

BRUNO DE MEDEIROS SOUZA

**CUSTOS DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DE ETE POR REATOR ANAERÓBIO  
E LODOS ATIVADOS COM DESNITRIFICAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso (Artigo Científico) apresentado ao Programa de Pós-graduação em Uso Sustentável de Recursos Naturais, Mestrado Profissional, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, em cumprimento às exigências legais como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais, na linha de pesquisa em Saneamento Ambiental.

Orientador: Dr. Marco Antonio Calazans Duarte

Co-orientadora: Dra. Juliana Delgado Tinôco

NATAL

2019

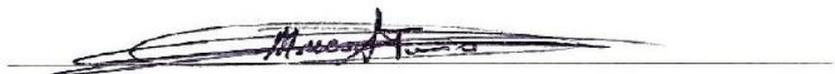
BRUNO DE MEDEIROS SOUZA

**CUSTOS DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DE ETE POR REATOR ANAERÓBIO  
E LODOS ATIVADOS COM DESNITRIFICAÇÃO**

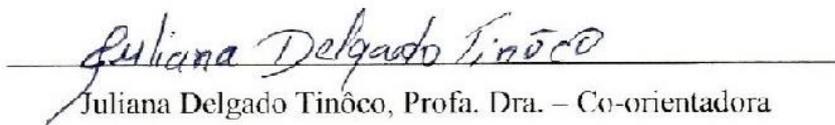
Trabalho de Conclusão de Curso (Artigo Científico) apresentado ao Programa de Pós-graduação em Uso Sustentável de Recursos Naturais, Mestrado Profissional, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, em cumprimento às exigências legais como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais, na linha de pesquisa em Saneamento Ambiental.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado e aprovado em 23/08/2019, pela seguinte banca examinadora:

**BANCA EXAMINADORA**



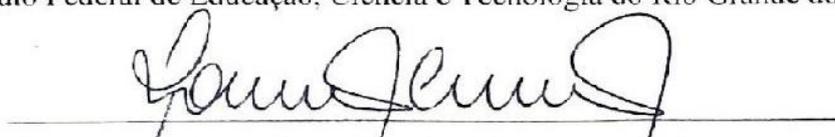
Marco Antonio Calazans Duarte, Prof. Dr. – Presidente  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte



Juliana Delgado Tinoco, Profa. Dra. – Co-orientadora  
Universidade Federal do Rio Grande do Norte



André Luís Calado Araújo, Prof. Dr. – Examinador interno  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte



Paulo Eduardo Vieira Cunha, Prof. Dr. – Examinador externo  
Universidade Federal do Rio Grande do Norte

## CUSTOS DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DE ETE POR REATOR ANAERÓBIO E LODOS ATIVADOS COM DESNITRIFICAÇÃO

### OPERATING AND MAINTENANCE COSTS OF WWTP WITH ANAEROBIC REACTOR AND DENITRIFICATION ACTIVATED SLUDGE

Bruno de Medeiros Souza<sup>\*</sup>  
Marco Antonio Calazans Duarte<sup>\*\*</sup>  
Juliana Delgado Tinôco<sup>\*\*\*</sup>

**RESUMO:** Este trabalho apresenta estudos de custos de operação e manutenção (O&M) de uma estação de tratamento de esgotos (ETE) por reator anaeróbico e lodos ativados com desnitrificação, localizada na cidade de Natal-RN. Possui como objetivo realizar a composição dos custos de O&M e analisar suas relações frente aos parâmetros volumétricos, número de habitantes atendidos e cargas removidas. Na pesquisa, foram identificados os diversos componentes dos custos de O&M responsáveis pelas atividades necessárias ao funcionamento da ETE, no período de julho de 2016 a dezembro de 2018, e reunidos em 4 grupos de custos. Os custos de O&M por metro cúbico de esgoto tratado ao longo dos anos de 2016, 2017 e 2018 assumiram valores médios de R\$  $0,34 \pm 0,01 \cdot m^{-3}$ , R\$  $0,31 \pm 0,04 \cdot m^{-3}$  e R\$  $0,40 \pm 0,04 \cdot m^{-3}$ , respectivamente. Os custos referentes a pessoal e a consumo energético exerceram, em todos os meses analisados, o primeiro e o segundo componentes de maior representatividade no custo total. Dentre os setores responsáveis pelo consumo energético, merece destaque o dos sopradores, que contribuiu, nesse aspecto, com 65,43%. Também foram calculados e expostos os custos para remoção de matéria orgânica, nitrogênio amoniacal e E. coli (log). Por fim, recomenda-se estudos na implementação de melhorias nos grupos pessoal e energia, tendo em vista que são responsáveis por mais de 75% de todos os custos de O&M da ETE. Palavras-chave: Custos de operação e manutenção. Indicador econômico em ETE. Eficiência econômica em ETE.

**ABSTRACT:** This research presents studies on operation and maintenance costs (O&M) of an wastewater treatment plant (WWTP) with anaerobic reactor and denitrification activated sludge, located in the city of Natal - RN. Its objective is to make a composition of O&M costs and to analyze their relation with the volumetric parameters, number of inhabitants benefited and loads removed. In this study various components of O&M costs were identified, which are related to the activities necessary to the operation of the WWTP during the period ranging from July 2016 to December 2018, also being grouped into 4 cost groups. The O&M costs per cubic meter of treated sewage over the years 2016, 2017 and 2018 amounted to the average values of R\$  $0,34 \pm 0,01 \cdot m^{-3}$ , R\$  $0,31 \pm 0,04 \cdot m^{-3}$  e R\$  $0,40 \pm 0,04 \cdot m^{-3}$ , respectively. Costs related to the personnel and energy consumption figured, in all the analyzed months, as the first and the second most representative components in the total cost. Among the sectors responsible for energy consumption, the blowers are noteworthy, given that they contributed with 65.43% in this aspect. Costs for removal of organic matter, ammonia nitrogen and E. coli (log) have also been calculated and exposed. Finally, this study recommends as suitable the implementation of

---

\* Aluno do Programa de Pós-graduação em Uso Sustentável de Recursos Naturais do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte.

\*\* Professor Titular do Programa de Pós-graduação em Uso Sustentável de Recursos Naturais do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte.

\*\*\* Professora Doutora do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

improvements in the personnel and energy groups, as they account for over 75% of all the WWTP O&M costs.

Keywords: Operation and maintenance costs. Economic indicator on WWTP. Economic efficiency on WWTP.

## 1 INTRODUÇÃO

É reduzido o número de trabalhos que contabilizam os custos de operação e de manutenção (O&M) em Estações de Tratamento de Esgotos (ETE), tanto na literatura nacional como na internacional (RUIZ-ROSA; GARCÍA-RODRÍGUEZ; MENDOZA-JIMÉNEZ, 2016; FREITAS *et al.*, 2009). A maioria das pesquisas referem-se ao desempenho das ETE sob indicadores estritamente ambientais, raramente correlacionando-os com critérios econômicos, como também, nos poucos artigos relacionados à temática de custos em ETE, as análises de custos de implantação predominam (LEONETI; OLIVEIRA; PIRES, 2013). Além disso, a precariedade de informações que discorrem sobre os custos operacionais e de manutenção das ETE existentes no Brasil obriga os gestores a buscarem informações internacionais, algumas vezes desarticuladas com a prática nacional ou até regional (SAMPAIO; GONÇALVEZ, 1999).

Conforme apontado por Su *et al.* (2019), assim como as indústrias, no que diz respeito ao objetivo da sua atividade fim, as ETE se configuram como unidades consumidoras de diversos recursos naturais, tais como energia, água e combustíveis. Esses recursos são necessários ao adequado desenvolvimento das suas atividades rotineiras e, de acordo com Anzilago *et al.* (2017), Piao *et al.* (2016), Fang *et al.* (2016) e Balkema *et al.* (2002), observa-se uma tendência por parte da sociedade em pressionar as organizações consumidoras de recursos no âmbito da incorporação de estratégias sustentáveis. Segundo Sweetapple *et al.* (2019), a prática da sustentabilidade em sistemas de esgotamento sanitário deve contemplar, além de indicadores sociais e ambientais, indicadores econômicos atrelados aos custos de O&M; portanto, o conhecimento de tais indicadores é de fundamental importância para a realização de intervenções seguras nos sistemas, com vistas a reduzir possíveis condições adversas, como alterações em tarifas energéticas ou incrementos populacionais demasiados. Neste contexto, Dereszewska e Cytawa (2016) relatam, em seu trabalho, uma série de ganhos ambientais observados em uma comunidade inserida nas costas do mar Báltico após a realização de intervenções na gestão operacional da ETE SWARZEWO, baseadas em tomadas de decisões através de análises de indicadores, dentre eles os econômicos. A redução no consumo de energia elétrica devido a uma maior produção de biogás na ETE, assim como a minimização da emissão de CO<sub>2</sub> e de nutrientes poluentes exemplificam os ganhos ambientais na região.

Em se tratando de Brasil, a eficiência da prestação dos serviços públicos é um dos princípios do direito administrativo que deve ser respeitado. No setor do saneamento, tal premissa não é diferente e, a partir da promulgação da Lei 11.445/2007, que estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico, verifica-se um destaque da eficiência e da sustentabilidade econômica como princípios fundamentais a serem cumpridos na efetivação desses serviços (BRASIL, 2007). A referida Lei expõe que as ações implementadas através de investimentos públicos relacionados ao saneamento devem atingir índices mínimos de eficiência e eficácia destes serviços durante toda a vida útil do empreendimento. Tais índices são objetos de fiscalização por parte de entidades reguladoras e devem ser publicados em sistemas de informações, em busca da transparência das ações (BRASIL, 2007). Dessa forma, é crucial que esses elementos contemplem, em sua estruturação, os custos envolvidos na operação e na manutenção dos sistemas para que, assim, sirvam realmente de instrumentos objetivos de mensuração. Nesta vertente, segundo Von Sperling e Von Sperling (2013), a Lei

institucionaliza a utilização dos Indicadores de Desempenho (ID) como ferramentas úteis ao processo de planejamento, regulação e fiscalização dos serviços.

De acordo com Sandrin *et al.* (2015) e Von Sperling e Von Sperling (2013), trabalhos que definem ID assumem papel importante na evolução da informação do setor de saneamento, pois esses indicadores atuam quantitativamente na aferição da eficiência e da eficácia dos sistemas, tal como preconizado através da Lei 11.445/2007. Reportando-se ao artigo 23, da Lei 11.445/2007, torna-se evidente a preocupação em se cumprir com qualidade os serviços relacionados ao saneamento, uma vez que os requisitos de qualidade devem ser contemplados não apenas sob as óticas ambiental ou técnica, mas também econômica. Isso ocorre devido à obtenção de eficiência e de eficácia em diversas dimensões, a fim de se obter uma otimização do recurso público frente aos serviços prestados, sem onerar os usuários do sistema (SU *et al.*, 2019; CARVALHO, 2013), inclusive com monitoramento dos custos. Portanto, os ID devem ser desenvolvidos de modo a incorporar essa nova lógica econômica em seus cálculos, para que possam ser utilizados como recursos basilares nos processos de tomadas de decisões estratégicas (RUIZ-ROSA; GARCÍA-RODRÍGUEZ; MENDOZA-JIMÉNEZ, 2016; LEONETI; OLIVEIRA; PIRES, 2013). Conforme Long *et al.* (2019), Lu, Du e Huang (2017) e Meneses *et al.* (2015), a condução das estratégias adotadas nas rotinas operacionais de ETE provém do equilíbrio ou do custo-benefício obtido entre os indicadores de desempenho ambiental, desde que vinculados à qualidade do efluente e aos indicadores econômicos que estão atrelados aos custos operacionais.

Neste contexto, ganham destaque a implementação de ID nas companhias de saneamento e nas agências reguladoras como ferramentas úteis à mensuração da qualidade da prestação dos serviços e, conseqüentemente, como instrumentos que alicerçam tomadas de decisões convergentes à garantia da qualidade, à sustentabilidade, ao atendimento dos interesses dos consumidores e à rentabilidade financeira do sistema (TRENNEPOHL; SOARES; KOSSATZ, 2017; COROMINAS *et al.*, 2013). De acordo com Carvalho (2013), os ID atuam como instrumentos chaves de apoio à gestão dos serviços de saneamento, tornando os processos decisórios mais objetivos e menos complexos.

Considerando, então, que as ETE são unidades constituintes do sistema de esgotamento sanitário e que este é um dos integrantes das quatro vertentes do saneamento básico, é essencial que a avaliação da eficiência e, conseqüentemente, da sustentabilidade econômica, deva ser estendida a estas instalações, pois, segundo Garrido-Baserba *et al.* (2018) e Ivar *et al.* (2017), a magnitude da relevância dos custos de O&M em ETE no custo total (implantação e operação) de todo o sistema de esgotamento sanitário pode assumir a parcela significativa de cerca de 25%.

Diante da necessidade de incremento do número de ETE nos próximos anos, torna-se, então, primordial a determinação de ID que contemplem este viés econômico, a fim de servir como um instrumento de apoio ao monitoramento da eficiência e da eficácia da ETE (BUONOCORE *et al.*, 2018; REVOLLAR *et al.*, 2017; PIAO *et al.*, 2016), inclusive servindo como base de comparações com outros sistemas similares, de modo a buscar, assim, análises mais objetivas destes, considerando também o fator de variação dos custos de O&M em função da depreciação no tempo das instalações (RUIZ-ROSA; GARCÍA-RODRÍGUEZ; MENDOZA-JIMÉNEZ, 2016; HERNÁNDEZ-SANCHO; MOLINOS-SENANTE; SALA-GARRIDO, 2011).

Esta pesquisa está inserida nesse contexto, que vem ganhando aceitabilidade no setor do saneamento e na área ambiental no Brasil e no mundo e objetiva apresentar como produto final a composição dos custos de O&M de uma ETE por reator anaeróbico e lodos ativados com desnitrificação e analisar suas relações frente aos parâmetros volumétricos, número de habitantes atendidos e cargas removidas.

## 2 METODOLOGIA

A metodologia utilizada na pesquisa segue detalhada nas seções abaixo.

### 2.1 LOCAL E PERÍODO DE ESTUDO

O estudo foi realizado em uma ETE localizada na cidade de Natal, no estado do Rio Grande do Norte, região de clima tropical. Os dados foram coletados de julho de 2016 a dezembro de 2018, abrangendo 36 meses de observação.

### 2.2 DESCRIÇÃO DO TRATAMENTO

A ETE pesquisada é constituída por unidades de tratamento preliminar mecanizadas (gradeamento grosso, gradeamento fino e caixa de areia), logo após, o fluxo de esgoto se subdivide em 02 linhas de tratamento que operam em paralelo. Cada linha possui 04 reatores anaeróbios de fluxo ascendente e manto de lodo (UASB), 01 câmara anóxica, 01 tanque de aeração, 01 decantador secundário e finalmente, o fluxo das 02 duas linhas converge para a última etapa do tratamento, a unidade de desinfecção por radiação ultravioleta. As unidades de tratamento que compõem a ETE estão identificadas na Figura 1.

Figura 1 – Vista geral das unidades da ETE em estudo



Fonte: Adaptado de Google Earth (2019).

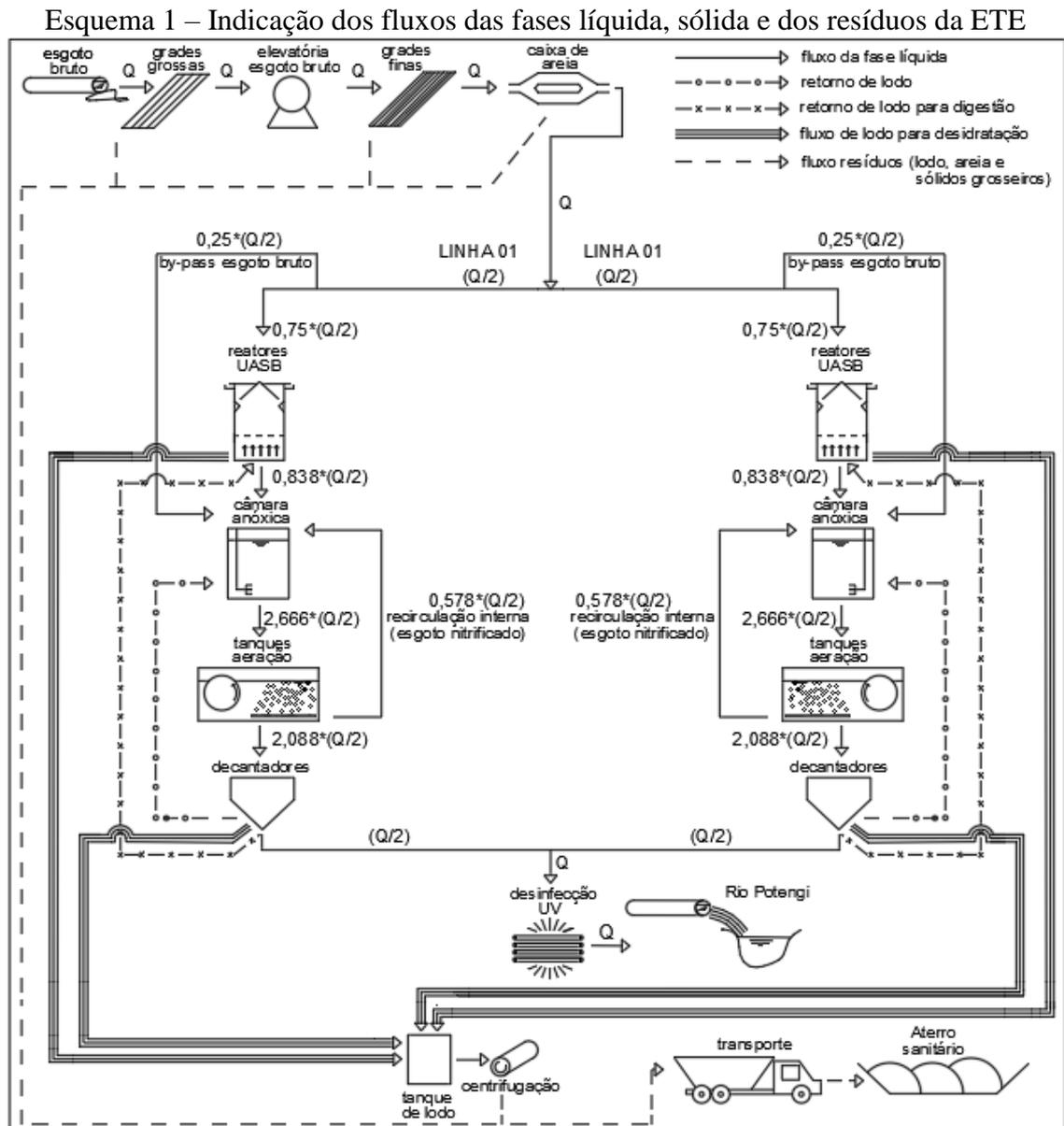
A estação possui capacidade de tratamento de  $450 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$  (final de plano no ano de 2024), vazão correspondente a 02 módulos construídos e que estão operando atualmente (linha 1 e linha 2); cada módulo corresponde a uma capacidade de tratamento de  $225 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$  (FERRAZ, 2014). Atualmente a vazão média de operação da ETE é  $406 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$  (obtida através de leituras da calha Parshall) e ao se considerar uma contribuição per capita de  $150,32 \text{ L}\cdot(\text{hab}\cdot\text{dia})^{-1}$  (PREFEITURA DO NATAL, 2016) e um coeficiente de retorno de 0,8, tem-se que a ETE em questão atende cerca de 290.000 habitantes. A Tabela 1 expõe as principais características do esgoto bruto na ETE analisada durante o período de estudo.

Tabela 1 – Parâmetros característicos do afluente da ETE no período de estudo

| Parâmetro                   | Valor  |
|-----------------------------|--------|
| Q (L/s)                     | 406    |
| pH                          | 7,20   |
| DQO (mg/L)                  | 494,95 |
| DBO (mg/L)                  | 269,59 |
| SST (mg/L)                  | 683,47 |
| Nitrogênio amoniacal (mg/L) | 46,94  |

Fonte: Elaboração própria em 2019.

O Esquema 1, no entanto, representa os fluxos das fases líquida, sólida e dos resíduos gerados na estação. Neste esquema, as vazões da fase líquida foram indicadas. Para tanto, foi considerado que a vazão total afluente a ETE corresponde a (Q) e que, após o tratamento preliminar, cada linha de tratamento recebe uma vazão (Q/2) (ARAÚJO *et al.*, 2017).



Fonte: Adaptado de Araújo *et al.* (2017).

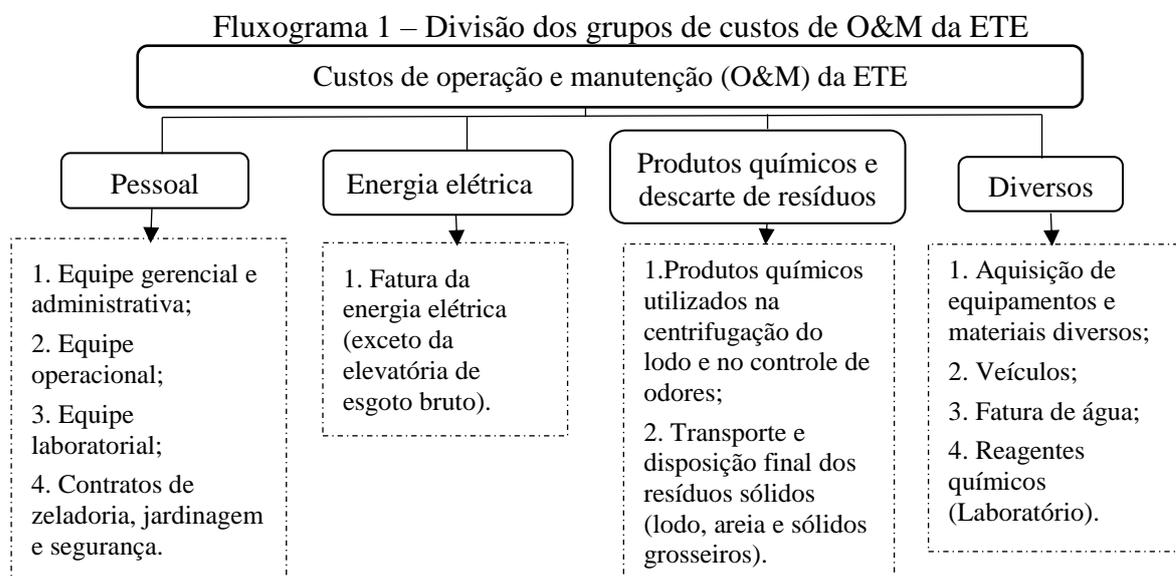
No que concerne à fase sólida, a unidade de desidratação recebe, através do tanque de lodo, a matéria sólida proveniente dos UASB (por gravidade ou através das elevatórias de espuma 1 e 2) e das superfícies dos decantadores secundários (recalcados pela elevatória de espuma 3). O tanque de lodo é a unidade de estocagem e mistura do lodo que precede a unidade de desidratação, a qual ocorre através de centrifugação. Após desidratado, o lodo é transportado, juntamente com a areia e os sólidos grosseiros, até o aterro sanitário mais próximo, que dista 23 km da referida estação.

### 2.3 LEVANTAMENTO DE CUSTOS DE O&M

Para a elaboração deste trabalho, foram identificados os custos de O&M da ETE, tendo como base informações coletadas de forma dispersa em vários setores da companhia de saneamento responsável pela operação da ETE, o agrupamento e a quantificação mensal desses custos foram as etapas seguintes. Os volumes mensais de esgoto tratado foram obtidos por meio dos registros operacionais utilizados pela própria equipe gestora da ETE. As vazões foram calculadas através das médias das leituras diárias da calha Parshall em quatro horários diferentes, sendo eles: 07:00, 12:00, 19:00 e 00:00 horas, ao longo dos 36 meses de estudo.

Trennepohl, Soares e Kossatz (2017) definem o termo O&M como o conjunto de tarefas necessárias para gerir uma empresa ou companhia que atua em atividades fins do setor de saneamento básico, como por exemplo, a coleta e o tratamento de esgotos. Excetua-se a este termo a construção de novas instalações. Segundo Ruíz-Rosa, García-Rodríguez e Mendoza-Jiménez (2016), os custos de O&M contemplam todas as atividades responsáveis ao funcionamento diário da ETE, sendo eles pessoal, nos níveis gerencial, operacional e laboratorial, tarifa de energia e de água, veículos, substituição e manutenção de equipamentos, produtos químicos, reagentes químicos para análises laboratoriais, transporte e disposição final de resíduos (lodo, areia e sólidos grosseiros).

Na organização dos diversos custos envolvidos na O&M da ETE, verificou-se a possibilidade de agrupamento em 04 grandes grupos de custos, conforme (TRENNEPOHL; SOARES; KOSSATZ, 2017; RUÍZ-ROSA; GARCÍA-RODRÍGUEZ; MENDOZA-JIMÉNEZ, 2016). O agrupamento foi adotado por facilitar a manipulação e a exposição visual das informações. O Fluxograma 1 expõe os 04 grupos de custos adotados e seus respectivos componentes.



Fonte: Adaptado de Trennepohl; Soares; Kossatz, 2017.

Com o *Custo de Pessoal*, foram contemplados os custos mensais das remunerações brutas dos funcionários pertencentes ao quadro próprio da companhia de saneamento (contratados) e que são envolvidos na supervisão e na operação direta das unidades da referida ETE, juntamente com os custos mensais dos contratos celebrados com as empresas terceirizadas responsáveis pelos serviços de zeladoria (limpeza), segurança patrimonial e jardinagem. Quanto ao quadro próprio dos funcionários da companhia, considerou-se como remuneração bruta as obrigações salariais, as comissões, os adicionais (periculosidade, insalubridade, noturno), as horas extras, o abono de férias, o décimo terceiro, as bonificações, o vale alimentação, entre outros. Esses dados foram coletados a partir do portal da transparência disponível no site da companhia, com exceção do valor do vale alimentação, o qual foi coletado juntamente ao setor de recursos humanos da empresa. Foi acrescido o valor de 73,57% sob a remuneração bruta dos funcionários próprios da companhia, relativos aos encargos trabalhistas (CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, 2017). Os funcionários que atuam diretamente nas áreas gerencial, administrativa, operacional e laboratorial da ETE durante o período analisado ocupavam os cargos de engenheiro civil, técnico de controle ambiental, técnico de mecânica, eletromecânico, mecânico geral, mecânico de manutenção, operador de sistema de água e esgoto, biólogo, laboratorista e estagiários. O Quadro 1 expõe o número de funcionários em função do cargo, no mês de dezembro do ano de 2018, na ETE.

Quadro 1 – Número de funcionários por cargo no mês de dezembro de 2018 na ETE

| <b>Cargo</b>                         | <b>Número de funcionários</b> |
|--------------------------------------|-------------------------------|
| Operador de sistema de água e esgoto | 11                            |
| Técnico de mecânica                  | 1                             |
| Eletromecânico                       | 1                             |
| Mecânico geral                       | 1                             |
| Mecânico de manutenção               | 1                             |
| Auxiliar de serviços gerais          | 2                             |
| Vigilante                            | 2                             |
| Jardineiro                           | 1                             |
| Biólogo                              | 1                             |
| Laboratorista                        | 1                             |
| Engenheiro civil                     | 1                             |
| Técnico de controle ambiental        | 1                             |
| Estagiários                          | 1                             |
| <b>Total</b>                         | <b>25</b>                     |

Fonte: Elaboração própria em 2019.

Quanto ao número adequado de funcionários por ETE, segundo Brostel (2002) diversos autores trataram em seus estudos de parametrizações de coeficientes ou de definições de equações com fins de otimizar o dimensionamento do número de funcionários por ETE, no entanto, segundo Jordão (2015), é comum no Brasil haver um maior número de funcionários por ETE em relação a outros países devido a uma menor automatização dos sistemas.

Ainda no grupo *Pessoal*, para a mensuração dos custos mensais das empresas terceirizadas responsáveis pelos serviços de zeladoria (limpeza), segurança patrimonial e jardinagem, foram considerados os valores dos contratos celebrados no período de estudo.

Para a composição do custo com *Energia elétrica*, além da quantificação mensal das tarifas pagas a companhia energética, realizou-se um estudo específico visando mensurar o consumo energético por cada setor na ETE. Nesse estudo específico foram registrados os consumos energéticos mensais de cada etapa de tratamento da estação, através dos quadros de comando de energia responsáveis pela quantificação do consumo energético desses setores. Após essa quantificação do consumo energético por setor, apesar de identificada a parcela referente ao consumo energético dos equipamentos da estação elevatória de esgoto bruto (EEEB), localizada no interior da área ETE e responsável por recalcar o esgoto bruto provindo do gradeamento grosseiro ao gradeamento fino, na composição do valor financeiro deste grupo de custos, esta parcela não foi considerada. Justifica-se essa medida sob a ótica de que a estação elevatória não pertence à tipologia do tratamento de esgotos adotada, ou seja, seu emprego naquela ETE justifica-se apenas pelo fator topográfico. Dessa forma, caso seu custo energético fosse considerado, como ele assume um valor impactante no custo total, a comparação dos custos de O&M da ETE em questão com outras ETE pode ter a confiabilidade afetada.

Portanto, neste grupo de consumo, foram contabilizados os custos mensais referentes ao funcionamento de todos os sistemas e equipamentos que demandassem energia elétrica, com exceção apenas dos equipamentos pertencentes a EEEB. O conjunto dos sistemas e equipamentos que consomem energia elétrica é composto pelo aparato responsável pelo funcionamento de grades grossas, finas, correias e parafusos transportadores, removedores e parafusos lavadores de areia, elevatórias de espuma 01, 02 e 03, misturadores submersíveis, sopradores, elevatórias de recirculação interna dos tanques de aeração, elevatória de retorno de lodo, elevatória de excesso de lodo, remoção do lodo dos decantadores secundários, processo de desinfecção UV (lâmpadas), desidratação do lodo, desodorização, talhas elétricas, medidores diversos (pH, vazão, OD), além de toda iluminação da ETE, assim como as tomadas de uso geral e específicos.

O grupo *Produtos químicos e descarte de resíduos sólidos* contempla os valores contratuais desembolsados mensalmente à empresa responsável por realizar o transporte dos resíduos sólidos gerados na ETE (lodo, areia e sólidos grosseiros) até o aterro sanitário mais próximo (distante 23 km da ETE), assim como à administração do aterro sanitário para a autorização da disposição final daqueles resíduos nessa área e, ainda, os custos mensais referentes aos produtos químicos utilizados no tratamento dos gases e na desidratação do lodo. Para quantificação dos valores pagos pela companhia de saneamento mensalmente a empresa responsável por executar o transporte dos resíduos ao aterro sanitário, assim como os valores recebidos pela empresa administradora do aterro sanitário, foram consultados os boletins mensais de medição durante o período de estudo e, em relação a quantificação dos gastos mensais com produtos químicos, as notas fiscais de pagamento.

Por fim, o grupo *custos diversos* é composto por uma diversidade heterogênea de despesas. Contempla desde aquisições de materiais de expediente e equipamentos diversos necessários à adequada operação da ETE (parafusos, rotores, bombas, lâmpadas UV, invólucros das lâmpadas UV, grade fina, etc.), até locação de veículos, manutenção de veículos próprios da companhia, combustíveis, pagamentos de taxas referentes a licenciamento e seguro da frota própria de veículos, além da tarifa de água e ainda os custos referentes aos reagentes utilizados nos laboratórios sediados na própria ETE e na sede central da companhia. Os custos com aquisição de equipamentos e materiais diversos foram identificados através de consultas em notas fiscais, assim como os custos com reagentes químicos. Na mensuração das despesas com aquisição de equipamentos, cujos valores foram iguais ou superiores ao montante de R\$ 100.000,00 (cem mil reais), amortizou-se o valor presente líquido (VPL) em um período

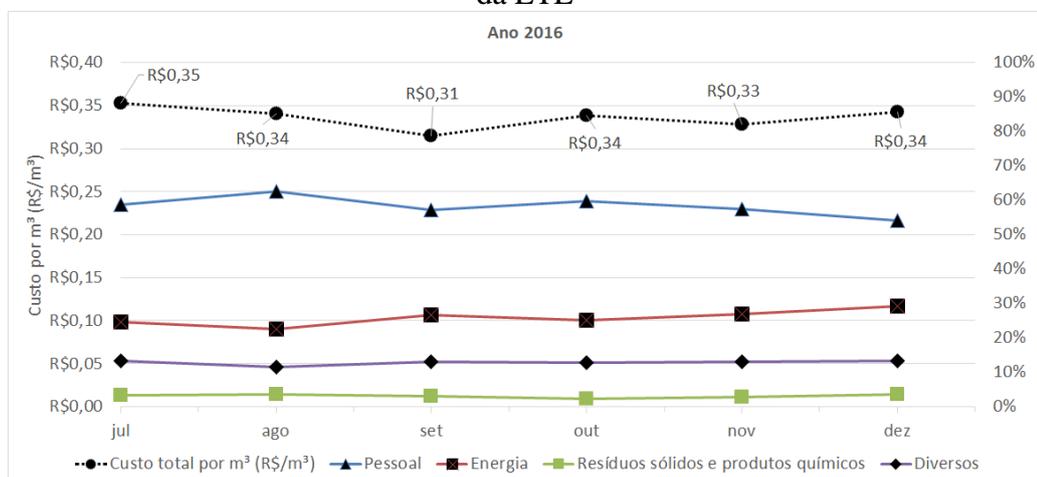
financeiramente equivalente a 180 meses fixados (CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, 2015; GOMES, 2009; SILVA, 2008), de forma que o mês 1 corresponda ao mês imediatamente seguinte à data do pagamento do equipamento (custo fixo). Logo, não foram contabilizadas as parcelas amortizadas que não estiveram inclusas no período de estudo (julho de 2016 a dezembro de 2018). A taxa de juros anual ( $i_a$ ) considerada foi de 6% (CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, 2015) e, após convertida ao mês, resultou em uma taxa mensal ( $i_m$ ) de 0,5%. Os equipamentos adquiridos que tiveram seus custos fixos amortizados correspondem às lâmpadas UV (componente do sistema de desinfecção), compradas em julho de 2015 por R\$1.500.000,00 (um milhão e quinhentos mil), a grade fina (integrante do tratamento preliminar), obtida no mês de setembro de 2017 a um valor de R\$ 400.000,00 (quatrocentos mil reais) e os invólucros das lâmpadas UV, adquiridas no mês de setembro de 2018 pelo custo de R\$ 300.000,00 (trezentos mil reais). O custo de aquisição dos sistemas bombeadores da EEBB adquiridos em julho de 2015 pelo valor de R\$ 100.000,00 (cem mil reais) não foi considerado.

É importante destacar que os custos com o contrato de locação de veículos para ETE e com manutenção, licenciamentos, taxas dos veículos próprios da companhia sediados na ETE, assim como os custos de combustíveis, também compõem esse grupo e foram levantados juntos ao setor de transporte da companhia de saneamento. Quanto à tarifa de água, apesar de haver consumo desse recurso na ETE para o desenvolvimento das atividades rotineiras da estação, o valor mensal não é faturado pela companhia. Porém, neste trabalho, esta tarifa foi considerada e a categoria de imóvel enquadrada para fins de cálculo do faturamento foi a de órgão público.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os Gráficos 1, 2 e 3 representam, respectivamente, os custos volumétricos mensais ( $\text{R}\$\cdot\text{m}^{-3}$ ) nos anos de 2016, 2017 e 2018. No Gráfico 1, verifica-se que o custo de O&M varia no segundo semestre do ano de 2016 de R\$ 0,31 a  $0,35\cdot\text{m}^{-3}$ , resultando em um valor médio (média  $\pm$  desvio padrão) de  $\text{R}\$ 0,34 \pm 0,01\cdot\text{m}^{-3}$ . Neste período, o custo referente ao *peçoal* representou  $58,25\% \pm 2,60\%$  do custo total, sendo o maior influenciador na composição do custo de O&M da ETE. O pico no custo do *peçoal* no mês de agosto foi ocasionado pelo pagamento do retroativo do dissídio coletivo. Já o custo *energético* foi o segundo maior impactante, representando  $25,81\% \pm 2,09\%$ . O terceiro maior componente do custo total foi o grupo intitulado *diversos*, representando  $12,84\% \pm 0,64\%$ .

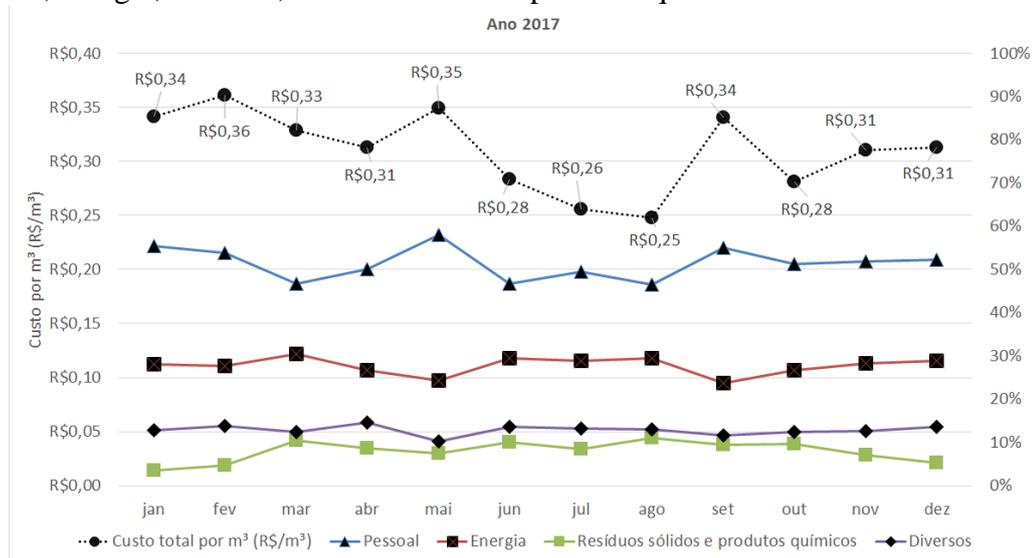
Gráfico 1 – Custo volumétrico total de O&M ( $\text{R}\$\cdot\text{m}^{-3}$ ) e contribuição percentual dos grupos pessoal, energia, diversos, resíduos sólidos e produtos químicos no ano de 2016 (2º semestre) da ETE



Fonte: Elaboração própria em 2019.

Analisando o Gráfico 2, observa-se que durante todo o ano de 2017 os custos de O&M variaram de R\$ 0,25 a  $0,36 \cdot \text{m}^{-3}$  de esgoto tratado, com valor médio de  $\text{R\$ } 0,31 \pm 0,04 \cdot \text{m}^{-3}$ . Durante todos os meses do ano, o custo de pessoal significou o maior impacto no custo total, resultando em um valor médio de  $51,45\% \pm 3,57\%$ . Os picos no custo de pessoal, nos meses de maio e setembro, são, respectivamente, referentes aos pagamentos da bonificação por produtividade e ao retroativo do dissídio coletivo. Assim, observa-se que a curva que representa o custo total tem sua conformação bastante semelhante à curva do custo pessoal, o que demonstra a influência da variação deste na totalidade dos custos. O energético, por sua vez, foi o segundo componente de maior relevância no custo total, contribuindo com um valor médio anual de  $27,73\% \pm 1,99\%$ . O terceiro maior custo ao longo do ano foi representado pelos custos diversos que compôs  $12,82\% \pm 1,06\%$  do custo anual total.

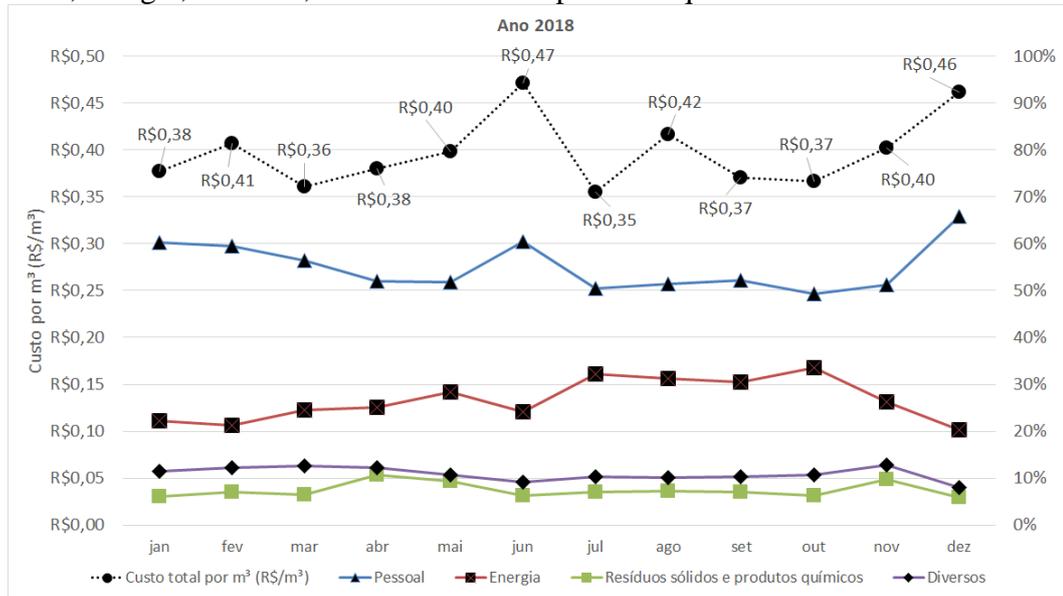
Gráfico 2 – Custo volumétrico total de O&M ( $\text{R\$} \cdot \text{m}^{-3}$ ) e contribuição percentual dos grupos pessoal, energia, diversos, resíduos sólidos e produtos químicos no ano de 2017 da ETE



Fonte: Elaboração própria em 2019.

Durante o ano de 2018, conforme expõe o Gráfico 3, os custos de O&M variaram de R\$ 0,35 a  $0,47 \cdot \text{m}^{-3}$  de esgoto tratado, admitindo um valor médio de  $\text{R\$ } 0,40 \pm 0,04 \cdot \text{m}^{-3}$ . Durante todos os meses desse ano, a parcela mais significativa no custo total foi a do pessoal, resultando em  $54,10\% \pm 5,05\%$ . Os picos neste custo, nos meses de junho e dezembro, são, respectivamente, referentes aos pagamentos da bonificação por produtividade e da gratificação natalina (décimo terceiro salário) — o pagamento no mês de setembro do retroativo do dissídio coletivo não impactou de forma relevante, apenas atuou como ponto de inflexão na curva, sem atingir, no entanto, pico de magnitude considerável. Também se observa, assim como no ano de 2017, que a curva que representa o custo total tem sua conformação bastante influenciada pela curva do custo pessoal. Por fim, o segundo custo mais impactante foi o energético, representando uma contribuição média anual de  $26,63\% \pm 4,29\%$  do valor total dos custos de O&M, ao passo que o terceiro maior custo foi representado pelos custos diversos, com um valor médio de  $10,88\% \pm 1,37\%$ .

Gráfico 3 – Custo volumétrico total de O&M (R\$.m<sup>-3</sup>) e contribuição percentual dos grupos pessoal, energia, diversos, resíduos sólidos e produtos químicos no ano de 2018 da ETE

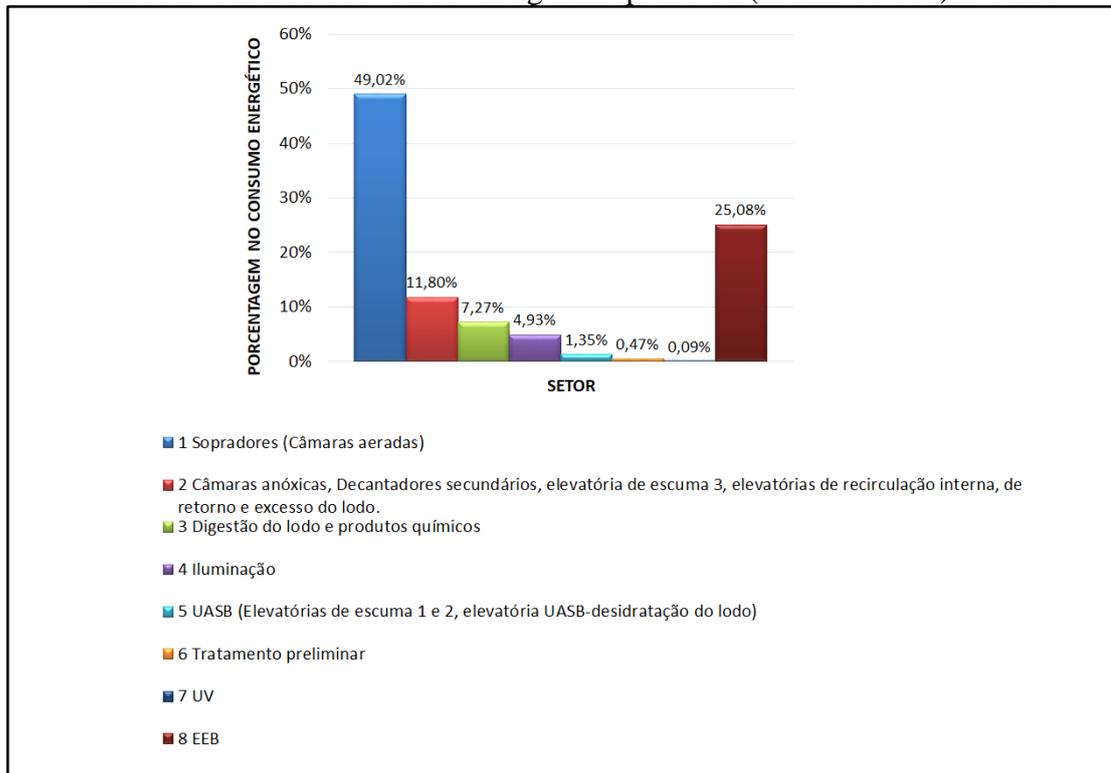


Fonte: Elaboração própria em 2019.

Os valores das contribuições percentuais dos grupos *pessoal* e *energia* expostos acima vão ao encontro dos estudos de Jordão (2015), que cita que o custo com pessoal em ETE no Brasil representa aproximadamente 50% dos custos de O&M, e o consumo energético assume cerca de 20% da composição total das despesas. Barros (2013), ao estudar ID para avaliação de ETE, a partir da análise de 12 anos do desempenho da ETE Brasília Norte (tipo lodos ativados), constatou que, na composição dos custos de O&M, as parcelas mais significativas são referentes ao custo de pessoal, seguido pelo energético. Castellet e Molinos-Senante (2016), por sua vez, através de pesquisas sobre modelagem de custos de O&M em 49 ETE tipo lodos ativados, na Região da Valência, concluíram que os custos referentes a pessoal e energia atingem, respectivamente, 38% e 25%.

A seguir, o Gráfico 4 representa a composição de cada unidade da ETE no custo energético total.

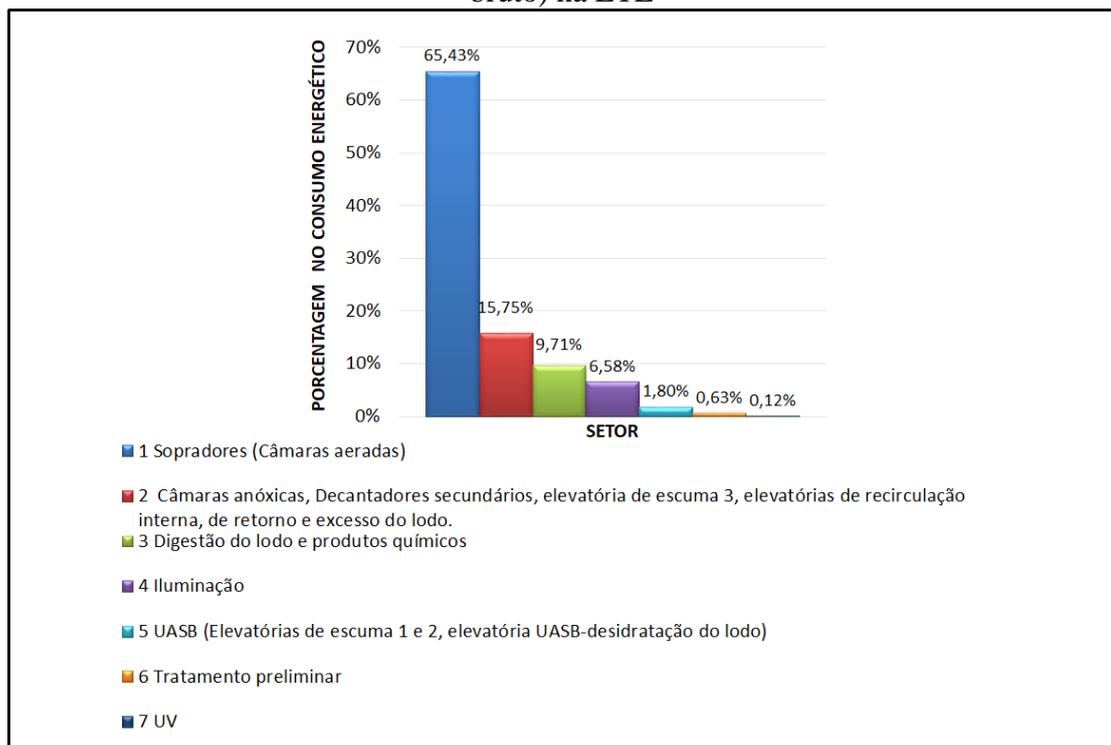
Gráfico 4 – Divisão dos custos energéticos por setor (incluso EEBB) na ETE



Fonte: Elaboração própria em 2019.

Já o Gráfico 5 representa a composição por cada setor da ETE no custo energético total, porém, sem a participação da EEBB.

Gráfico 5 – Divisão dos custos energéticos por setor (excluindo elevatória de esgoto bruto) na ETE



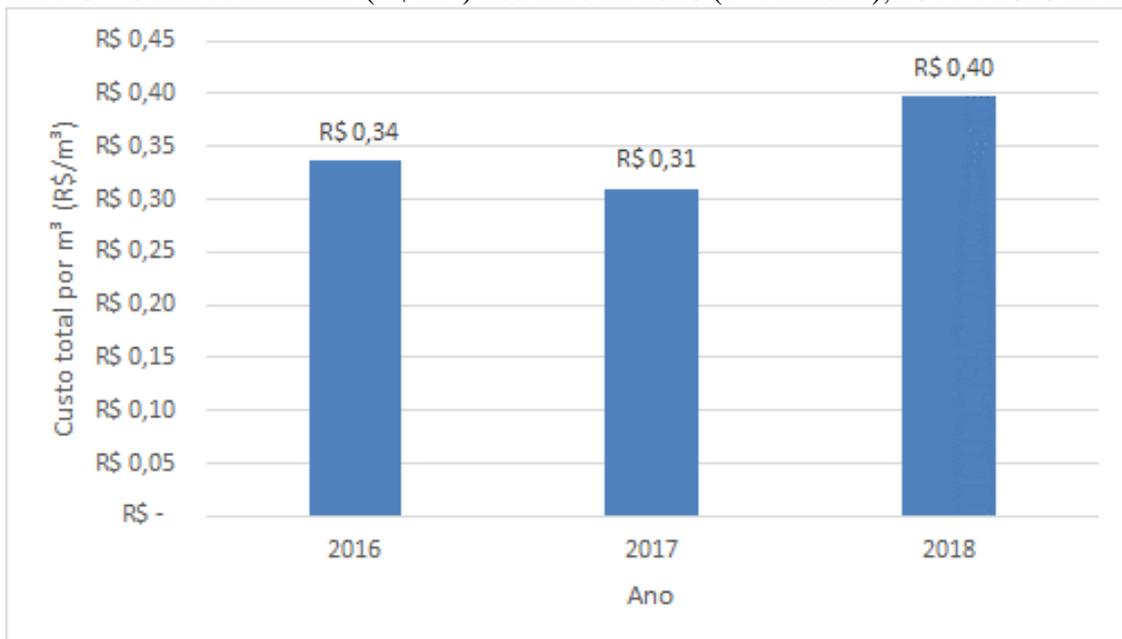
Fonte: Elaboração própria em 2019.

A magnitude dos valores do consumo energético para funcionamento dos sopradores identificados na ETE, expostos acima, com valores de 49,02% (Gráfico 4) e 65,43% (Gráfico 5), vão ao encontro dos estudos de Garrido-Baserba *et al.* (2018) e Gude (2015), que relatam valores entre 50 e 75% para ETE tipo lodos ativados. Nesta mesma tendência, Jordão (2008) cita que, em ETE desse tipo, a fase de aeração constitui mais da metade do consumo energético da estação. Além disso, Gude (2015), em estudos sobre modelagem de custos de O&M de ETE tipo lodos ativados, concluiu que o consumo energético dos sopradores e das estações elevatórias em uma ETE representam as principais parcelas no custo energético total, constituindo 54,1% e 14,3%, respectivamente.

Segundo Jordão (2008), é possível reduzir o custo energético em até 30% apenas com adoção de medidas operacionais convenientes a cada sistema (paralisação do bombeamento no horário de ponta, construção de tanque de equalização para redução de picos de bombeamento) sem perdas na eficiência do tratamento. Além disso, o monitoramento diário de consumos energéticos por unidade de tratamento e suas relações com indicadores típicos fornece condições de controle bem adequadas à otimização destes custos (JORDÃO, 2015).

O Gráfico 6 demonstra o comportamento da média do custo volumétrico total anual ( $\text{R}\$\cdot\text{m}^{-3}$ ) ao longo dos anos de 2016 (segundo semestre), 2017 e 2018. O valor percentual do declínio dos custos entre os anos de 2016 e 2017 é de 6,25%, já o aumento verificado entre os anos de 2017 e 2018 corresponde a 26,67%.

Gráfico 6 – Custo total médio ( $\text{R}\$\cdot\text{m}^{-3}$ ) nos anos de 2016 (2º semestre), 2017 e 2018 da ETE



Fonte: Elaboração própria em 2019.

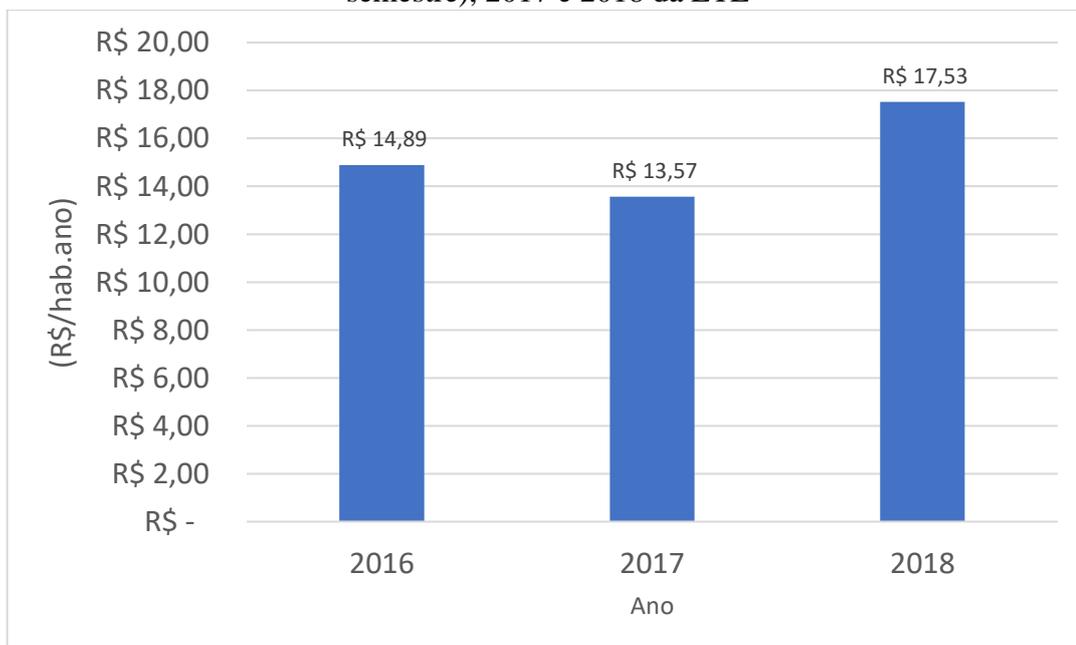
Ao se atualizar os custos volumétricos acima pelo Índice Nacional de Custo da Construção – INCC, ao ano de 2019, obtém-se os valores de  $\text{R}\$ 0,38\cdot\text{m}^{-3}$ ,  $\text{R}\$ 0,33\cdot\text{m}^{-3}$  e  $\text{R}\$ 0,42\cdot\text{m}^{-3}$  respectivamente e, conseqüentemente um custo médio de  $\text{R}\$ 0,38\cdot\text{m}^{-3}$ . A pesquisa desenvolvida por Sampaio e Gonçalves (1999) em uma ETE por lodos ativados em Barueri/SP mensurou os custos de O&M durante um ano e revelou um custo de  $\text{R}\$ 0,45\cdot\text{m}^{-3}$  (valor atualizado pelo INCC). A ETE em questão possuía uma capacidade de tratamento de  $7\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ , mas funcionava com vazão média de  $3,91\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ . Já Brostel, Neder e Souza (2000), por meio da análise dos custos de O&M das ETE Brasília Sul, Brasília Norte, Sobradinho e Riacho Fundo, todas tipo lodos ativados e operadas pela CAESB, obtiveram, respectivamente, os

valores de R\$  $1,10 \cdot m^{-3}$ , R\$  $1,62 \cdot m^{-3}$ , R\$  $1,50 \cdot m^{-3}$  e R\$  $6,54 \cdot m^{-3}$  (valores atualizados pelo INCC). As vazões de projeto das ETE Brasília Sul, Brasília Norte, Sobradinho e Riacho Fundo eram  $1500 L \cdot s^{-1}$ ,  $911 L \cdot s^{-1}$ ,  $70 L \cdot s^{-1}$  e  $19 L \cdot s^{-1}$  e apresentavam, em sequência, 62%, 45%, 1,21% e 20% de relação entre a vazão atual na data da pesquisa e a vazão de projeto para cada ETE. O elevado custo por  $m^3$  da ETE Riacho Fundo é atribuído ao alto custo de pessoal frente ao porte da estação e à reduzida vazão de operação na época da pesquisa.

O Gráfico 7, por sua vez, expõe o custo per capita anual no período estudado da ETE. Os valores em cada ano, respectivamente, foram R\$  $14,89 \cdot hab^{-1} \cdot ano^{-1}$ , R\$  $13,57 \cdot hab^{-1} \cdot ano^{-1}$  e R\$  $17,53 \cdot hab^{-1} \cdot ano^{-1}$ . Esses valores atualizados pelo INCC ao ano de 2019 correspondem a R\$  $16,57 \cdot hab^{-1} \cdot ano^{-1}$ , R\$  $15,17 \cdot hab^{-1} \cdot ano^{-1}$  e R\$  $18,79 \cdot hab^{-1} \cdot ano^{-1}$  respectivamente, apresentando um valor médio de R\$  $16,84 \cdot hab^{-1} \cdot ano^{-1}$ . Esses valores se apresentaram inferiores aos indicados por Von Sperling (2005) para ETE tipo lodos ativados precedidas por reator UASB, situando entre R\$  $26,54 \cdot hab^{-1} \cdot ano^{-1}$  e R\$  $59,39 \cdot hab^{-1} \cdot ano^{-1}$ . Os valores anteriores também são inferiores aos de Nowak (2000) quando estudou custos operacionais de 14 ETE com remoção de nutrientes na Áustria (tipo lodos ativados, sendo 12 delas tipo lodos ativados precedidos por tratamento anaeróbico) e sugeriu a faixa de valores de R\$108,80 a R\$136,03  $\cdot hab^{-1} \cdot ano^{-1}$  e aos de Balmér (2000), que ao analisar cinco ETE que empregavam os processos de lodos ativados com remoção de nutrientes obteve o custo operacional médio de R\$  $54,12 \cdot hab^{-1} \cdot ano^{-1}$  (valores atualizados pelo INCC).

A comparação dos valores da ETE analisada em relação ao custo volumétrico (R\$  $\cdot m^{-3}$ ) e ao custo por números de habitantes atendidos (R\$  $\cdot hab^{-1} \cdot ano^{-1}$ ) com os de outras ETE (nacionais e internacionais), na maioria das vezes apresentaram valores inferiores a favor da ETE estudada, devido nesta ocorrer o tratamento anaeróbico (UASB) antes da etapa dos lodos ativados, característica não observada na maior parte das ETE utilizadas como base de comparação. Importante destacar que, ao se realizar comparações com ETE de outros países, as composições das remunerações salariais irão variar de acordo com a legislação vigente.

Gráfico 7 – Média anual do custo per capita anual (R\$  $\cdot hab^{-1} \cdot ano^{-1}$ ) nos anos de 2016 (2º semestre), 2017 e 2018 da ETE

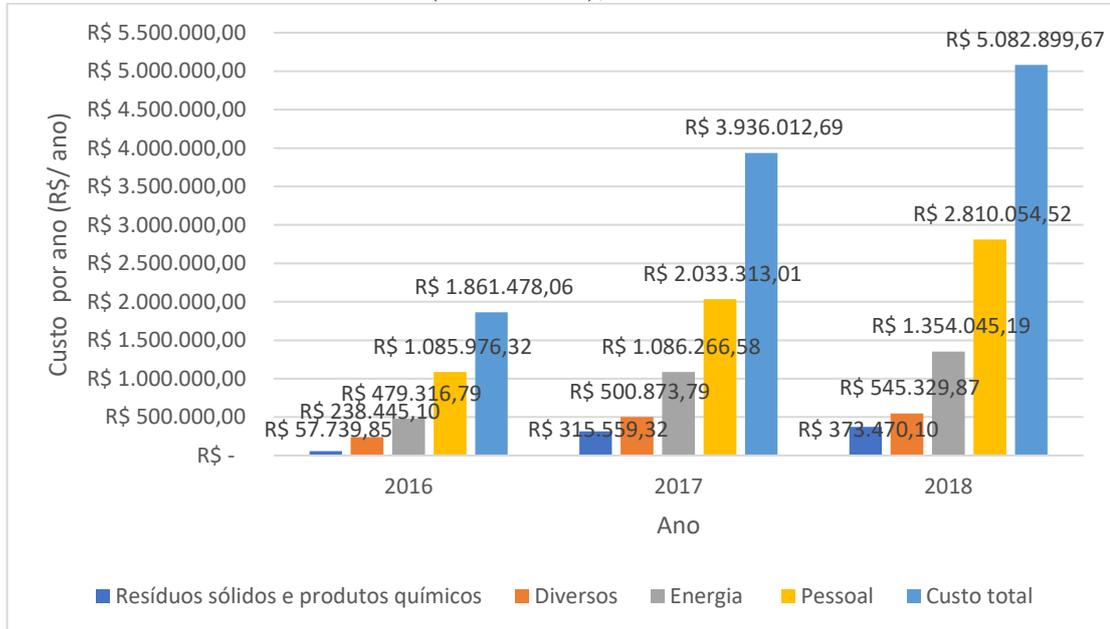


Fonte: Elaboração própria em 2019.

O Gráfico 8 apresenta o comportamento em valores absolutos de todos os grupos de custos, inclusive seu somatório (custo total) ao longo dos anos de 2016 (segundo semestre),

2017 e 2018. Percebe-se que há uma proporcionalidade de crescimento por parte de todos os custos ao longo destes anos. Observa-se, também, que não há alternâncias ao longo dos anos da representatividade de cada grupo de custo.

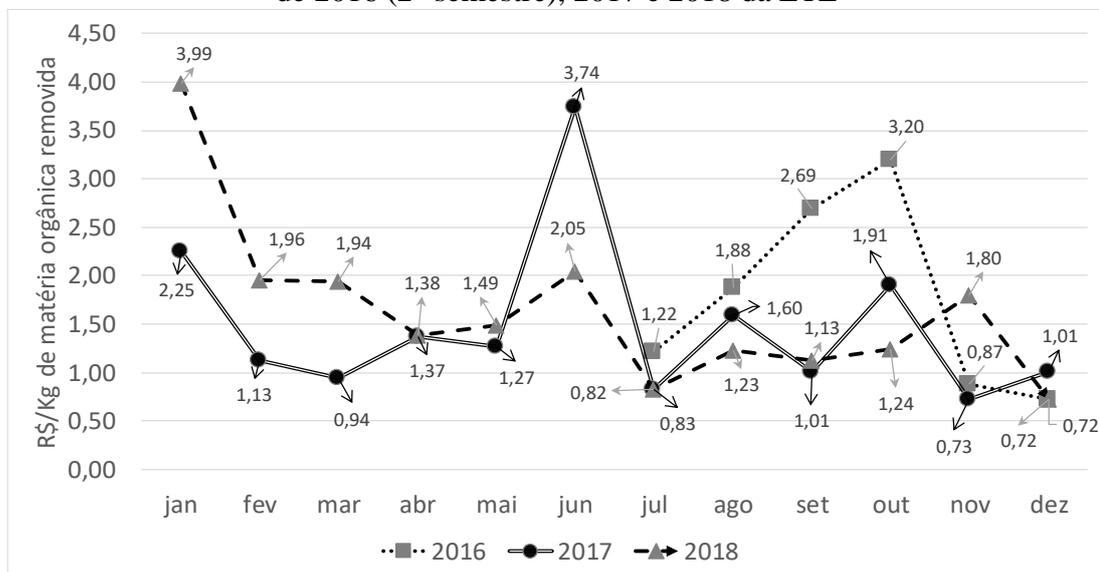
Gráfico 8 – Custo anual (R\$·ano<sup>-1</sup>) de O&M dos grupos de custos e custo total nos anos de 2016 (2º semestre), 2017 e 2018 da ETE



Fonte: Elaboração própria em 2019.

Quanto aos custos de O&M referentes à remoção de quilograma de matéria orgânica (R\$/kg M.O), de Nitrogênio amoniacal (R\$/kg-NH<sub>3</sub><sup>-2</sup>) e log de Escherichia coli (R\$/Log-E. coli) os Gráficos 9, 10 e 11 reportam, respectivamente, estes valores ao longo dos anos de 2016 (segundo semestre), 2017 e 2018. Os custos médios para remoção da matéria orgânica variaram a cada ano entre R\$ 1,84 ± 0,9/kg de M.O (2016), R\$ 1,53 ± 0,84/kg de M.O (2017) e R\$ 1,70 ± 0,85/kg de M.O (2018).

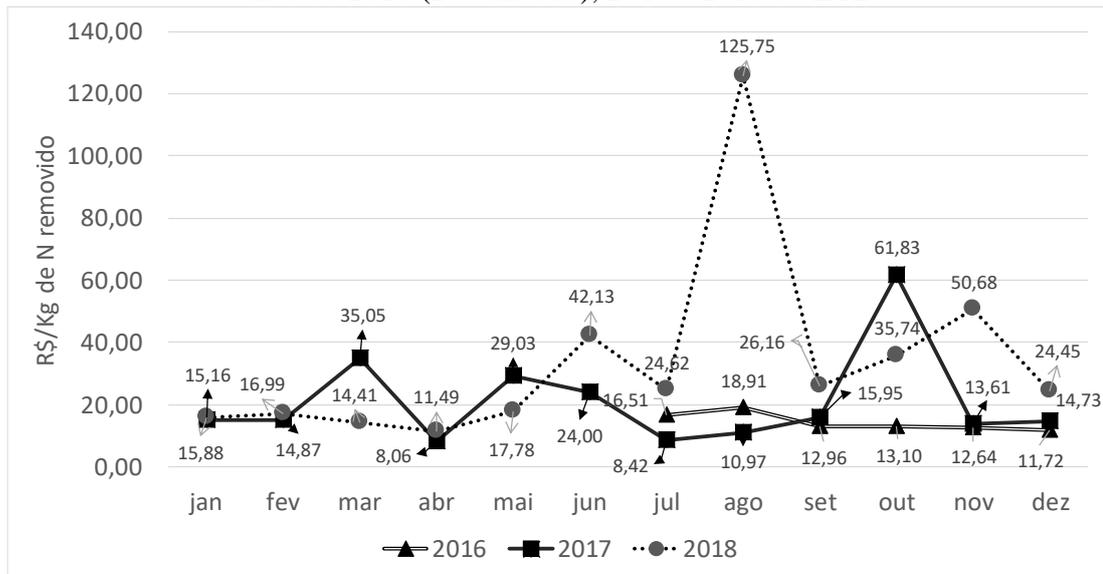
Gráfico 9 – Custo mensal para remoção de matéria orgânica (R\$/Kg de M.O) nos anos de 2016 (2º semestre), 2017 e 2018 da ETE



Fonte: Elaboração própria em 2019.

Em relação aos custos médios de O&M para remoção de Nitrogênio amoniacal durante o período de estudo houve variações de R\$  $14,83 \pm 2,59/\text{kg-NH}_3^{2-}$  (2016), R\$  $21,70 \pm 15,05/\text{kg-NH}_3^{2-}$  (2017) e R\$  $34,98 \pm 31,01/\text{kg-NH}_3^{2-}$  (2018). O ponto referente ao mês de agosto na curva do ano de 2018 destaca-se com o valor de R\$  $130,22/\text{kg-NH}_3^{2-}$ . Este valor ocorreu não devido à ocorrência de um alto custo mensal, mas por uma baixa eficiência na remoção do nitrogênio amoniacal neste mês.

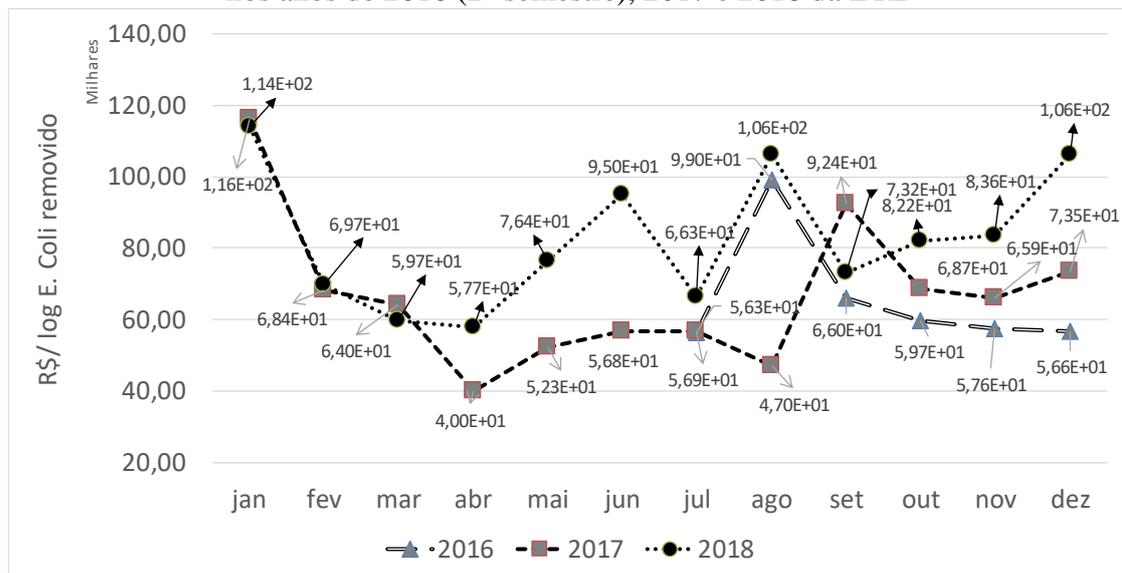
Gráfico 10 – Custo mensal para remoção de Nitrogênio amoniacal (R\$/kg-NH<sub>3</sub><sup>2-</sup>) nos anos de 2016 (2º semestre), 2017 e 2018 da ETE



Fonte: Elaboração própria em 2019.

Em relação aos custos de O&M para remoção de log de Escherichia coli, os custos médios variaram, ao longo dos anos estudados, entre R\$  $68.244,97 \pm 15.432,49/\text{log-E. coli}$ , R\$  $69.264,73 \pm 20.372,23/\text{log-E. coli}$  e R\$  $85.283,02 \pm 18.512,72/\text{log-E. coli}$

Gráfico 11 – Custo mensal para remoção de log de Escherichia coli (R\$/log-E. coli) nos anos de 2016 (2º semestre), 2017 e 2018 da ETE



Fonte: Elaboração própria em 2019.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados expuseram que durante o período analisado, os custos de O&M por metro cúbico de esgoto tratado na ETE em questão, ao longo dos anos de 2016, 2017 e 2018, assumiram valores médios de R\$  $0,34 \pm 0,01 \cdot \text{m}^3$ , R\$  $0,31 \pm 0,04 \cdot \text{m}^3$  e R\$  $0,40 \pm 0,04 \cdot \text{m}^3$ , respectivamente. Os custos referentes ao pessoal e ao consumo energético exerceram, em todos os meses analisados, o primeiro e o segundo componentes de maior representatividade no custo total, resultando nas seguintes composições percentuais:  $58,25\% \pm 2,60\%$  e  $25,81\% \pm 2,09\%$  no segundo semestre do ano de 2016;  $51,45\% \pm 3,57\%$  e  $27,73\% \pm 1,99\%$  no ano de 2017;  $54,10\% \pm 5,05\%$  e  $26,63\% \pm 4,29\%$  no ano 2018, valores bem coerentes com os da literatura nacional e internacional. Dentre os custos energéticos, merece realce o consumo dos sopradores com  $65,43\%$  de influência.

Apesar dos custos volumétricos e por número de habitantes se mostrarem inferiores aos da literatura nacional e internacional, observa-se uma série de oportunidades de otimização dos custos de O&M. Ao considerar que mais de 75% dos custos totais são compostos pelos grupos pessoal e energia, verifica-se a viabilidade de estudos que visem à otimização de custos nestes setores, através da implantação de programas relacionados à adequação das equipes de operação/manutenção, da adoção de medidas operacionais ligadas ao monitoramento constante dos custos das diversas unidades da ETE, do aumento da automatização dos sistemas, da utilização de energia solar através de placas fotovoltaicas e, ainda, da utilização do biogás gerado na própria estação para geração de energia, a fim de se obter uma possível redução de custos de O&M.

No tocante à relação dos custos com as remoções das cargas no período de estudo, os valores médios obtidos para remoções de matéria orgânica, nitrogênio amoniacal e logaritmo de E. Coli variaram entre R\$  $1,84 \pm 0,97/\text{kg}$  de M.O, R\$  $1,53 \pm 0,84/\text{kg}$  de M.O, R\$  $1,70 \pm 0,85/\text{kg}$  de M.O, R\$  $14,83 \pm 2,59/\text{kg-NH}_3^{2-}$ , R\$  $21,70 \pm 15,05/\text{kg-NH}_3^{2-}$ , R\$  $34,98 \pm 31,01/\text{kg-NH}_3^{2-}$ , R\$  $68.244,97 \pm 15.432,49/\text{Log-E. coli}$ , R\$  $69.264,73 \pm 20.372,23/\text{Log-E. coli}$  e R\$  $85.283,02 \pm 18.512,72/\text{Log-E. coli}$ .

#### REFERÊNCIAS

ANZILAGO, M. *et al.* Evidenciação de custos e despesas ambientais nas empresas do segmento de energia elétrica registradas na BOVESPA e no índice de sustentabilidade empresarial (ISE). **Revista Metropolitana de Sustentabilidade**, v. 7, n. 3, p. 5 – 24, dez. 2017.

ARAÚJO, A. L. C. *et al.* Operational Performance of an Anaerobic-Anoxic-Aerobic Treatment System. **Fronteira: Journal of Social, Technological and Environmental Science**, v. 6, n. 3, p. 247 – 263, dez. 2017.

BALKEMA, A. J. *et al.* Indicators for the sustainability assessment of wastewater treatment systems. **Urban Water**, v. 4, p. 153-161, feb. 2002.

BARROS, I. P. A. F. **Proposta de um sistema de indicadores de desempenho para avaliação de estações de tratamento de esgotos do Distrito Federal**. 2013. 210 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

BRASIL. Lei 11.445, de 05 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nºs 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, jan. 2007.

BROSTEL, R. de C.; NEDER, K. D.; SOUZA, M. A. A. de. Análise comparativa do desempenho de estações de tratamento de esgotos do Distrito Federal. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21, **Anais...**, p. 1-17, 2000.

BROSTEL, R. de C. **Formulação de modelo de avaliação de desempenho global de Estações de Tratamento de Esgotos Sanitários (ETEs)**. 2002. 278 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2002.

BUONOCORE, E. *et al.* Life cycle assessment indicators of urban wastewater and sewage sludge treatment. **Ecological Indicators**, v. 94, p. 13-23, 2018.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **Saneamento e Infraestrutura**. São Paulo, 2015.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil: Encargos sociais**. São Paulo, 2017.

CARVALHO, Bruno Eustáquio Ferreira Castro de. **A avaliação de desempenho da prestação de serviços de abastecimento de água independe da perspectiva de, se usuário ou prestador?** 2013. 172 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade de Brasília, Distrito Federal, 2013.

CASTELLET, L.; MOLINOS-SENANTE, M. Efficiency assesment of wastewater treatment plants: A data envelopment analysis approach integrating technical, economic, and environmental issues. **Journal of Environmental Management**, v. 167, p. 160-166, 2016.

COROMINAS, L. *et al.* Life cycle assessment applied to wastewater treatment: State of the art. **Water Research**, v. 47, p. 5480-5492, 2013.

DERESZEWSKA, A.; CYTAWA, S. Sustainability considerations in the operation of wastewater treatment plant “Swarzewo”. **E3S Web of Conferences**, v. 10, p.1-6, jan. 2016.

FANG, L. L. *et al.* Life cycle assessment as development and decision support tool for wastewater resource recovery technology. **Water Research**, v. 88, p. 538-549, 2016.

FERRAZ, Danillo Luiz de Magalhães. **Eficiência de uma ETE em escala real composta por reator UASB seguido de lodo ativado**. 2014. 78 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014.

FREITAS, N. C. *et al.* Proposta de um sistema de apuração de custos para empresas de saneamento: um estudo de caso na companhia de água e esgoto do Ceará – Cagece. IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE CUSTOS, XVI, 2009, Fortaleza/CE. **Anais Eletrônicos**...Fortaleza/CE: CBC/Congresso Brasileiro de Custos, 2009. Disponível em: <https://anaiscbc.emnuvens.com.br/anais/issue/view/5>. Acesso em: 10 fev. 2019.

GARRIDO-BASERBA, M. *et al.* The economics of wastewater treatment decentralization: A techno-economic evaluation. **Environmental Science & Technology**, v. 52, p. 8965 – 8976, 2018.

GESELBRACHT, J. WWTPStaffing. **Water Works Engineers**, Version 1.01 (16/8/2006). Disponível em: <http://www.wwengineers.com>. Acesso em: 8 fev. 2019.

GOMES, Heber P. **Sistemas de Abastecimento de Água**: Dimensionamento Econômico e Operação de Redes e Elevatórias. 3 ed. João Pessoa, Editora Universitária UFPB, 2009.

GUDE, V. G. Energy and water autarky of wastewater treatment and power generation systems. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 45, p. 52-68, jan. 2015.

HERNÁNDEZ-SANCHO, F.; MOLINOS-SENANTE, M.; SALA-GARRIDO, S. Cost modelling for wastewater treatment processes. **Desalination**, v. 268, p. 1-5, 2011.

IVAR, R. *et al.* Centralised, decentralised or hybrid sanitation systems? Economic evaluation under urban development uncertainty and phased expansion. **Water Research**, v. 109, p. 274-286, 2017.

JORDÃO, E. P. Eficiência energética em tratamento de esgotos. **Revista DAE**, v. 177, p.15-19, maio 2008.

JORDÃO, E. P. É possível economizar energia nas estações de tratamento de esgoto? **Revista DAE: Ponto de vista**, v. 63, n. 200, p. 6-12, 2015.

LEONETI, A. B.; OLIVEIRA, S. V. W. B. de; PIRES, E. C. Método baseado em indicadores de sustentabilidade para escolha de estações de tratamento de esgoto. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, v. 30, p. 56 – 67, dez. 2013.

LONG, S. *et al.* A Monte Carlo-based integrated model to optimize the cost and pollution reduction in wastewater treatment processes in a typical comprehensive industrial park in china. **Science of the Total Environment**, v. 647, p. 1-10, 2019.

LU, B.; DU, X.; HUANG, S. The economic and environmental implications of wastewater management policy in China: From the LCA perspective. **Journal of Cleaner Production**, v. 142, p. 3544 – 3557, 2017.

MENESES, M. *et al.* Life cycle assessment as an environmental evaluation tool for control strategies in wastewater treatment plants. **Journal of Cleaner Production**, v. 107, p. 653-661, jun. 2015.

MOLINOS-SENANTE, M.; HERNÁNDEZ-SANCHO, F.; SALA-GARRIDO, S. Cost-benefit analysis of water-reuse projects for environmental purposes: A case study for Spanish wastewater treatment plants. **Journal of Environmental Management**, v. 92, p. 3091 - 3097, 2011.

NOWAK, O. Expenditure on the operation of municipal wastewater treatment plants for nutrient removal. **Water science and technology**, v. 41. n°9. p. 281-289, 2000.

PREFEITURA DO NATAL. Secretaria Municipal de Obras Públicas e Infraestrutura e Secretaria Municipal de Habitação e Projetos Estruturantes. **Plano Municipal de Saneamento Básico de Natal**. Natal/RN: 2016.

PIAO, W. *et al.* Life cycle assessment and economic efficiency analysis of integrated management of wastewater treatment plants. **Journal of Cleaner Production**, v. 113, p. 325-337, 2016.

REVOLLAR, S. *et al.* Optimal control of wastewater treatment plants using economic-oriented model predictive dynamic strategies. **Applied Sciences**, v. 7, n. 813, p.1-23, aug. 2017.

RUIZ-ROSA, I.; GARCÍA-RODRÍGUEZ, F. J.; MENDOZA-JIMÉNEZ, J. Development and application of a cost management model for wastewater treatment and reuse processes. **Journal of Cleaner Production**, v. 113, p. 299-310, jan. 2016.

SAMPAIO, A. O.; GONÇALVES, M. C. Custos operacionais de estações de tratamento de esgoto por lodos ativados: Estudo de caso ETE – Barueri. IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 20º, Rio de Janeiro, **Anais**, p. 676-685, 1999.

SANDRIN, C. C. *et al.* Metodologia para avaliação de indicadores de desempenho de prestadores de serviços. IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE REGULAÇÃO, IX, 2015, Brasília-DF. **Anais eletrônicos...**Brasília: EXPOABAR. Disponível em: <http://abar.org.br/publicacoes/publicacoes-ix-congresso-brasileiro-de-regulacao>. Acesso em: 10 fev, 2019.

SILVA, Valmir Melo da. **Sistemas urbanos de água e esgotos: Sistemas de abastecimento de água**. Natal: UFRN, 2008.

SWEETAPPLE, C. *et al.* Exploring wastewater system performance under future threats: Does enhancing resilience increase sustainability? **Water Research**, v. 149, p. 448-459, 2019.

SU, X. *et al.* Systematic approach to evaluating environmental and ecological technologies for wastewater treatment. **Chemosphere**, v. 218, p. 778 – 792, 2019.

TRENNEPOHL, F. G.; SOARES, A. S.; KOSSATZ, B. Levantamento dos custos de operação e manutenção (O&M) de ETA da região metropolitana de Florianópolis/SC. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 37. 2017, São Paulo. **Anais eletrônicos...**São Paulo: ABES/FENASAN, 2017. Disponível em: [http://www.evolvedoc.com.br/aesabesp/detalhes-2149\\_levantamento-dos-custos-de-operacao-e-manutencao-om-de-eta-da-regiao-metropolitana-de-florianopolissc](http://www.evolvedoc.com.br/aesabesp/detalhes-2149_levantamento-dos-custos-de-operacao-e-manutencao-om-de-eta-da-regiao-metropolitana-de-florianopolissc). Acesso em: 10 fev. 2019.

VON SPERLING, Marcos. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3 ed. Belo Horizonte: DESA-UFMG, 2005.

VON PERLING, T. L.; VON SPERLING, M. Proposição de um sistema de indicadores de desempenho para avaliação da qualidade dos serviços de esgotamento sanitário. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 18, n.4, p. 313-322, dez. 2013.

## APÊNDICE – PRODUTO FINAL DA PESQUISA

**IMPACTO DO PRODUTO:** Esta pesquisa apresenta como produto final a composição e a quantificação dos custos de operação e manutenção (O&M) em uma Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) por reator anaeróbio e lodos ativados com desnitrificação. Sua relevância é justificada tendo em vista que, a partir do conhecimento desses custos, os mesmos podem ser utilizados como instrumentos que alicerçam tomadas de decisões convergentes à garantia da qualidade, à sustentabilidade, ao atendimento dos interesses dos consumidores e à rentabilidade financeira do sistema objetivando assim, uma otimização do recurso público frente aos serviços prestados.

**DESENVOLVIMENTO:** Para a elaboração deste trabalho, foram identificados os custos de O&M da ETE (localizada na cidade de Natal-RN) tendo como base informações coletadas de forma dispersa em vários setores da companhia de saneamento responsável pela operação da ETE, o agrupamento e a quantificação mensal desses custos foram as etapas seguintes. Os dados foram coletados de julho de 2016 a dezembro de 2018, abrangendo 36 meses de observação. Considera-se como atores envolvidos nesta pesquisa a Companhia de Saneamento que opera e gerencia a ETE em questão e todos os seus *stake holders* (empresa transportadora de resíduos da ETE ao aterro sanitário, empresa que gerencia e opera o aterro sanitário, empresas fornecedoras de produtos químicos e de mão-de-obra, Companhia de Energia do RN, empresa locadora de veículos e clientes da Companhia).

**OBJETIVOS E FINALIDADE:** A partir do produto final desta pesquisa objetiva-se ganhos ambientais baseados em tomadas de decisões através de análises de indicadores, dentre eles os econômicos. A redução no consumo de energia elétrica devido a uma maior produção de biogás na ETE, assim como a minimização da emissão de CO<sub>2</sub> e de nutrientes poluentes exemplificam os potenciais ganhos ambientais.

**APLICABILIDADE:** O produto final da presente pesquisa possibilitará a reaplicação em outras Companhias de Saneamento, tomando-se a mesma como base de comparações de custos envolvendo tratamento de esgotos,

## ANEXO – COMPROVANTE DE SUBMISSÃO DO ARTIGO

---

27/07/2019 ScholarOne Manuscripts

 Engenharia Sanitária e Ambiental

 Início

 Autor

---

Confirmação da submissão  Imprimir

---

Obrigado pela sua submissão

---

**Submetido para**  
Engenharia Sanitária e Ambiental

**ID do manuscrito**  
ESA-2019-0228

**Título**  
CUSTOS DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DE ETE POR REATOR ANAERÓBIO E LODOS ATIVADOS  
OPERATING AND MAINTENANCE COSTS OF WWTP BY ANAEROBIC REACTOR AND SLUDGE  
ACTIVATED

**Autores**  
Souza, Bruno de  
Duarte, Marco Antonio  
Tinôco, Juliana

**Data da submissão**  
27-jul-2019

---

Painel do autor

---

<https://mc04.manuscriptcentral.com/esa-scielo> 1/2

27/07/2019

ScholarOne Manuscripts

© Clarivate Analytics | © ScholarOne, Inc., 2019. Todos os direitos reservados.  
ScholarOne Manuscripts e ScholarOne são marcas registradas da ScholarOne, Inc.  
Patentes da ScholarOne Manuscripts N° 7.257.767 e N° 7.263.655.

 @ScholarOneNews |  Requisitos do sistema |  Declaração de privacidade |  Termos de uso

