é de
1089 aproximadamente $949,00 \pm 1.257$ kg/dia. Enquanto, que no Cenário 2 e no Cenário 3,
1090 respectivamente, mantendo-se a carga aplicada de DQO do Cenário 1, se tem acréscimos
1091 de 1,50 a 2,0 vezes na produção de lodo, o que irá demandar quantidades medianas de cal
1092 aplicada de $\sim 105,20 \pm 1.257$ kgQ_{Cal}/dia no Cenário 2 e de $\sim 141,50 \pm 184,90$ kgQ_{Cal}/dia no
1093 Cenário 3, para fabricação de bio sólido de $\sim 1.508,00 \pm 1.996$ kg_{bio+lodo}/dia e de \sim
1094 $2.028,00 \pm 2.650$ kg_{bio+lodo}/dia, respectivamente, relativo a esses cenários;

1095 - O potencial da geração de EE e emissão de metano em reatores UASB realizado nesse
1096 trabalho indicou que os valores máximos da PNCH₄, TCO₂, PNB e EQD ocorreram para as
1097 ETE's do SES-C, devido essas unidades de tratamento de esgoto possuírem maior
1098 capacidade hidráulica e de tratamento da carga orgânica quando comparadas com as
1099 ETE's do SES-D;

1100 - Ao se considerar todos os cenários para o potencial da geração de EE e de emissão de
1101 metano em reatores UASB, em termos globais, se teve valor mediano de PNCH₄ $\sim 296,8$

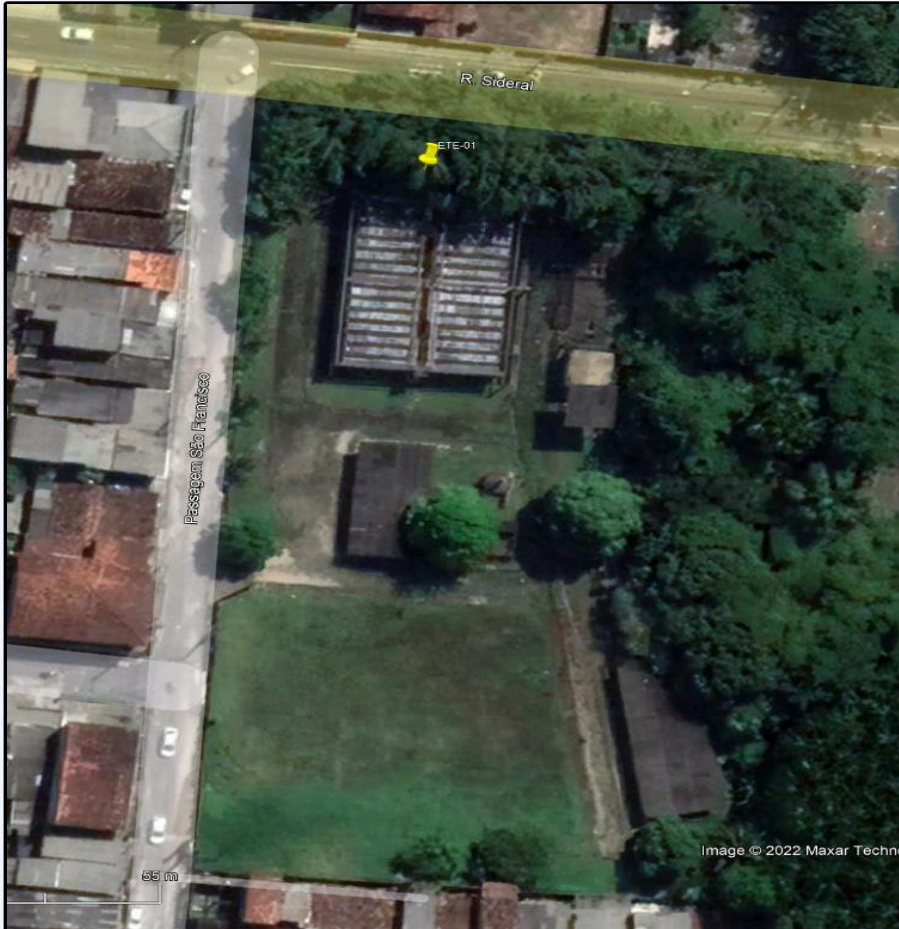


1102 Nm^3/d ($182,9 \text{ Nm}^3/\text{d} < \text{IC} < 423,1 \text{ Nm}^3/\text{d}$), $\text{TCO}_2 \sim 1.950 \text{ CO}_{2\text{eq.}}$ ($1.201 \text{ CO}_{2\text{eq.}} < \text{IC} < 2.780$
1103 $\text{CO}_{2\text{eq.}}$), $\text{PNB} \sim 432,1 \text{ Nm}^3/\text{d}$ ($266,3 \text{ Nm}^3/\text{d} < \text{IC} < 616,1 \text{ Nm}^3/\text{d}$) e $\text{EQD} \sim 2.938 \text{ kWh/d}$ (1.810
1104 $\text{kWh/d} < \text{IC} < 4.189 \text{ kWh/d}$) para as ETE's do SES-C, sendo observado redução de 10,5%
1105 para as ETE's do SES-D em termos de PNCH_4 , TCO_2 e PNB e de 95 vezes para EQD .
1106
1107

1108 6. ANEXOS

1109 Figura 17. ETE SIDERAL – SES (C)

BASE DE DADOS DE PLANEJAMENTO E OPERAÇÃO DAS ETE'S DE ESGOTO SANITÁRIO NA RMB-SES(C)/ETE SIDERAL (ETE 01)



INFORMAÇÕES BÁSICAS:

- Vazão e População: 92,36 L/s e 53.200 hab
- Município: Belém
- Localização georreferenciada: (long.: 48,445290; lat.: 1,356535)
- Sistema de tratamento de esgoto: Centralizado
- Tratamento preliminar: GM/PRC/DHCD/MQP
- Processo de tratamento: UASB
- Tratamento do lodo: LSC + HQ
- Tratamento do biogás: NTU

TRATAMENTO PRELIMINAR:

- Produção de sólidos grosseiros (kg/d): 58,20±2,65
- Produção de areia (kg/d): 245,78±11,17
- Produção de espuma (kg/d): 2,05±0,093

BALANÇO DE CARGA ORGÂNICA - UASB:

- Carga DQO afluyente (kgDQO/d): 3.319,70
- Carga DQO efluente (kgDQO/d): 1.161,9±166
- Carga DQO removida (kgDQO/d): 2.157,8±166
- Carga DQO convertida em lodo (kgDQO-lodo/d): 459,6±35,4
- Carga DQO convertida em CH4 (kgDQO-CH4/d): 1.426,7±148,8

PRODUÇÃO E HIZIENIZAÇÃO DE LODO - UASB:

- Produção de lodo (kgSST/d): 498,0 ± 166,0
- Volume de lodo (m³/d): 10,67 ± 2,45
- Massa de lodo desaguada (kg/d): 442,6 ± 157,8
- Produção de torta (kgSST/d): 2213 ± 789
- Quantidade de PQ para caleação (Q_{CaO}): 132,8 ± 47,3
- Quantidade de PQ aplicada (Q_{CaI}): 166,0 ± 59,2
- Quantidade de biossólido produzido (Q_{bio+lodo}): 2379 ± 848

POTENCIAL DE GEE E EMISSÃO DE MENTANO - UASB:

- Produção normalizada de metano (Nm³/d): 261,6 ± 110,9
- Taxa de emissão de metano (CO2 equivalente): 1718 ± 728
- Produção normalizada de biogás (Nm³/d): 380,9 ± 161,5
- Energia química disponível (kWh/d): 2589 ± 1098

Projeto de pesquisa: “Elaboração de banco de dados das estações de tratamento de esgoto sanitário implantadas na RMB para fins de planejamento e operação envolvendo fase líquida, sólida e gasosa”

| REV. | DESCRIÇÃO | DATA | POR |
|------|---|------------|-------|
| 00 | Processo de elaboração da base de dados – ETE01 | 30/08/2022 | UFFPA |
| | | | |

Orientando: Maurilo André da Cunha Assunção (PPGESA)
Orientador: Prof.Dr Neyson M.Mendonça

1110

1111 **Figura 18. ETE COQUEIRO – SES(C).**

BASE DE DADOS DE PLANEJAMENTO E OPERAÇÃO DAS ETE'S DE ESGOTO SANITÁRIO NA RMB-SES(C)/ETE COQUEIRO (ETE 02)



| |
|--|
| <p>INFORMAÇÕES BÁSICAS:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Vazão e População: 125,00 L/s e 72.000 hab - Município: Belém - Localização georreferenciada: (long.: 48,430271; lat.: 1,370686) - Sistema de tratamento de esgoto: Centralizado - Tratamento preliminar: GM/PRC/DHCD/MQP - Processo de tratamento: UASB - Tratamento do lodo: LSC + HQ - Tratamento do biogás: NTU |
| <p>TRATAMENTO PRELIMINAR:</p> <p>Produção de sólidos grosseiros (kg/d): 78,76±3,58 Produção de areia (kg/d): 332,64±15,12 Produção de espuma (kg/d): 2,7676±0,1258</p> |
| <p>BALANÇO DE CARGA ORGÂNICA - UASB:</p> <p>Carga DQO afluente (kgDQO/d): 3.319,70 Carga DQO efluente (kgDQO/d): 1.161,9±166 Carga DQO removida (kgDQO/d): 2.157,8±166 Carga DQO convertida em lodo (kgDQO-lodo/d): 459,6±35,4 Carga DQO convertida em CH4 (kgDQO-CH4/d): 1.426,7±148,8</p> |
| <p>PRODUÇÃO E HIZIENIZAÇÃO DE LODO - UASB:</p> <p>Produção de lodo (kgSST/d): 674 ± 225 Volume de lodo (m³/d): 14,44 ± 3,31 Massa de lodo desaguada (kg/d): 599 ± 214 Produção de torta (kgSST/d): 2995 ± 1068 Quantidade de PQ para caleação (Q_{CaO}): 179,7 ± 64,1 Quantidade de PQ aplicada (Q_{CaI}): 224,6 ± 80,1 Quantidade de biossólido produzido (Q_{bio+lodo}): 3220 ± 1148</p> |
| <p>POTENCIAL DE GEE E EMISSÃO DE MENTANO - UASB:</p> <p>Produção normalizada de metano (Nm³/d): 351,1 ± 110,9 Taxa de emissão de metano (CO2 equivalente): 2307 ± 957 Produção normalizada de biogás (Nm³/d): 511 ± 212 Energia química disponível (kWh/d): 3476 ± 1442</p> |

Projeto de pesquisa: “Elaboração de banco de dados das estações de tratamento de esgoto sanitário implantadas na RMB para fins de planejamento e operação envolvendo fase líquida, sólida e gasosa”

| REV. | DESCRIÇÃO | DATA | POR |
|------|---|------------|------|
| 00 | Processo de elaboração da base de dados – ETE01 | 25/02/2022 | UFGA |
| | | | |

Orientando: Maurilo André da Cunha Assunção (PPGESA)
Orientador: Prof.Dr Neyson M.Mendonça

1113 **Figura 19. ETE RUA DA MATA – SES(C).**

BASE DE DADOS DE PLANEJAMENTO E OPERAÇÃO DAS ETE'S DE ESGOTO SANITÁRIO NA RMB-SES(C)–ETE RUA MATA (ETE 03)



INFORMAÇÕES BÁSICAS:

- Vazão: e População: 106,25 L/s e 61.200 hab
- Município: Belém
- Localização georreferenciada: long.: 48.464631°; lat.: 1.401975°)
- Sistema de tratamento de esgoto: Centralizado
- Tratamento preliminar: GM/PE/DA/MQP
- Processo de tratamento: UASB + LAC
- Tratamento do lodo: DC + HQ
- Tratamento do biogás: NTU

TRATAMENTO PRELIMINAR:

- Produção de sólidos grosseiros (kg/d): 66,95±3,04
- Produção de areia (kg/d): 282,74±12,85
- Produção de espuma (kg/d): 2,3524±0,1069

BALANÇO DE CARGA ORGÂNICA - UASB:

- Carga DQO afluente (kgDQO/d): 3. 319,70
- Carga DQO efluente (kgDQO/d): 1.161,9±166
- Carga DQO removida (kgDQO/d): 2.157,8±166
- Carga DQO convertida em lodo (kgDQO-lodo/d): 459,6±35,4
- Carga DQO convertida em CH4 (kgDQO-CH4/d): 1.426,7±148,8

PRODUÇÃO E HIZIENIZAÇÃO DE LODO - UASB:

- Produção de lodo (kgSST/d): 573 ± 191
- Volume de lodo (m³/d): 12,27 ± 2,81
- Massa de lodo desaguada (kg/d): 509 ± 181
- Produção de torta (kgSST/d): 2546 ± 907
- Quantidade de PQ para caleação (Q_{CaO}): 152,8 ± 54,4
- Quantidade de PQ aplicada (Q_{CaI}): 190,9 ± 69,1
- Quantidade de biossólido produzido (Q_{bio+lodo}): 2737 ± 975

POTENCIAL DE GEE E EMISSÃO DE MENTANO - UASB:

- Produção normalizada de metano (Nm³/d): 300,9 ± 127,5
- Taxa de emissão de metano (CO2 equivalente): 1977 ± 838
- Produção normalizada de biogás (Nm³/d): 438 ± 186
- Energia química disponível (kWh/d): 2979 ± 1263

Projeto de pesquisa: “Elaboração de banco de dados das estações de tratamento de esgoto sanitário implantadas na RMB para fins de planejamento e operação envolvendo fase líquida, sólida e gasosa”

| REV. | DESCRIÇÃO | DATA | POR |
|------|---|------------|------|
| 00 | Processo de elaboração da base de dados – ETE01 | 25/02/2022 | UFPA |
| | | | |

Orientando: Maurilo André da Cunha Assunção (PPGESA)
Orientador: Prof.Dr Neyson M.Mendonça

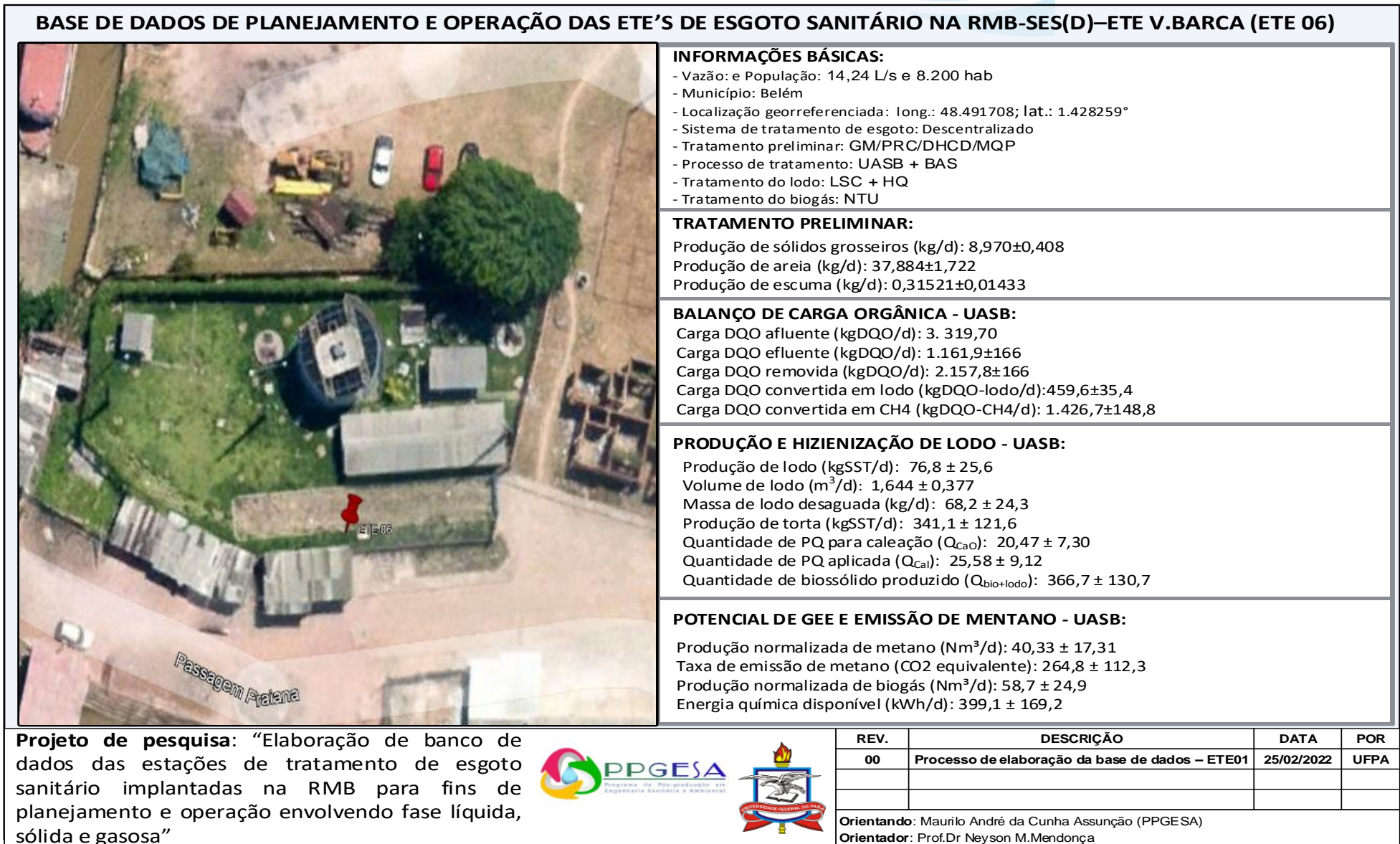
1115 **Figura 20. ETE TAVARES BASTOS – SES(C).**



1117 **Figura 21. ETE BENGUI – SES(C).**

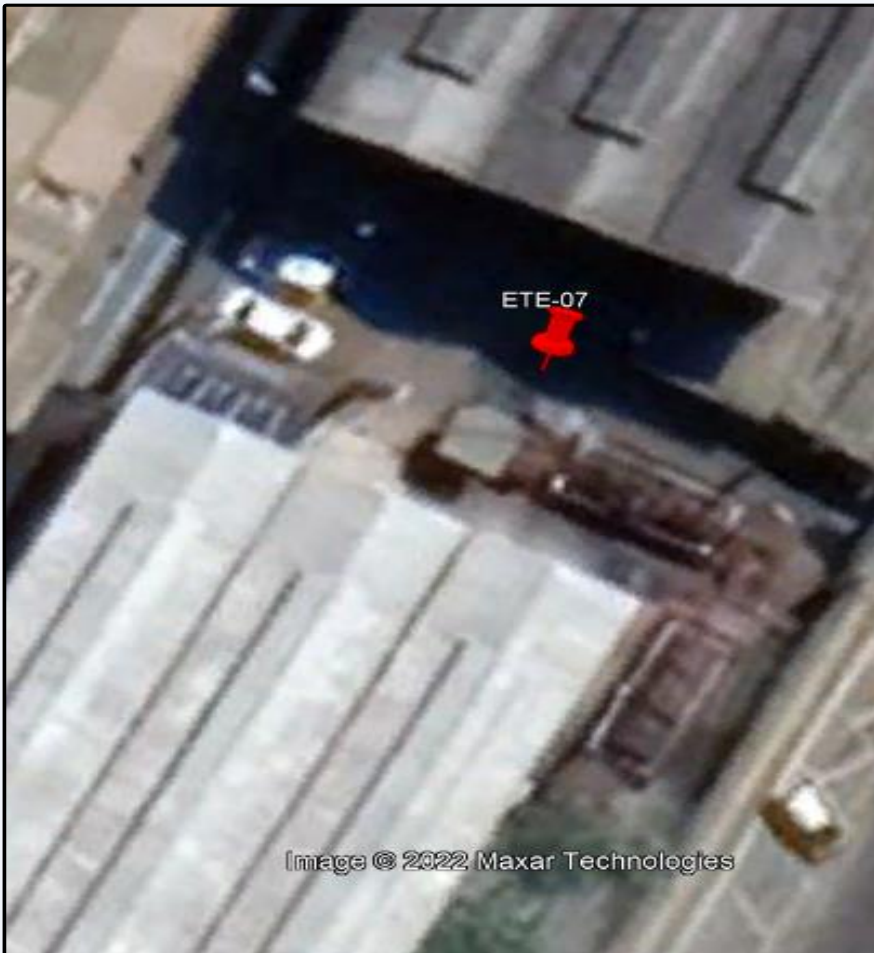


1119 **Figura 22. ETE VILA DA BARCA - SES(D).**



1121 **Figura 23.** ETE PORTO TERMINAL HIDROVIÁRIO – SES(D).

BASE DE DADOS DE PLANEJAM. OPERAÇÃO DAS ETE'S DE ESGOTO SANITÁRIO NA RMB-SE(D)-ETE PORTO TER.HIDROVI (ETE 07)



INFORMAÇÕES BÁSICAS:

- Vazão e População: 8,68 L/s e 5.000 hab
- Município: Belém
- Localização georreferenciada: long.: 48.494981°5; lat.: 1.441617°)
- Sistema de tratamento de esgoto: Descentralizado
- Tratamento preliminar: GM/PRC/DHCD/MQP
- Processo de tratamento: UASB + BAS
- Tratamento do lodo: LSC + HQ
- Tratamento do biogás: NTU

TRATAMENTO PRELIMINAR:

- Produção de sólidos grosseiros (kg/d): 7,91±4,01
- Produção de areia (kg/d): 33,39±16,92
- Produção de espuma (kg/d): 0,2778±0,1408

BALANÇO DE CARGA ORGÂNICA - UASB:

- Carga DQO afluente (kgDQO/d): 3. 319,70
- Carga DQO efluente (kgDQO/d): 1.161,9±166
- Carga DQO removida (kgDQO/d): 2.157,8±166
- Carga DQO convertida em lodo (kgDQO-lodo/d): 459,6±35,4
- Carga DQO convertida em CH4 (kgDQO-CH4/d): 1.426,7±148,8

PRODUÇÃO E HIZIENIZAÇÃO DE LODO - UASB:

- Produção de lodo (kgSST/d): 75,9 ± 64,4
- Volume de lodo (m³/d): 1,574 ± 1,187
- Massa de lodo desaguada (kg/d): 67,8 ± 58,5
- Produção de torta (kgSST/d): 339 ± 293
- Quantidade de PQ para caleação (Q_{CaO}): 20,3 ± 17,6
- Quantidade de PQ aplicada (Q_{CaI}): 25,4 ± 21,9
- Quantidade de bio-sólido produzido (Q_{bio+lodo}): 364 ± 315

POTENCIAL DE GEE E EMISSÃO DE MENTANO - UASB:

- Produção normalizada de metano (Nm³/d): 41,0 ± 37,9
- Taxa de emissão de metano (CO2 equivalente): 269 ± 249
- Produção normalizada de biogás (Nm³/d): 59,7 ± 55,2
- Energia química disponível (kWh/d): 406 ± 375

Projeto de pesquisa: “Elaboração de banco de dados das estações de tratamento de esgoto sanitário implantadas na RMB para fins de planejamento e operação envolvendo fase líquida, sólida e gasosa”

| REV. | DESCRIÇÃO | DATA | POR |
|------|---|------------|-------|
| 00 | Processo de elaboração da base de dados – ETE01 | 25/02/2022 | UFFPA |
| | | | |

Orientando: Maurilo André da Cunha Assunção (PPGESA)
Orientador: Prof.Dr Neyson M.Mendonça

1123 **Figura 24. ETE FÉ EM DEUS – SES(D).**

BASE DE DADOS DE PLANEJAMENTO E OPERAÇÃO DAS ETE'S DE ESGOTO SANITÁRIO NA RMB-SES(D)–ETE FÉ EM DEUS (ETE 08)



INFORMAÇÕES BÁSICAS:

- Vazão e População: 20,83 L/s e 12.000 hab
- Município: Belém
- Localização georreferenciada: long.: 48.447561°; lat.: 1.312186°
- Sistema de tratamento de esgoto: Descentralizado
- Tratamento preliminar: GM/PRC/DHCD/MQP
- Processo de tratamento: UASB + BAS
- Tratamento do lodo: LSC + HQ
- Tratamento do biogás: NTU

TRATAMENTO PRELIMINAR:

Produção de sólidos grosseiros (kg/d): 13,127±0,597
 Produção de areia (kg/d): 55,44±2,52
 Produção de espuma (kg/d): 0,4613±0,0210

BALANÇO DE CARGA ORGÂNICA - UASB:

Carga DQO afluente (kgDQO/d): 3. 319,70
 Carga DQO efluente (kgDQO/d): 1.161,9±166
 Carga DQO removida (kgDQO/d): 2.157,8±166
 Carga DQO convertida em lodo (kgDQO-lodo/d): 459,6±35,4
 Carga DQO convertida em CH₄ (kgDQO-CH₄/d): 1.426,7±148,8

PRODUÇÃO E HIZIENIZAÇÃO DE LODO - UASB:

Produção de lodo (kgSST/d): 112,3 ± 37,4
 Volume de lodo (m³/d): 2,406 ± 0,552
 Massa de lodo desaguada (kg/d): 99,8 ± 35,6
 Produção de torta (kgSST/d): 499 ± 178
 Quantidade de PQ para caleação (Q_{CaO}): 29,95 ± 10,68
 Quantidade de PQ aplicada (Q_{CaI}): 37,44 ± 13,34
 Quantidade de biossólido produzido (Q_{bio+lodo}): 537 ± 191

POTENCIAL DE GEE E EMISSÃO DE MENTANO - UASB:

Produção normalizada de metano (Nm³/d): 59,0 ± 25
 Taxa de emissão de metano (CO₂ equivalente): 387,6 ± 164,3
 Produção normalizada de biogás (Nm³/d): 85,9 ± 36,4
 Energia química disponível (kWh/d): 584 ± 248

Projeto de pesquisa: “Elaboração de banco de dados das estações de tratamento de esgoto sanitário implantadas na RMB para fins de planejamento e operação envolvendo fase líquida, sólida e gasosa”

| REV. | DESCRIÇÃO | DATA | POR |
|------|---|------------|------|
| 00 | Processo de elaboração da base de dados – ETE01 | 25/02/2022 | UFPA |
| | | | |

Orientando: Maurilo André da Cunha Assunção (PPGESA)
Orientador: Prof.Dr Neyson M.Mendonça

1125 **Figura 25.** ETE UNA – SES(C).



BASE DE DADOS DE PLANEJAMENTO E OPERAÇÃO DAS ETE'S DE ESGOTO SANITÁRIO NA RMB-SES(C)–ETE VILA MOSQ. (ETE 10)



INFORMAÇÕES BÁSICAS:

- Vazão e População: 24,31 L/s e 14.000 hab
- Município: Belém
- Localização georreferenciada: long.: 48.465531°; lat.: 1.168229°
- Sistema de tratamento de esgoto: Centralizado
- Tratamento preliminar: PRETRAT/MQP
- Processo de tratamento: UASB + LP
- Tratamento do lodo: DC + HQ
- Tratamento do biogás: NTU

TRATAMENTO PRELIMINAR:

- Produção de sólidos grosseiros (kg/d): 15,315±0,696
- Produção de areia (kg/d): 64,68±2,94
- Produção de espuma (kg/d): 0,5381±0,0245

BALANÇO DE CARGA ORGÂNICA - UASB:

- Carga DQO afluente (kgDQO/d): 3. 319,70
- Carga DQO efluente (kgDQO/d): 1.161,9±166
- Carga DQO removida (kgDQO/d): 2.157,8±166
- Carga DQO convertida em lodo (kgDQO-lodo/d):459,6±35,4
- Carga DQO convertida em CH4 (kgDQO-CH4/d): 1.426,7±148,8

PRODUÇÃO E HIZIENIZAÇÃO DE LODO - UASB:

- Produção de lodo (kgSST/d): 131,0 ± 43,7
- Volume de lodo (m³/d): 2,807 ± 0,644
- Massa de lodo desaguada (kg/d): 116,5 ± 41,5
- Produção de torta (kgSST/d): 582 ± 208
- Quantidade de PQ para caleação (Q_{CaO}): 34,94 ± 12,45
- Quantidade de PQ aplicada (Q_{CaI}): 43,68 ± 15,57
- Quantidade de biossólido produzido (Q_{bio+lodo}): 626 ± 223

POTENCIAL DE GEE E EMISSÃO DE MENTANO - UASB:

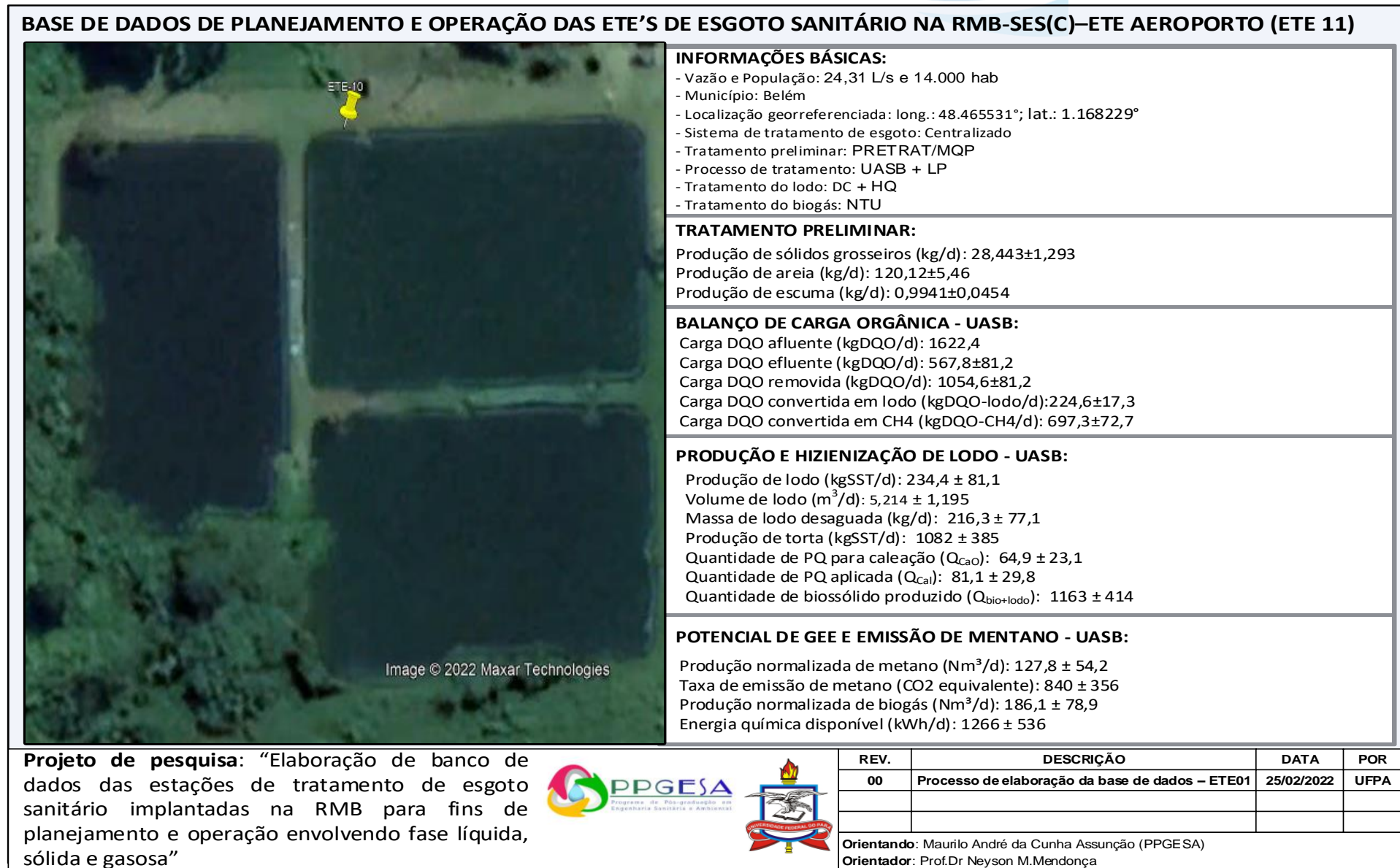
- Produção normalizada de metano (Nm³/d): 68,8 ± 29,2
- Taxa de emissão de metano (CO2 equivalente): 452 ± 192
- Produção normalizada de biogás (Nm³/d): 100,2 ± 42,5
- Energia química disponível (kWh/d): 681 ± 289

Projeto de pesquisa: “Elaboração de banco de dados das estações de tratamento de esgoto sanitário implantadas na RMB para fins de planejamento e operação envolvendo fase líquida, sólida e gasosa”

| REV. | DESCRIÇÃO | DATA | POR |
|------|---|------------|------|
| 00 | Processo de elaboração da base de dados – ETE01 | 25/02/2022 | UFPA |
| | | | |

Orientando: Maurilo André da Cunha Assunção (PPGESA)
Orientador: Prof.Dr Neyson M.Mendonça

1129 **Figura 27. ETE AEROPORTO ILHA DE MOSQUEIRO.**



BASE DE DADOS DE PLANEJAMENTO E OPERAÇÃO DAS ETE'S DE ESGOTO SANITÁRIO NA RMB-SES(D)–ETE PRATINHA (ETE 12)



INFORMAÇÕES BÁSICAS:

- Vazão: e População: 10,07 L/s e 5.800 hab
- Município: Belém
- Localização georreferenciada: long.:48.484842°; lat.: 1.377071°
- Sistema de tratamento de esgoto: Descentralizado
- Tratamento preliminar: GM/PRC/DHCD/MQP
- Processo de tratamento: UASB
- Tratamento do lodo: LSC + HQ
- Tratamento do biogás: NTU

TRATAMENTO PRELIMINAR:

- Produção de sólidos grosseiros (kg/d): 6,345±0,288
- Produção de areia (kg/d): 26,796±1,218
- Produção de espuma (kg/d): 0,22293±0,01013

BALANÇO DE CARGA ORGÂNICA - UASB:

- Carga DQO afluente (kgDQO/d): 3.319,70
- Carga DQO efluente (kgDQO/d): 1.161,9±166
- Carga DQO removida (kgDQO/d): 2.157,8±166
- Carga DQO convertida em lodo (kgDQO-lodo/d): 459,6±35,4
- Carga DQO convertida em CH4 (kgDQO-CH4/d): 1.426,7±148,8

PRODUÇÃO E HIZIENIZAÇÃO DE LODO - UASB:

- Produção de lodo (kgSST/d): 54,3 ± 18,1
- Volume de lodo (m³/d): 1,163 ± 0,267
- Massa de lodo desaguada (kg/d): 48,25 ± 17,20
- Produção de torta (kgSST/d): 241,3 ± 86,0
- Quantidade de PQ para caleação (Q_{CaO}): 14,48 ± 5,16
- Quantidade de PQ aplicada (Q_{CaI}): 18,09 ± 6,45
- Quantidade de bio sólido produzido (Q_{bio+lodo}): 259,4 ± 92,4

POTENCIAL DE GEE E EMISSÃO DE MENTANO - UASB:

- Produção normalizada de metano (Nm³/d): 28,50 ± 12,10
- Taxa de emissão de metano (CO2 equivalente): 187,3 ± 79,4
- Produção normalizada de biogás (Nm³/d): 41,5 ± 17,6
- Energia química disponível (kWh/d): 282,3 ± 119,7

Projeto de pesquisa: “Elaboração de banco de dados das estações de tratamento de esgoto sanitário implantadas na RMB para fins de planejamento e operação envolvendo fase líquida, sólida e gasosa”

| REV. | DESCRIÇÃO | DATA | POR |
|------|---|------------|-------|
| 00 | Processo de elaboração da base de dados – ETE01 | 25/02/2022 | UFFPA |
| | | | |

Orientando: Maurilo André da Cunha Assunção (PPGESA)
Orientador: Prof.Dr Neyson M.Mendonça

BASE DE DADOS DE PLANEJAMENTO E OPERAÇÃO DAS ETE'S DE ESGOTO SANITÁRIO NA RMB -SES(D) – ETE OUTEIRO (ETE 13)



| |
|---|
| <p>INFORMAÇÕES BÁSICAS:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Vazão e População: 8,68 L/s e 5.000 hab - Município: - Localização georreferenciada: lo ng.: 48.464298° ; lat.: 1.254465° - Sistema de tratamento de esgoto: Descentralizada - Tratamento preliminar: GM/PRC/DHCD/MQP - Processo de tratamento: UASB + BAS - Tratamento do lodo: LSC+ HQ - Tratamento do biogás: NTU |
| <p>TRATAMENTO PRELIMINAR:</p> <p>Produção de sólidos grosseiros (kg/d): 5,470±0,249 Produção de areia (kg/d): 23,100±1,050 Produção de escuma (kg/d): 0,019219±0,00874</p> |
| <p>BALANÇO DE CARGA ORGÂNICA - UASB:</p> <p>Carga DQO afluyente (kgDQO/d): Carga DQO efluente (kgDQO/d): Carga DQO removida (kgDQO/d): Carga DQO convertida em lodo (kgDQO-lodo/d): Carga DQO convertida em CH4 (kgDQO-CH4/d):</p> |
| <p>PRODUÇÃO E HIZIENIZAÇÃO DE LODO - UASB:</p> <p>Produção de lodo (kgSST/d): 46,80 ± 15,60 Volume de lodo (m³/d): 1,003 ± 0,230 Massa de lodo desaguada (kg/d): 41,60 ± 14,83 Produção de torta (kgSST/d): 208,0 ± 74,1 Quantidade de PQ para caleação (Q_{CaO}): 12,48 ± 4,45 Quantidade de PQ aplicada (Q_{CaI}): 15,60 ± 5,56 Quantidade de bio sólido produzido (Q_{bio+lodo}): 233,6 ± 79,7</p> |
| <p>POTENCIAL DE GEE E EMISSÃO DE MENTANO - UASB:</p> <p>Produção normalizada de metano (Nm³/d): 24,57 ± 10,45 Taxa de emissão de metano (CO2 equivalente): 161,5 ± 68,4 Produção normalizada de biogás (Nm³/d): 35,80 ± 15,6 Energia química disponível (kWh/d): 243,3 ± 103,1</p> |

Projeto de pesquisa: “Elaboração de banco de dados das estações de tratamento de esgoto sanitário implantadas na RMB para fins de planejamento e operação envolvendo fase líquida, sólida e gasosa”

| REV. | DESCRIÇÃO | DATA | POR |
|---|---|------------|-------|
| 00 | Processo de elaboração da base de dados – ETE09 | 25/02/2022 | UFFPA |
| | | | |
| <p>Orientado: Maurilo André da Cunha Assunção (PPGESA) Orientador: Prof.Dr Neyson M.Mendonça</p> | | | |

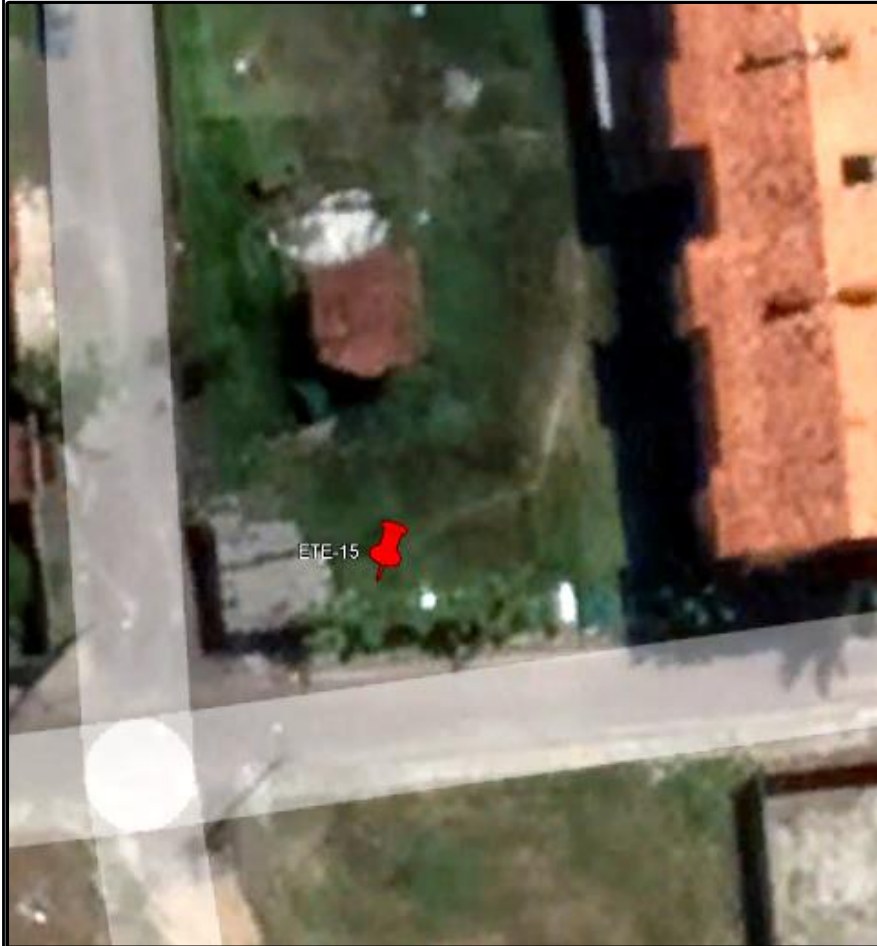
1135 **Figura 30. ETE VIVER PRIMAVERA – SES(C).**

| BASE DE DADOS DE PLANEJAM. E OPERAÇÃO DAS ETE'S DE ESGOTO SANITÁRIO NA RMB-SES(C)–ETE VIVER PRIMAVER (ETE14) | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--|---|------|--|------|-----------|------|-----|----|---|------------|------|--|--|--|--|
| | INFORMAÇÕES BÁSICAS: - Vazão População: 26,39 L/s e 15.200 hab - Município: Belém - Localização georreferenciada: long.: 48.462714°; lat.: 1.322188° - Sistema de tratamento de esgoto: Centralizado - Tratamento preliminar: GM/PRC/DHCD/MQP - Processo de tratamento: UASB + FA - Tratamento do lodo: LSC + HQ - Tratamento do biogás: NTU | | | | | | | | | | | | | | | |
| | TRATAMENTO PRELIMINAR: Produção de sólidos grosseiros (kg/d): 16,628±0,756 Produção de areia (kg/d): 70,22±3,19 Produção de espuma (kg/d): 0,5843±0,0266 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | BALANÇO DE CARGA ORGÂNICA - UASB: Carga DQO afluyente (kgDQO/d): 3. 319,70 Carga DQO efluente (kgDQO/d): 1.161,9±166 Carga DQO removida (kgDQO/d): 2.157,8±166 Carga DQO convertida em lodo (kgDQO-lodo/d):459,6±35,4 Carga DQO convertida em CH4 (kgDQO-CH4/d): 1.426,7±148,8 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | PRODUÇÃO E HIZIENIZAÇÃO DE LODO - UASB: Produção de lodo (kgSST/d): 142,3 ± 47,4 Volume de lodo (m ³ /d): 3,048 ± 0,699 Massa de lodo desaguada (kg/d): 126,5 ± 45,1 Produção de torta (kgSST/d): 632 ± 225 Quantidade de PQ para caleação (Q _{CaO}): 37,94 ± 13,52 Quantidade de PQ aplicada (Q _{CaI}): 47,42 ± 16,90 Quantidade de bio sólido produzido (Q _{bio+lodo}): 680 ± 242 | | | | | | | | | | | | | | | |
| POTENCIAL DE GEE E EMISSÃO DE MENTANO - UASB: Produção normalizada de metano (Nm ³ /d): 74,7 ± 31,7 Taxa de emissão de metano (CO2 equivalente): 491 ± 208 Produção normalizada de biogás (Nm ³ /d): 108,8 ± 46,1 Energia química disponível (kWh/d): 740 ± 314 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Projeto de pesquisa: “Elaboração de banco de dados das estações de tratamento de esgoto sanitário implantadas na RMB para fins de planejamento e operação envolvendo fase líquida, sólida e gasosa” | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | <table border="1"> <thead> <tr> <th>REV.</th> <th>DESCRIÇÃO</th> <th>DATA</th> <th>POR</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>00</td> <td>Processo de elaboração da base de dados – ETE01</td> <td>25/02/2022</td> <td>UFPA</td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </tbody> </table> | | | REV. | DESCRIÇÃO | DATA | POR | 00 | Processo de elaboração da base de dados – ETE01 | 25/02/2022 | UFPA | | | | |
| REV. | DESCRIÇÃO | DATA | POR | | | | | | | | | | | | | |
| 00 | Processo de elaboração da base de dados – ETE01 | 25/02/2022 | UFPA | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Orientando: Maurilo André da Cunha Assunção (PPGESA) Orientador: Prof.Dr Neyson M.Mendonça | | | | | | | | | | | | | | |

1136

1137

BASE DE DADOS DE PLANEJAMENTO E OPERAÇÃO DAS ETE'S DE ESGOTO SANITÁRIO NA RMB-SES(C)–ETE VIVER MARICÁ (ETE15)



INFORMAÇÕES BÁSICAS:

- Vazão e População: 7,64 L/s e 4.400 hab
- Município: Belém
- Localização georreferenciada: long.: 48.452939°; lat.: 1.299313°
- Sistema de tratamento de esgoto: Descentralizado
- Tratamento preliminar: GM/PRC/DHCD/MQP
- Processo de tratamento: UASB + BAS
- Tratamento do lodo: LSC + HQ
- Tratamento do biogás: NTU

TRATAMENTO PRELIMINAR:

Produção de sólidos grosseiros (kg/d): 4,813±0,219
 Produção de areia (kg/d): 20,328±0,924
 Produção de espuma (kg/d): 0,16915±0,00769

BALANÇO DE CARGA ORGÂNICA - UASB:

Carga DQO afluyente (kgDQO/d): 3. 319,70
 Carga DQO efluente (kgDQO/d): 1.161,9±166
 Carga DQO removida (kgDQO/d): 2.157,8±166
 Carga DQO convertida em lodo (kgDQO-lodo/d):459,6±35,4
 Carga DQO convertida em CH4 (kgDQO-CH4/d): 1.426,7±148,8

PRODUÇÃO E HIZIENIZAÇÃO DE LODO - UASB:

Produção de lodo (kgSST/d): 41,19 ± 13,73
 Volume de lodo (m³/d): 0,882 ± 0,202
 Massa de lodo desaguada (kg/d): 36,61 ± 13,05
 Produção de torta (kgSST/d): 183,1 ± 65,2
 Quantidade de PQ para caleação (Q_{Ca0}): 10,98 ± 3,91
 Quantidade de PQ aplicada (Q_{Ca1}): 13,73 ± 4,89
 Quantidade de biossólido produzido (Q_{bio+lodo}): 196,8 ± 70,1

POTENCIAL DE GEE E EMISSÃO DE MENTANO - UASB:

Produção normalizada de metano (Nm³/d): 21,6 ± 9,15
 Taxa de emissão de metano (CO2 equivalente): 142,1 ± 60,2
 Produção normalizada de biogás (Nm³/d): 31,53 ± 13,36
 Energia química disponível (kWh/d): 214,2 ± 90,8

Projeto de pesquisa: “Elaboração de banco de dados das estações de tratamento de esgoto sanitário implantadas na RMB para fins de planejamento e operação envolvendo fase líquida, sólida e gasosa”

| REV. | DESCRIÇÃO | DATA | POR |
|------|---|------------|-------|
| 00 | Processo de elaboração da base de dados – ETE01 | 25/02/2022 | UFFPA |
| | | | |

Orientando: Maurilo André da Cunha Assunção (PPGESA)
Orientador: Prof.Dr Neyson M.Mendonça

1140 **Figura 32. ETE RESIDENCIAL QUINTA DOS PARICÁS – SES(D).**

BASE DE DADOS DE PLANEJAMENTO E OPERAÇÃO DAS ETE'S DE ESGOTO SANITÁRIO NA RMB-SES(D)–ETE RES.QUINT PARIC(ETE16)



INFORMAÇÕES BÁSICAS:

- Vazão e População: 25,35 L/s e 14.600 hab
- Município: Belém
- Localização georreferenciada: long.: 48.444113°; lat.: 1.295850°
- Sistema de tratamento de esgoto: Descentralizado
- Tratamento preliminar: GM/PRC/DHCD/MQP
- Processo de tratamento: UASB + BAS
- Tratamento do lodo: LSC+ HQ
- Tratamento do biogás: NTU

TRATAMENTO PRELIMINAR:

- Produção de sólidos grosseiros (kg/d): 15,972±0,726
- Produção de areia (kg/d): 67,45±3,07
- Produção de espuma (kg/d): 0,5612±0,0255

BALANÇO DE CARGA ORGÂNICA - UASB:

- Carga DQO afluente (kgDQO/d): 3. 319,70
- Carga DQO efluente (kgDQO/d): 1.161,9±166
- Carga DQO removida (kgDQO/d): 2.157,8±166
- Carga DQO convertida em lodo (kgDQO-lodo/d): 459,6±35,4
- Carga DQO convertida em CH4 (kgDQO-CH4/d): 1.426,7±148,8

PRODUÇÃO E HIZIENIZAÇÃO DE LODO - UASB:

- Produção de lodo (kgSST/d): 136,7 ± 45,6
- Volume de lodo (m³/d): 2,928 ± 0,671
- Massa de lodo desaguada (kg/d): 121,5 ± 43,3
- Produção de torta (kgSST/d): 607 ± 216
- Quantidade de PQ para caleação (Q_{CaO}): 36,44 ± 12,99
- Quantidade de PQ aplicada (Q_{CaI}): 45,55 ± 16,23
- Quantidade de biossólido produzido (Q_{bio+lodo}): 653 ± 233

POTENCIAL DE GEE E EMISSÃO DE MENTANO - UASB:

- Produção normalizada de metano (Nm³/d): 71,8 ± 30,4
- Taxa de emissão de metano (CO2 equivalente): 472 ± 200
- Produção normalizada de biogás (Nm³/d): 104,5 ± 44,3
- Energia química disponível (kWh/d): 711 ± 301

Projeto de pesquisa: “Elaboração de banco de dados das estações de tratamento de esgoto sanitário implantadas na RMB para fins de planejamento e operação envolvendo fase líquida, sólida e gasosa”

| REV. | DESCRIÇÃO | DATA | POR |
|------|---|------------|-------|
| 00 | Processo de elaboração da base de dados – ETE01 | 25/02/2022 | UFFPA |
| | | | |

Orientando: Maurilo André da Cunha Assunção (PPGESA)
Orientador: Prof.Dr Neyson M.Mendonça

BASE DE DADOS DE PLANEJAMENTO E OPERAÇÃO DAS ETE'S DE ESGOTO SANITÁRIO NA RMB-SES(D)–ETE RESID. JK (ETE17)



| |
|--|
| <p>INFORMAÇÕES BÁSICAS:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Vazão e População: 5,90 L/s e 3.400 hab - Município: Belém - Localização georreferenciada: long.: 48.370453°; lat.: 1.372471° - Sistema de tratamento de esgoto: Descentralizado - Tratamento preliminar: GM/PRC/DHCD/MQP - Processo de tratamento: UASB + BAS - Tratamento do lodo: LSC+ HQ - Tratamento do biogás: NTU |
| <p>TRATAMENTO PRELIMINAR:</p> <p>Produção de sólidos grosseiros (kg/d): 3,7194±0,1691 Produção de areia (kg/d): 15,708±0,714 Produção de espuma (kg/d): 0,13072±0,00594</p> |
| <p>BALANÇO DE CARGA ORGÂNICA - UASB:</p> <p>Carga DQO afluyente (kgDQO/d): 3. 319,70 Carga DQO efluente (kgDQO/d): 1.161,9±166 Carga DQO removida (kgDQO/d): 2.157,8±166 Carga DQO convertida em lodo (kgDQO-lodo/d):459,6±35,4 Carga DQO convertida em CH4 (kgDQO-CH4/d): 1.426,7±148,8</p> |
| <p>PRODUÇÃO E HIZIENIZAÇÃO DE LODO - UASB:</p> <p>Produção de lodo (kgSST/d): 31,83 ± 10,61 Volume de lodo (m³/d): 0,6819 ± 0,1564 Massa de lodo desaguada (kg/d): 28,29 ± 10,08 Produção de torta (kgSST/d): 141,5 ± 50,4 Quantidade de PQ para caleação (Q_{CaO}): 8,49 ± 3,03 Quantidade de PQ aplicada (Q_{CaI}): 10,61 ± 3,78 Quantidade de biossólido produzido (Q_{bio+lodo}): 152,1 ± 54,2</p> |
| <p>POTENCIAL DE GEE E EMISSÃO DE MENTANO - UASB:</p> <p>Produção normalizada de metano (Nm³/d): 16,70 ± 7,10 Taxa de emissão de metano (CO2 equivalente): 109,8 ± 46,6 Produção normalizada de biogás (Nm³/d): 24,33 ± 10,30 Energia química disponível (kWh/d): 165,5 ± 70,1</p> |

Projeto de pesquisa: “Elaboração de banco de dados das estações de tratamento de esgoto sanitário implantadas na RMB para fins de planejamento e operação envolvendo fase líquida, sólida e gasosa”

| REV. | DESCRIÇÃO | DATA | POR |
|------|---|------------|-------|
| 00 | Processo de elaboração da base de dados – ETE01 | 25/02/2022 | UFFPA |
| | | | |

Orientando: Maurilo André da Cunha Assunção (PPGESA)
Orientador: Prof.Dr Neyson M.Mendonça

1144 **Figura 34.** ETE RESIDENCIAL ULISSES GUIMARÃES – SES(D).

BASE DE DADOS DE PLANEJAMENTO E OPERAÇÃO DAS ETE'S DE ESGOTO SANITÁRIO NA RMB-SES(D)–ETE RES.ULIS.GUIMA(ETE18)



INFORMAÇÕES BÁSICAS:

- Vazão e População: 10,76 L/s e 6.200 hab
- Município: Belém
- Localização georreferenciada: long.: 48.370219°; lat.: 1.370706°
- Sistema de tratamento de esgoto: Descentralizado
- Tratamento preliminar: GM/PRC/DHCD/MQP
- Processo de tratamento: UASB + BAS
- Tratamento do lodo: LSC+ HQ
- Tratamento do biogás: NTU

TRATAMENTO PRELIMINAR:

- Produção de sólidos grosseiros (kg/d): 58,20±2,65
- Produção de areia (kg/d): 28,644±1,302
- Produção de espuma (kg/d): 0,23833±0,01083

BALANÇO DE CARGA ORGÂNICA - UASB:

- Carga DQO afluente (kgDQO/d): 3. 319,70
- Carga DQO efluente (kgDQO/d): 1.161,9±166
- Carga DQO removida (kgDQO/d): 2.157,8±166
- Carga DQO convertida em lodo (kgDQO-lodo/d):459,6±35,4
- Carga DQO convertida em CH4 (kgDQO-CH4/d): 1.426,7±148,8

PRODUÇÃO E HIZIENIZAÇÃO DE LODO - UASB:

- Produção de lodo (kgSST/d): 58,0 ± 19,3
- Volume de lodo (m³/d): 1,243 ± 0,285
- Massa de lodo desaguada (kg/d): 51,6 ± 18,4
- Produção de torta (kgSST/d): 257,9 ± 91,9
- Quantidade de PQ para caleação (Q_{CaO}): 15,48 ± 5,52
- Quantidade de PQ aplicada (Q_{CaI}): 19,34 ± 6,89
- Quantidade de bio sólido produzido (Q_{bio+lodo}): 277,3 ± 98,8

POTENCIAL DE GEE E EMISSÃO DE MENTANO - UASB:

- Produção normalizada de metano (Nm³/d): 30,50 ± 12,90
- Taxa de emissão de metano (CO2 equivalente): 200,3 ± 84,9
- Produção normalizada de biogás (Nm³/d): 44,4 ± 18,8
- Energia química disponível (kWh/d): 301,8 ± 127,9

Projeto de pesquisa: “Elaboração de banco de dados das estações de tratamento de esgoto sanitário implantadas na RMB para fins de planejamento e operação envolvendo fase líquida, sólida e gasosa”

| REV. | DESCRIÇÃO | DATA | POR |
|------|---|------------|------|
| 00 | Processo de elaboração da base de dados – ETE01 | 25/02/2022 | UFPA |
| | | | |

Orientando: Maurilo André da Cunha Assunção (PPGESA)
Orientador: Prof.Dr Neyson M.Mendonça



1148 **Figura 36. ETE NOVO CRISTO – SES(D).**

| BASE DE DADOS DE PLANEJAMENTO E OPERAÇÃO DAS ETE'S DE ESGOTO SANITÁRIO NA RMB-SES(D)–ETE NOVO CRISTO I (ETE20) | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--|------------|---|------|-----------|------|-----|----|---|------------|------|--|--|--|--|---|
| | INFORMAÇÕES BÁSICAS: - Vazão e População: 4,86 L/s e 2.800 hab - Município: Belém - Localização georreferenciada: long.: 48.406431°; lat.:1.321923° - Sistema de tratamento de esgoto: Descentralizado - Tratamento preliminar: GM/PRC/DHCD/MQP - Processo de tratamento: UASB + BAS - Tratamento do lodo: LSC + HQ - Tratamento do biogás: NTU | | | | | | | | | | | | | | | |
| | TRATAMENTO PRELIMINAR: Produção de sólidos grosseiros (kg/d): 3,6310±0,1392 Produção de areia (kg/d): 12,936±0,588 Produção de espuma (kg/d): 0,10762±0,00489 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | BALANÇO DE CARGA ORGÂNICA - UASB: Carga DQO afluyente (kgDQO/d): 3. 319,70 Carga DQO efluente (kgDQO/d): 1.161,9±166 Carga DQO removida (kgDQO/d): 2.157,8±166 Carga DQO convertida em lodo (kgDQO-lodo/d):459,6±35,4 Carga DQO convertida em CH4 (kgDQO-CH4/d): 1.426,7±148,8 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | PRODUÇÃO E HIZIENIZAÇÃO DE LODO - UASB: Produção de lodo (kgSST/d): 26,20 ± 8,73 Volume de lodo (m ³ /d): 0,5614 ± 0,1287 Massa de lodo desaguada (kg/d): 23,29 ± 8,30 Produção de torta (kgSST/d): 116,5 ± 41,5 Quantidade de PQ para caleação (Q _{CaO}): 6,99 ± 2,49 Quantidade de PQ aplicada (Q _{CaI}): 8,73 ± 3,11 Quantidade de biossólido produzido (Q _{bio+lodo}): 125,2 ± 44,6 | | | | | | | | | | | | | | | |
| POTENCIAL DE GEE E EMISSÃO DE MENTANO - UASB: Produção normalizada de metano (Nm ³ /d): 13,77 ± 5,85 Taxa de emissão de metano (CO2 equivalente): 90,4 ± 38,4 Produção normalizada de biogás (Nm ³ /d): 20,7 ± 8,50 Energia química disponível (kWh/d): 136,3 ± 57,8 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Projeto de pesquisa: “Elaboração de banco de dados das estações de tratamento de esgoto sanitário implantadas na RMB para fins de planejamento e operação envolvendo fase líquida, sólida e gasosa” | | | <table border="1"> <thead> <tr> <th>REV.</th> <th>DESCRIÇÃO</th> <th>DATA</th> <th>POR</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>00</td> <td>Processo de elaboração da base de dados – ETE01</td> <td>25/02/2022</td> <td>UFPA</td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </tbody> </table> | REV. | DESCRIÇÃO | DATA | POR | 00 | Processo de elaboração da base de dados – ETE01 | 25/02/2022 | UFPA | | | | | Orientando: Maurilo André da Cunha Assunção (PPGESA) Orientador: Prof.Dr Neyson M.Mendonça |
| | REV. | DESCRIÇÃO | DATA | POR | | | | | | | | | | | | |
| 00 | Processo de elaboração da base de dados – ETE01 | 25/02/2022 | UFPA | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1149 | 1150 | | | | | | | | | | | | | | | |

BASE DE DADOS DE PLANEJAMENTO E OPERAÇÃO DAS ETE'S DE ESGOTO SANITÁRIO NA RMB-SES(D)–ETE R.MAGUARI AÇU (ETE21)



INFORMAÇÕES BÁSICAS:

- Vazão e População: 19,44 L/s e 11.200 hab
- Município: Belém
- Localização georreferenciada: lo ng.: 48.387732°; lat.: 1.361420°
- Sistema de tratamento de esgoto: Descentralizado
- Tratamento preliminar: GM/PRC/DHCD/MQP
- Processo de tratamento: UASB + BAS
- Tratamento do lodo: LSC + HQ
- Tratamento do biogás: NTU

TRATAMENTO PRELIMINAR:

- Produção de sólidos grosseiros (kg/d): 12,252±0,557
- Produção de areia (kg/d): 51,74±2,35
- Produção de espuma (kg/d): 0,4305±0,0196

BALANÇO DE CARGA ORGÂNICA - UASB:

- Carga DQO afluyente (kgDQO/d): 3. 319,70
- Carga DQO efluente (kgDQO/d): 1.161,9±166
- Carga DQO removida (kgDQO/d): 2.157,8±166
- Carga DQO convertida em lodo (kgDQO-lodo/d):459,6±35,4
- Carga DQO convertida em CH4 (kgDQO-CH4/d): 1.426,7±148,8

PRODUÇÃO E HIZIENIZAÇÃO DE LODO - UASB:

- Produção de lodo (kgSST/d): 104,8 ± 34,9
- Volume de lodo (m³/d): 2,246 ± 0,515
- Massa de lodo desaguada (kg/d): 93,2 ± 33,2
- Produção de torta (kgSST/d): 465,9 ± 166,1
- Quantidade de PQ para caleação (Q_{Ca0}): 27,96 ± 9,96
- Quantidade de PQ aplicada (Q_{Ca1}): 34,95 ± 12,45
- Quantidade de biossólido produzido (Q_{bio+lodo}): 501 ± 179

POTENCIAL DE GEE E EMISSÃO DE MENTANO - UASB:

- Produção normalizada de metano (Nm³/d): 55,1 ± 23,4
- Taxa de emissão de metano (CO2 equivalente): 361,7 ± 153,4
- Produção normalizada de biogás (Nm³/d): 80,2 ± 34,0
- Energia química disponível (kWh/d): 541 ± 231

Projeto de pesquisa: “Elaboração de banco de dados das estações de tratamento de esgoto sanitário implantadas na RMB para fins de planejamento e operação envolvendo fase líquida, sólida e gasosa”

| REV. | DESCRIÇÃO | DATA | POR |
|------|---|------------|-------|
| 00 | Processo de elaboração da base de dados – ETE01 | 25/02/2022 | UFFPA |
| | | | |

Orientando: Maurilo André da Cunha Assunção (PPGESA)

Orientador: Prof.Dr Neyson M.Mendonça

1153 **Figura 38. ETE VIVER MELHOR – SES(D).**

BASE DE DADOS DE PLANEJAMENTO E OPERAÇÃO DAS ETE'S DE ESGOTO SANITÁRIO NA RMB-SES(C)–ETE VIVER MELHOR (ETE22)



INFORMAÇÕES BÁSICAS:

- Vazão e População: 19,10 L/s e 11.000 hab
- Município: Belém
- Localização georreferenciada: long.: 48.320041°; lat.: 1.357958°
- Sistema de tratamento de esgoto: Descentralizado
- Tratamento preliminar: GM/PRC/DHCD/MQP
- Processo de tratamento: UASB + BAS
- Tratamento do lodo: LSC + HQ
- Tratamento do biogás: NTU

TRATAMENTO PRELIMINAR:

- Produção de sólidos grosseiros (kg/d): 12,033±0,547
- Produção de areia (kg/d): 50,82±2,31
- Produção de espuma (kg/d): 0,4228±0,0192

BALANÇO DE CARGA ORGÂNICA - UASB:

- Carga DQO afluyente (kgDQO/d): 3.319,70
- Carga DQO efluente (kgDQO/d): 1.161,9±166
- Carga DQO removida (kgDQO/d): 2.157,8±166
- Carga DQO convertida em lodo (kgDQO-lodo/d): 459,6±35,4
- Carga DQO convertida em CH4 (kgDQO-CH4/d): 1.426,7±148,8

PRODUÇÃO E HIZIENIZAÇÃO DE LODO - UASB:

- Produção de lodo (kgSST/d): 103,0 ± 34,3
- Volume de lodo (m³/d): 2,206 ± 0,506
- Massa de lodo desaguada (kg/d): 91,5 ± 32,6
- Produção de torta (kgSST/d): 457,6 ± 163,1
- Quantidade de PQ para caleação (Q_{CaO}): 27,42 ± 9,79
- Quantidade de PQ aplicada (Q_{CaI}): 34,32 ± 12,23
- Quantidade de biossólido produzido (Q_{bio+lodo}): 492 ± 175

POTENCIAL DE GEE E EMISSÃO DE MENTANO - UASB:

- Produção normalizada de metano (Nm³/d): 54,1 ± 23,0
- Taxa de emissão de metano (CO2 equivalente): 355,3 ± 150,6
- Produção normalizada de biogás (Nm³/d): 78,8 ± 33,4
- Energia química disponível (kWh/d): 535 ± 227

Projeto de pesquisa: “Elaboração de banco de dados das estações de tratamento de esgoto sanitário implantadas na RMB para fins de planejamento e operação envolvendo fase líquida, sólida e gasosa”

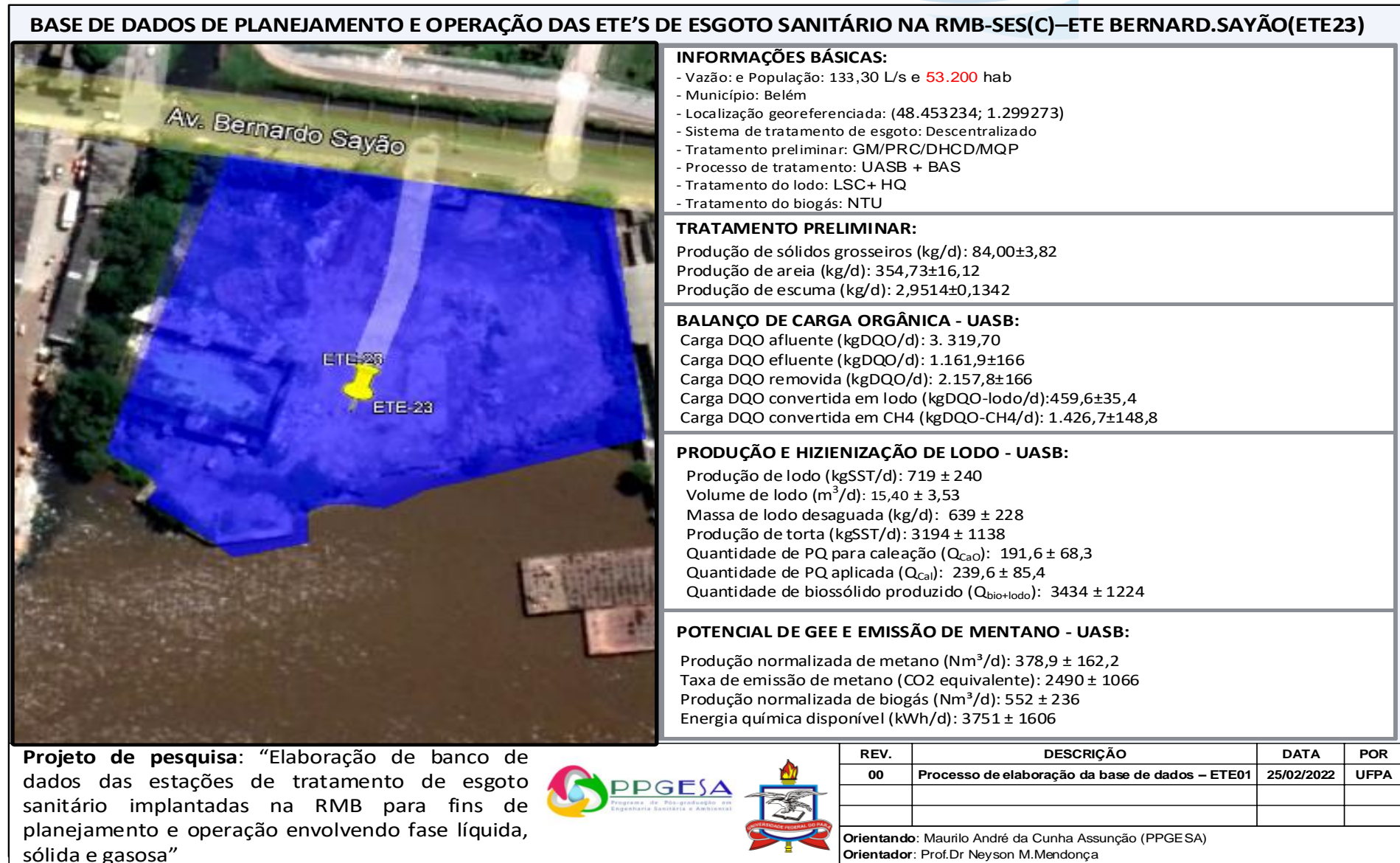
| REV. | DESCRIÇÃO | DATA | POR |
|------|---|------------|-------|
| 00 | Processo de elaboração da base de dados – ETE01 | 25/02/2022 | UFFPA |
| | | | |

Orientando: Maurilo André da Cunha Assunção (PPGESA)
Orientador: Prof.Dr Neyson M.Mendonça

1154

1155

1156 **Figura 39. ETE BERNARDO SAYÃO – SES(C).**



7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT. NBR 12209: Projeto de estações de tratamento de esgoto sanitário. p. 1–12, 1992.
- Aguiar Borgues, E. A. M., & Pereira dos Santos, A. S. (2018). Development of the Application of Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor (UASB) in Brazil. *Revista Internacional de Ciências*, 247–264. <https://doi.org/10.12957/ric.2017>.
- Alem Sobrinho, P. Tratamento de esgoto e produção de lodo. In: *Biossólidos na agricultura*. São Paulo: SABESP, 2001. p. 7 – 40.
- APHA, AWWA and WPCF (2005) *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 23a ed., Washington, D.C., Estados Unidos, 1546 pg.;
- Azevedo, L. dos S. Aproveitamento dos subprodutos gerados nas estações de tratamento de esgoto de Juiz de Fora. Trabalho Final de Curso, v. Universida, p. 79, 2014.
- Batista, L. F. Lodos gerados nas estações de tratamento de esgotos no Distrito Federal: um estudo de sua aptidão para o condicionamento, utilização e disposição final. 197 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2015.
- Bilotta, P., e Ross, B. Z. L. (2016) Estimativa de geração de energia e emissão evitada de gás de efeito estufa na recuperação de biogás produzido em estação de tratamento de esgotos. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 21, 275-282.
- Bittencourt, S.; Matos, A. T.; Silva, B. S.; Miki, M. K.; Bastos, R. K. X. Valoração e gerenciamento de subprodutos sólidos do tratamento do esgoto. Parte A: Higienização e uso de lodo no solo – Nota Técnica 2 - Aspectos legais. *Cadernos Técnicos Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 2, n. 1, p. 17-29, 2021a.
- Bittencourt, S.; Serrat, B. M.; Aisse, M. M. Regulamentação brasileira quanto à frequência de monitoramento de lodo de esgoto para uso agrícola: estudo de caso do estado do Paraná. *Revista DAE*, Edição nº 206, p. 21-31, 2017.
- Bolsonaro, J., Nacional de Águas Diretoria Colegiada Christianne Dias Ferreira Ricardo Medeiros de Andrade Oscar Cordeiro de Moraes Netto Marcelo Cruz Joaquin Guedes Corrêa Gondim Filho Secretaria Geral, A., Federal, P. P., Luís Carlos Martins Alves Júnior, A., Rodrigues Ayrimoraes Soares, S., Jorge Medeiros, M., ... Vaz Lopes, A. (2020). República Federativa do Brasil Ministério do Desenvolvimento Regional Rogério Simonetti Marinho Ministro. Retrieved from <http://www.ana.gov.br>
- Borges, N. B. et al. Potencialidade da utilização da areia removida em desarenadores de estação de tratamento de esgoto na construção civil, como material alternativo à areia comercial comum. *Revista DAE*, v. 64, n. 203, p. 64–79, 2016.
- Borges, N. B.; Campos, J. R. Pré-tratamento de lodo de tanques sépticos mediante flotação, antes do lançamentos em ETEs. *Revista DAE*, v. 59, n. 187, p. 37–47, 2011.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução CONAMA nº 498. Define critérios e procedimentos para produção e aplicação de biossólido em solos, e dá outras providências. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2020.
- Campos, J. R., Pessotto, B., & Borges, N. B. (2021). Novas concepções para reatores anaeróbios de manta de lodo: uso de mistura mecânica ou hidráulica com decantação lamelar e sem separador trifásico. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 26(6), 1097–1109. <https://doi.org/10.1590/s1413-415220200146>
- Campos, J.R. (1999). (Coordenador). Tratamento de Esgotos Sanitários Por Processo Anaeróbio e Disposição Controlada no Solo-Coletânea de Trabalhos Técnicos-Programa de Saneamento Básico (PROSAB) Edital 01, ABES, Rio de Janeiro, 435 pg.
- Caroline De Paula, A., Duarte Hernández, O. A., Aisse, M. M., Rafael, G., & Possetti, C. (2018). li-257-Avaliação Preliminar Do Balanço De Massa Em Termos De Dqo Para Reatores Anaeróbios Do Tipo Uasb Modificado Tratando Esgoto Doméstico Em Escala Real. (1), 1–11.

- CETESB (2011) Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras: Água, Sedimento, Comunidades Aquáticas e Efluentes Líquidos. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, Organizadores: Carlos Jesus Brandão et al. São Paulo: CETESB, Brasília (DF) ANA, 326 pg.;
- Chernicharo, C. A. de L., Ribeiro, T. B., Garcia, G. B., Lermontov, A., Platzer, C. J., Possetti, G. R. C., & Rosseto, M. A. L. L. R. (2018). Panorama do tratamento de esgoto sanitário nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste do Brasil: tecnologias mais empregadas. *Revista DAE*, 66(213), 5–19. <https://doi.org/10.4322/dae.2018.028>
- Chernicharo, C. A. L. (2007) Princípios do Tratamento biológico de águas residuárias: reatores anaeróbios, 2ª ED, Editora da UFMG, Belo Horizonte, 379 pp.
- Chernicharo, C.A.L. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. v. 5: Reatores Anaeróbios. 2. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG, 2007.
- Chernicharo, C.A.L; Bressani, R., T.; Pegorini, E.; Possetti, G.R.C.; Miki, M. K.; Nonato, S. Contribuição para o aprimoramento de projeto, construção e operação de reatores UASB aplicados ao tratamento de esgoto sanitário – Parte 1: Tópicos de Interesse. *Revista DAE*, Vol. 66,2018.
- Chernicharo, Carlos Augusto de Lemos (2007). Princípios do Tratamento biológico de águas residuárias: Reatores Anaeróbios. Editora da UFMG, 2ª Edição, Volume Nº 5., Belo Horizonte, 379 pg.
- Chernicharo, Carlos Augusto de Lemos (2018). Contribuição para o aprimoramento de projeto, construção e operação de reatores UASB aplicados ao tratamento de esgoto sanitário – Parte 1 a Parte 6. *Revista DAE* Nº 214, Vol. 66 Edição especial, São Paulo, 5-110 pg.
- Colet, E.; UASB, N. E. A. R. Informação para formação Coletânea de Notas Técnicas. [s.l.: s.n.]. v. 66
- Dados de saneamento de Ananindeua e Marituba. Disponível Em < www.painelsaneamento.org.br>. Acessado Em: 20 De Novembro De 2021.
- Dantas, M. S., Freitas, D. L., Ferreira, L. O., Neves, P. N. P., & Oliveira, S. (2022). Avaliação de dados de monitoramento de estações de tratamento de esgotos domésticos operando com reatores UASB, localizadas na bacia hidrográfica do Rio das Velhas (MG), Brasil. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 27(2), 365–376. <https://doi.org/10.1590/s1413-415220210106>
- Díaz Flórez, C. A. Avaliação de protocolos de descarte e desaguamento da espuma acumulada no interior de separadores trifásicos de reatores UASB. 2016. 83p. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos)
- Dielle, E. F. Estudo da nova norma brasileira de projeto de estação de tratamento de esgotos – nbr 12.209/2011. Universidade Federal de Juiz de Fora, p. 69, 2014.
- Dilallo, R e Alberton, O. E. (1961) Ácidos voláteis por titulação direta. *Journal of Water Pollution Control Federation*, 33 (4), 356-356.
- Droste, R.L.(1997) Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment. New York, John Wiley & Sons Inc.,798p.
- Hammer, M.J. and Hammer Jr., M.J. (1996). *Water and Wastewater Technology*, 3ª ed., Prentice-Hall, Inc., 519p., New Jersey, Estados Unidos.
- Henze, M., Harremoës, P., Arvin, E., and Jansen, J. C. (1997). *Wastewater Treatment: Biological and Chemical Processes*. New York, Springer, 383p.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. Disponível Em< <https://www.ibge.gov.br/>>. Acessado Em: 10 de novembro de 2021
- Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em ETES sustentáveis. Disponível em < http://etes-sustentaveis.org/wp-content/uploads/2021/06/17-ES-PTE_1.pdf>. Acessado em: 05 De Janeiro De 2021.

- Instituto Trata Brasil. Disponível em < <https://tratabrasil.org.br/>> Acessado em: 15 de março de 2022.
- Jordão, E. P. & Pessoa, C.A. (2014). Tratamento de Esgotos Domésticos. ABES, Rio de Janeiro, 7ª Edição, 1050 p.
- Khai, N. M. Effects of using wastewater and biosolids as nutrient sources on accumulation and behaviour of trace metals in Vietnamese soils. 2007. 71p. Tese (Doutorado) – Universidade Sueca de Ciências Agrícolas. 2007. Uppsala: 2007.
- Kodali, R. K. Smart waste water treatment. TENSYP 2017 - IEEE International Symposium on Technologies for Smart Cities, 2017.
- Liu, F., Ouedraogo, A., Manghee, S., e Danilenko, A. (2012) Uma cartilha sobre eficiência energética para serviços municipais de água e águas residuais. Acesso em 15 de novembro de 2021, disponível em: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/18060>;EPA.
- Lobato, L. C. S. (2011) Aproveitamento energético de biogás gerado em reatores UASB tratando esgoto doméstico, Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos), Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 187 pp.
- Lobato, L. C. S., Chernicharo, C. A. L., & Souza, C. L. (2012). Estimates of methane loss and energy recovery potential in anaerobic reactors treating domestic wastewater. *Water Science and Technology*, 66(12), 2745–2753. <https://doi.org/10.2166/wst.2012.514>
- Lofrano, G.; BROWN, J. Wastewater management through the ages: A History of mankind. Elsevier: Science of the total environment, v. 0048, p. 5255 – 5261, 2010.
- Maroneze, M. M., Zepka, L. Q., Vieira, J. G., Queiroz, M. I., & Jacob-Lopes, E. (2014). A tecnologia de remoção de fósforo: Gerenciamento do elemento em resíduos industriais. *Revista Ambiente e Água*, 9(3), 445–458. <https://doi.org/10.4136/1980-993X>
- Marques, L. da C., & Nunes, A. B. de A. (2018). Análise da eficiência do tratamento de efluentes em reatores UASB em Fortaleza/CE. *Revista DAE*, 66(212), 95–104. <https://doi.org/10.4322/dae.2018.025>
- Mendonça, N. M.; CHERNICHARO, C. A. de L.; ANDREOLI, C. V.; PEREIRA, L. M.; SOUZA, M. A. A. de. Gerenciamento dos subprodutos sólidos do tratamento de esgotos em empreendimentos habitacionais. Caracterização, Tratamento e Gerenciamento de Subprodutos de Correntes de Esgotos Segregadas e Não Segregadas em Empreendimentos Habitacionais. Fortaleza. Editora Impreco. p. 493-572. 2019.
- Mendonça, S.R; Mendonça, L.C. (2017) Sistemas sustentáveis de esgotos: orientações técnicas para projeto e dimensionamento de redes coletoras, emissários, canais, estações elevatórias, tratamento e reuso na agricultura, 2a ed, Blucher, São Paulo, 364 pp.
- Metcalf and Eddy (2003). *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse* 4.ed., New York, McGraw-Hill, Inc, 1819p.
- Metcalf e Eddy (2003) *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse*, 4a ed, McGraw-Hill, Inc, New York, 1819 pp.
- Mihelcic, J.R. (1998) *Fundamentals of Environmental Engineering*. New York, John Wiley & Sons Inc., 335p.
- Miki, M. K. (2010). Dilemas do UASB. *Revista DAE*, 58(183), 1–37. <https://doi.org/10.4322/dae.2014.052>
- Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016. Kato, M. T. et al. Oportunidades e desafios na implementação de estações de tratamento de esgoto descentralizadas. [s.l: s.n.].
- Mingoti, S.A. (2005) Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada. Belo Horizonte, Editora UFMG, 297 pg.
- O. JÚNIOR, J. L. DE. Tratamento descentralizado de águas residuárias domésticas: uma estratégia de inclusão social. *Gestão sustentável dos recursos naturais: uma abordagem participativa*, p. 213–232, 2013.

- Oliveira, B. V. S. (2018) Avaliação da eficiência energética em estações de tratamento de esgotos sanitários: estudo de caso no município de Jaraguá do Sul, Monografia (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 117 pp.
- Oliveira, J. P. DE. Estudo da geração de biodiesel a partir de resíduos oleosos do saneamento ambiental. 2012.
- Oliveira, S. C., & Von Sperling, M. (2007). Reliability analysis of wastewater treatment plants. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 12(4), 389–398. <https://doi.org/10.1590/s1413-41522007000400005>
- OMS (1989). Directrices sanitarias sobre el uso de aguas residuales en agricultura y acuicultura: informe de un Grupo Científico de la OMS. Serie de Informes Técnicos 778. Ginebra., 90pp.
- ÓRGÃO OFICIAL DE INFORMAÇÃO TÉCNICA DA ABES. Cadernos Técnicos Engenharia Sanitária E Ambiental. Editora Zeppelini. Rio de Janeiro. v. 02, n. 01, p. 1-101, 2021.
- Pedroza, M. M.; Vieira, G. E. G.; Sousa, J. F.; Pickler, A. C.; Leal, E. R. M.; Milhomen, C. C. Produção e tratamento de lodo de esgoto - uma revisão. *Revista Liberato (Novo Hamburgo)*, v. 11, p. 147-157, 2010.
- Peralta-argomeda, J., Huamantincó-araujo, A., Luz Yolanda Toro Suarez, Pimentel, H. F., Quispe Phocco, R. F., Roldán-Pérez, G., ... Villanueva, I. (2016). No 主観的健康感を中心とした在宅高齢者における健康関連指標に関する共分散構造分析Title. *Ucv*, I(02), 0–116. Retrieved from [http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/10947/MiñanoGuevara%2C Karen Anali.pdf?sequence=1&isAllowed=y%0Ahttps://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/3346/DIVERSIDAD_DE_MACROINVERTEBRADOS_ACUÁTICOS_Y_SU.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/10947/MiñanoGuevara%2C%20KarenAnali.pdf?sequence=1&isAllowed=y%0Ahttps://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/3346/DIVERSIDAD_DE_MACROINVERTEBRADOS_ACUÁTICOS_Y_SU.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Pereira, J. de O. Controle da formação de espuma e remoção de matéria orgânica em reator UASB com duplo estágio de coleta de biogás. p. 80, 2007.
- Pereira, J. O. et al. Reduction of scum production in a modified UASB reactor treating domestic sewage. *Water Science and Technology*, v. 79, n. 9, p. 1657–1666, 2019.
- Plana, Q. et al. Characterizing the settleability of grit particles. *Water Environment Research*, v. 92, n. 5, p. 731–739, 2020.
- Plana, Q. et al. Grit particle characterization: Influence of sample pretreatment and sieving method. *Water Science and Technology*, v. 78, n. 6, p. 1400–1406, 2018.
- Possetti, GRC, Jasinski, VP, Andreoli, CV, Bittencourt, S, Carneiro, C (2012) Sistema térmico de higienização de lodo de esgoto movido a biogás para ETEs de médio e pequeno porte, 15º Simpósio Luso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Belo Horizonte.
- Prado, G. S.; Campos, J. R. Determinação da quantidade de areia no esgoto sanitário: metodologia e estudo de caso. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, v. 13, n. 3, p. 306–312, 2008.
- Prado, G.S.; CAMPOS, J. R. Determinação da quantidade de areia no esgoto sanitário: metodologia e estudo de caso. *Revista RESA*, v. 13, n.3, p. 306-312, jul./set. 2008.
- Prado, G.S.; CAMPOS, J. R. O emprego da análise de imagem na determinação da distribuição de tamanho de partículas da areia presente no esgoto sanitário. *Revista RESA*, v.14, n.3, p. 401-441, jul./set. 2009.
- Singh, N. K.; Kazmi, A. A.; STARKL, M. A review on full-scale decentralized wastewater treatment systems: Techno-economical approach. *Water Science and Technology*, v. 71, n. 4, p. 468–478, 2015.
- Ribeiro, J. C., & Silva, G. H. R. da. (2018). Acompanhamento operacional e avaliação de uma estação compacta de tratamento de esgoto sanitário: reator UASB seguido de filtro aerado submerso. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 23(1), 27–31. <https://doi.org/10.1590/s1413-41522018164458>
- Rittmann, B. E., e McCarty, P. L. (2001) *Environmental Biotechnology: Principles and Applications*, McGraw-Hill. Inc, New York, 754 pp.

- Rittmann, Bruce E. & McCarty, Perry L. (2001). *Environmental Biotechnology: Principles and Applications*. New York, McGraw-Hill, Inc, 754 p.
- Roberts, P. J. W. *Marine Wastewater Outfalls and Treatment Systems*. [s.l: s.n.]. v. 9
- Rocha, J. M. da, Faleiro, G. G. V., Magalhães, J. S. F., & Pereira, J. de O. (2017). Avaliação da retenção de sólidos em inovadora configuração de reator UASB tratando esgoto doméstico. *Revista DAE*, 65(205), 29–44. <https://doi.org/10.4322/dae.2016.021>
- Santos, A. B. (2019) (Coordenador). *Caracterização, Tratamento e Gerenciamento de Subprodutos de Correntes de Esgotos Segregadas e Não Segregadas em Empreendimentos Habitacionais*, Fortaleza: Imprece, 2019, 812 p
- Santos, A. V. Remoção, tratamento e valoração de espuma proveniente de reatores UASB aplicados ao tratamento de esgoto doméstico. p. 115, 2014.
- Silva, B. S. da; Miki, M. K. Práticas operacionais e de empreendimentos – Análise crítica dos instrumentos legais do ministério da agricultura, pecuária e abastecimento (MAPA) para uso agrícola do lodo de esgoto. *Revista DAE*, Edição nº: 205, p. 54-70, 2017.
- SNIS, Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (2019) Informações para planejar o esgotamento sanitário. Acesso em 10 de novembro de 2021, disponível em: <http://www.snis.gov.br/downloads/cadernos/2019/DO_SNIS_AO_SINISA_ESGOTO_SNI_S_2019.pdf>.
- Souza, A. C. F., Soares, N. R. M., Paiva, A. D. C., Mendes, J. T. R., e Souza, J. F. (2019) Avaliação microscópica e microbiológica de farinhas de mandioca *Manihot esculenta* Crantz comercializadas nas feiras do Produtor e do Agricultor na cidade de Macapá, Amapá, *Revista Intertox de Toxicologia, Risco Ambiental e Sociedade*, 12 (3), 1-12.
- Souza, C. L. DE. Estudo quantitativo e qualitativo de espuma acumulada em reatores UASB tratando esgotos domésticos. p. 130, 2006.
- Speece R.E.(1996). *Anaerobic Biotechnology for Industrial Wastewaters*. Nashville, Archae Press. 393p.
- Spellman, F.R. (2004). *Mathematics Manual for Water and Wastewater Treatment Plant Operators*, New York, Crc Press,689 p.
- Stamatelatos, K, e Tsagarakis, KP. (2015) *Introduction to energy management in wastewater treatment plants*, 1a ed, IWA Publishing, London, 355 p.
- Suriyachan, C.; Nitivattananon, V.; Amin, A.T.M.N. Potential of decentralized wastewater management for urban development: Case of Bangkok. *Habitat International*. v. 36, n. 1, p. 85-92, 2012.
- Triola, M.F. (2017) *Introdução a estatística*. 12ª Edição, Rio de Janeiro, LTC, 812 pg.
- Udaeta, M. E, Medeiros, G. A. D. S, da Silva, V. O, e Galvão, L. C (2019) Requisitos básicos e procedimentais para potencial energético do biogás de estações de tratamento de esgoto. *Jornal de Gestão Ambiental*, 236, 380-387.
- USEPA. *Wastewater Technology Fact Sheet Dechlorination*. Environmental Protection Agency, p. 1–7, 2000.
- Van Haandel, A. C. e Marais, G. O. (1999) *Comportamento do Sistema de Lodo Ativado: Teoria e Aplicações para Projetos e Operações*, EPGRAF, Campina Grande.
- Von Sperling, M. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. 4. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014. v. 1.
- Von Sperling, M. Part Four. *Management of Risk From Excreta and Wastewater. Constructed Wetlands*, n. September, p. 1–20, 2017.