

II-003 – APLICATIVO COMPUTACIONAL PARA DIMENSIONAMENTO DE PROJETOS DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO

Antonio Elton dos Santos Militão⁽¹⁾

Engenheiro Civil.

Gustavo Paiva Weyne Rodrigues⁽²⁾

Engenheiro Civil. Diretor-Presidente do Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Sobral. Professor Adjunto da Universidade Estadual do Vale do Acaraú.

Endereço⁽¹⁾: Sítio Bom-Gosto, S/N – Zona Rural - Pacujá - CE - CEP: 62180-000 - Brasil - Tel: (88) 99350-6221 - e-mail: eltonsantos.ep@gmail.com

RESUMO

O objetivo do presente trabalho foi desenvolver um aplicativo computacional para auxiliar no dimensionamento de uma estação de tratamento de esgotos (ETE), inserindo-se parâmetros em que serão colocados valores desejados pelo usuário, permitindo analisar se os valores estão dentro dos parâmetros e normas pertinentes para um funcionamento adequado e, assim, fazer com que o cálculo se torne mais célere. Foram adicionados ao aplicativo, formulários para determinar as vazões de projeto, o gradeamento, desarenador (canal de retenção de areia) da ETE, reator anaeróbio de manta de lodo e uma estimativa das produções de resíduos. Os resultados obtidos estão de acordo com três estudos de caso, sendo dois disponíveis em literatura especializada e um projeto real executado. Com a utilização de processos automáticos, a aplicação diminui significativamente o tempo para realizar o dimensionamento, além de gerar um memorial descritivo. Após o dimensionamento, obteve-se um índice médio de 95,5% de similaridade para os estudos de caso, em que as diferenças que ocorreram foram analisadas e justificadas matematicamente, evidenciando-se a viabilidade do aplicativo.

PALAVRAS-CHAVE: Estação de Tratamento de Esgoto, Aplicativo Computacional, Saneamento Ambiental.

INTRODUÇÃO

O lançamento de esgoto sem tratamento é um dos principais contribuintes para a poluição da água, afirma Barros (2013). O tratamento de esgoto, quando existente, na maioria dos casos não apresenta uma remoção satisfatória de poluentes, o que agrava a situação.

Para Leoneti, Prado e Oliveira (2011), uma solução para a preservação dessas águas é o investimento tanto em saneamento básico quanto em tratamento de esgoto sanitário, que é realizado por meio estações de tratamento de esgoto que reproduzem, em um menor espaço e tempo, a capacidade de autodepuração dos cursos d'água. Esses últimos autores ressaltam que essas águas possuem aplicabilidades em diversas áreas, entre elas: irrigação de campos, usos paisagísticos, combate a incêndios, lavagem de automóveis, limpeza de ruas etc.

Jordão e Pessoa (2014) relatam que as estações de tratamento de esgoto (ETE) são unidades operacionais que por meio de processos físicos, químicos e biológicos a carga poluente é removida pelo tratamento preliminar, primário e secundário para, em seguida, o efluente tratado receber a destinação adequada.

Os tratamentos, comumente, são divididos em tratamento preliminar, primário e secundário, sendo o primeiro responsável pela remoção de sólidos suspensos grosseiros e areia. O primário é responsável pela remoção dos sólidos suspensos sedimentáveis e matéria orgânica em suspensão e o secundário é responsável por remover a matéria orgânica finamente particulada e a matéria orgânica dissolvida.

OBJETIVO

O objetivo geral do presente trabalho é propor o aplicativo computacional, criado para auxiliar no desenvolvimento de projetos de estações de tratamento de esgoto, tornando o dimensionamento mais dinâmico e intuitivo para o projetista. Os resultados foram validados com um estudo de caso disponíveis em literatura e outro com um projeto real.

MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi dividido em três etapas. A primeira é a análise da literatura pertinente, em que foi realizado um levantamento sobre as equações necessárias para o dimensionamento de uma ETE. Em seguida, foi realizado o desenvolvimento da aplicação computacional e, por fim, a validação do programa mediante estudos de caso.

PRIMEIRA ETAPA: DEFINIÇÃO DO MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO

O programa foi desenvolvido com base na metodologia adotada por Jordão e Pessoa (2014), com exceção do cálculo do reator anaeróbio de manta de lodo em que foi adotada a teoria existe em Chernicharo (2016).

Os primeiros elementos a serem determinados para o dimensionamento de uma estação de esgoto são as vazões de projeto; uma vez estabelecidas, podem-se determinar os elementos constituintes de uma estação de tratamento de esgoto.

Primeiramente, é determinado o número populacional (P) da localidade atendida que será determinada pela equação (1):

$$P = R \cdot T \quad \text{Equação (1)}$$

Entendendo-se que: P = População atendida (contribuintes); R = Número total de residências (unidades); T = Número de pessoas por unidade (contribuintes/unidades).

Por conseguinte, é calculada a vazão (Q) em L/d pela equação (2):

$$Q = P \cdot q \quad \text{Equação (2)}$$

Em que: Q = Vazão (L/d); q = Contribuição per capita (L/hab.dia).

O programa automaticamente converterá a vazão de L/dia para m³/dia para passos posteriores dentro do aplicativo. Em seguida, é definida a vazão máxima (Q_{máx}) pela equação (3), a vazão mínima (Q_{mín}) pela equação (4) e a vazão média (Q_{méd}), todas em m³/dia.

$$Q_{méd} = C \cdot Q \quad \text{Equação (3)}$$

$$Q_{mín} = K3 \cdot C \cdot Q \quad \text{Equação (4)}$$

$$Q_{máx} = K1 \cdot K2 \cdot C \cdot Q \quad \text{Equação (5)}$$

Sendo: C = Coeficiente de retorno (Relação água/esgoto, em %); K1 = Coeficiente do dia de maior consumo; K2 = Coeficiente da hora de maior consumo; K3 = Coeficiente da hora de menor consumo; Q = Consumo total de água (m³/dia).

Conforme Jordão e Pessoa (2014), a quantidade de sólidos grosseiros retidos pode ser estimada em aproximadamente 5% da vazão média prevista. A eficiência da grade (E) é obtida pela equação (6):

$$E = a / (a + t) \quad \text{Equação (6)}$$

Em que: E = Eficiência da grade (%); A = Abertura entre as barras (mm); t = Espessura das barras (mm).

A área útil da seção da barra (A_u) é dada pela equação (7):

$$A_u = Q_{máx} / V_{adot} \quad \text{Equação (7)}$$

No qual: A_u = Área útil da seção da barra (m²); V_{adot} = Velocidade média adotada através das grades (m/s).

Considerando o escoamento à montante da grade, a área total da seção no local da grade (A_t) pode ser obtida pela equação (8):

$$A_t = A_u / E$$

Equação (8)

Em que: A_t = área total da seção (m^2); A_u = Área útil (m^2); E = Eficiência (%);

Para o comprimento total do desarenador (L) adota-se a equação (9):

$$L = (Q_{\max} \cdot t) / A_t$$

Equação (9)

Sendo: L = Comprimento do desarenador (m); T = Tempo de escoamento a montante da grade (s).

A Calha Parshall, de acordo com Jordão e Pessoa (2014), é um dispositivo de medição de vazão na forma de um canal aberto com dimensões padronizados. O esgoto é forçado por uma garganta relativamente estreita, sendo o nível da água a montante da garganta o indicativo da vazão que passa. Admitindo-se a instalação da Calha Parshall a jusante do desarenador para o cálculo da altura da lâmina líquida (H) em m será utilizada a equação (10):

$$H = (Q / K) / 1/n$$

Equação (10)

Em que: H = Altura da Lâmina líquida (m); Q = Vazões máxima, mínima e média (m^3/s); K = Coeficiente da Calha Parshall; n = Expoente.

O rebaixo de medidor Parshall, em relação à soleira do vertedor da caixa de areia é o artifício com que as variações de vazão correspondam proporcionalmente as variações da altura d'água, o que mantém praticamente inalterada a velocidade do escoamento. Em Jordão e Pessoa (2014), o cálculo do rebaixo (Z) é obtido mediante a equação (11):

$$Z = [(Q_{\max} \cdot H_{\min}) - (Q_{\min} \cdot H_{\max})] / (Q_{\max} - Q_{\min})$$

Equação (11)

No qual: Z = Rebaixo do medidor da Calha Parshall (m); $Q_{\min}$ = Vazão mínima (m^3/dia); $Q_{\max}$ = Vazão máxima (m^3/dia); $H_{\min}$ = Altura mínima (m); $H_{\max}$ = Altura máxima (m).

Esses valores devem ser verificados para as vazões mínima, média e máxima quando estiver estabelecida a estrutura da caixa de grade. Vale ressaltar que se o valor da vazão for muito baixo, dificilmente este parâmetro será obedecido. De acordo com Jordão e Pessoa (2014) os valores das velocidades deverão estar no intervalo de 0,40 m/s a 0,75m/s.

Considerando-se uma obstrução máxima de 50% na grade, a velocidade passa a ser o dobro da situação anterior. Nesse caso, adota-se a seção de escoamento da grade suja igual à metade da área útil. Dessa forma, a velocidade na grade suja (V) é determinada pela equação (12):

$$V = 2 \cdot V_{\min}$$

Equação (12)

Entendendo-se que: V = Velocidade na grade suja (m/s); $V_{\min}$ = Velocidade mínima na caixa de grade (m/s).

A velocidade na seção (v) em m/s será obtida pela equação (13):

$$V = v \cdot E$$

Equação (13)

A perda de carga (H_f) é calculada pela equação de Metcalf, Eddy e Tchobanoglous (1991) pela equação (14):

$$H_f = 1,43 \cdot (V^2 - v^2) / (2 \cdot g)$$

Equação (14)

No qual: H_f = Perda de carga na grade suja (m); g = Aceleração da gravidade (m^2/s).

O cálculo do comprimento da grade é feito com base na inclinação que é determinada pelo projetista, a altura (h') é obtida pela equação (15):

$$h' = H_{\text{máx}} + H_f + D + 0,10 \quad \text{Equação (15)}$$

Sabendo-se que: h' = Altura da grade (m); D = Diâmetro da tubulação de descarga (mm).

O comprimento (X) é obtido pela equação (16):

$$X = h' / \sin \theta \quad \text{Equação (16)}$$

Em que: X = Comprimento da grade (m); θ = Ângulo (graus).

A quantidade de barras (N) necessárias é dada pela equação (17):

$$N = b / (t + a) \quad \text{Equação (17)}$$

Sendo: N = Número de barras; b = Largura do canal adotada (m); t = Espessura das barras (m); a = Abertura entre as barras (m).

A base horizontal da calha Parshall constitui um nível de referência para o nível de água a montante da calha. Jordão e Pessoa (2014) recomenda o cálculo da altura da água em um ponto situado a 2/3 do canal de aproximação da garganta, conforme a equação (18):

$$Q_a = 2,2 \cdot W \cdot H_a^{3/2} \quad \text{Equação (18)}$$

Considerando-se que: Q_a = Vazão (m^3/s); H_a = Altura do nível de água no ponto a 2/3 do canal (m); W = Largura da garganta (m).

De acordo com Jordão e Pessoa (2014), uma condição importante para o funcionamento adequado de uma calha Parshall é que o nível de água a jusante da calha ser suficientemente baixo para evitar o “afogamento” (termo que indica que o nível de água a jusante da calha influi sobre o nível a montante). Para uma largura de 15 cm da garganta, a lâmina a jusante da calha (em relação com a base) não pode ser maior que 60 % da lâmina a montante.

O desarenador tem a função de reter os sólidos inertes com densidade maior que a água. Esta medida evita a abrasão nos equipamentos e nas tubulações, bem como obstrução e acúmulo desnecessário partículas nas unidades.

Determinada a profundidade e adotado um canal de seção retangular, Jordão e Pessoa (2014) recomendam para o cálculo da largura da unidade (b) pela equação (19):

$$b = Q_{\text{máx}} / (H_{\text{máx}} \cdot U) \quad \text{Equação (19)}$$

Em que: b = Largura do desarenador (m); $H_{\text{máx}}$ = Altura da lâmina líquida máxima (m); U = Velocidade do fluxo a ser mantida no desarenador (m/s).

Jordão e Pessoa (2014) recomendam que a velocidade de escoamento deve ser mantida entre 0,30 m/s e 0,40 m/s. Essa velocidade é mantida aproximadamente constante apesar das variações de vazão por meio da instalação de uma calha Parshall a jusante. As velocidades baixas, notadamente as inferiores a 0,15 m/s, provocam depósito de matéria orgânica na caixa, indicado pelo aumento da relação SSV/SST do material retido e que provoca exalação de maus odores devido à decomposição. Por outro lado, velocidades superiores a 0,40 m/s provocam arraste de areia e redução da quantidade retida.

Esses valores devem ser verificados para as vazões mínima, média e máxima quando estiver estabelecida a estrutura do desarenador. Observando-se que se o valor da vazão for muito baixo, dificilmente este parâmetro será obedecido.

Adota-se para o cálculo do comprimento do desarenador (L) a equação (20), proposta por Jordão e Pessoa (2014).

$$L = 22,5 \cdot H_{\text{máx}} \quad \text{Equação (20)}$$

Considerando-se que: L = Comprimento do desarenador (m).

A área superficial (As) é obtida pela equação (21):

$$As = L \cdot b \quad \text{Equação (21)}$$

Entendendo-se que: As = área superficial (m²); b = Largura do desarenador adotada (m).

Denomina-se taxa de escoamento superficial a relação entre a vazão dos esgotos afluentes e a área em planta da caixa. Jordão e Pessoa (2014) relatam que esta relação deve variar entre o intervalo de 600 a 1.300 m³/m². dia. Este valor deve ser verificado para a vazão média quando estiver estabelecida a estrutura do desarenador. Se a vazão for diminuta dificilmente este parâmetro será obedecido. Para a verificação da taxa de escoamento superficial (TES) utiliza-se a equação (22):

$$TES = Q_{\text{méd}}/As \quad \text{Equação (22)}$$

Sabendo-se que: TES = Taxa de escoamento superficial (m³/m²).

O volume médio diário de areia retirada (Vacum) pode ser obtido pela equação (23):

$$Vacum = Q_{\text{méd}} \cdot TAA \quad \text{Equação (23)}$$

No qual: Vacum = volume médio diário de areia retirada (m³/dia); TAA = Taxa média de material retido (%).

O volume acumulado total (VAA) pode ser obtido pela equação (24):

$$VAA = Vacum \cdot T \quad \text{Equação (24)}$$

Sabendo-se que: VAA = volume acumulado total (m³); T = Período de intervalo entre as limpezas (dias).

A definição da altura útil (h) pode ser obtida pela equação (25):

$$h = VAA \cdot T / As \quad \text{Equação (25)}$$

Entendendo-se que: h = Altura útil (m).

No desenvolvimento do programa foi inserida a possibilidade de escolher entre o reator anaeróbio circular e retangular. Ambas as geometrias dos reatores foram calculadas de acordo com a metodologia de Chernicharo (2016), a qual consiste nas seguintes etapas.

Para a determinação da carga afluente média de DBO utiliza-se a equação (26) e para a carga afluente média de DQO usa-se a equação (27):

$$LO_DBO = (SO_DBO \times Q_{\text{méd}}) / 1000 \quad \text{Equação (26)}$$

$$LO_DQO = (SO_DQO \times Q_{\text{méd}}) / 1000 \quad \text{Equação (27)}$$

Sendo: LO_DBO = Carga afluente média de DBO (KgDBO/dia); LO_DQO = Carga afluente média de DQO (KgDQO/dia); SO_DBO = Concentração afluente de DBO (Kg/m³); SO_DQO = Concentração afluente de DQO (Kg/m³).

Para a determinação do volume do reator (V) é adotada a equação (28):

$$V = Q_{\text{méd}} \cdot TDH \quad \text{Equação (28)}$$

Considerando-se que:

V= Volume do reator;

TDH = Tempo de detenção hidráulica (h).

Em que o volume útil (Vu) é definido pela equação (29):

$$V_u = V / N \quad \text{Equação (29)}$$

Em que: Vu = volume útil (m³); V = Volume do reator (m³); N = Número de módulos adotado.

Para a determinação da área unitária do reator (AU) é adotada a equação (30):

$$AU = V_u / H_u \quad \text{Equação (30)}$$

No qual: AU = Área unitária do reator (m²); Hu = Altura útil adotada (m).

Em que o diâmetro (D) é obtido pela equação (31):

$$D = (4 * AU / \pi) \quad \text{Equação (31)}$$

Entendendo-se que: D = Diâmetro do reator (m).

Caso o reator seja retangular, os valores das dimensões devem ser de forma a obter uma área próxima do resultado da equação (33), onde sua área retangular é obtida pela equação (32):

$$A_r = B * L \quad \text{Equação (32)}$$

Considerando-se que: Ar= Área retangular do reator(m²); B= Largura do reator (m); L= Comprimento do reator (m).

O diâmetro arbitrado a partir do cálculo da equação (31) deve ser utilizado nas próximas equações. São necessárias verificações da área (AU) pela equação (32), do volume (VU) pela equação (34), do tempo de detenção médio pela equação (35) e do tempo de detenção máximo pela equação (36):

$$AU = (\pi * D^2) / 4 \quad \text{Equação (32)}$$

$$V_u = AU * H_u \quad \text{Equação (34)}$$

$$TDH_{\text{méd}} = V_u / Q_{\text{méd}} \quad \text{Equação (35)}$$

$$TDH_{\text{máx}} = V_u / Q_{\text{máx}} \quad \text{Equação (36)}$$

Em que: AU = Área unitária do reator (m²); Vu = volume útil (m³); TDHméd = Tempo de detenção hidráulica médio (h); TDHmáx = Tempo de detenção hidráulica máximo (h).

Para atender aos critérios recomendados, Chernicharo (2016) indica que o tempo de detenção hidráulica deve estar entre 6 e 9 horas para a vazão média e entre 4 e 6 horas para a vazão máxima.

Para a verificação da carga hidráulica volumétrica média (CHVméd) em m³/m³.dia é utilizada a equação (37):

$$CHV_{\text{méd}} = Q_{\text{méd}} / V_u \quad \text{Equação (37)}$$

Sabendo-se que: CHVméd = Carga hidráulica volumétrica média (m³/m³.dia);

De acordo com Chernicharo (2016), o valor da carga hidráulica volumétrica média não deve ser superior a 4 m³/m³. dia.

Para a verificação da carga hidráulica volumétrica máxima (CHVmáx) é empregada a equação (38):

$$CHV_{\text{máx}} = Q_{\text{máx}} / V_u \quad \text{Equação (38)}$$

Entendendo-se que: $CHV_{m\acute{a}x}$ = Carga hidráulica volumétrica máxima ($m^3/m^3 \cdot dia.$).

Para Chernicharo (2016) o valor da carga hidráulica máxima não deve ser superior a $6 m^3/m^3 \cdot dia.$

Na verificação da carga orgânica volumétrica ($COV_{méd}$) é utilizada a equação (39):

$$COV_{méd} = LO_DQO * Q_{méd} / VU \quad \text{Equação (39)}$$

Sendo: $COV_{méd}$ = Carga orgânica volumétrica ($KgDQO/m^3 \cdot dia.$); LO_DQO = Carga afluente média de DQO ($KgDQO/dia.$).

O valor da carga orgânica volumétrica não deve ser superior a $3,50 KgDQO/m^3 \cdot dia.$, recomenda Chernicharo (2016).

As velocidades superficiais média e máxima do fluxo são determinadas pelas equações (40) e (41), respectivamente.

$$V_{méd} = Q_{méd} / (AU * N) \quad \text{Equação (40)}$$

$$V_{m\acute{a}x} = Q_{m\acute{a}x} / (AU * N) \quad \text{Equação (41)}$$

No qual: $V_{méd}$ = Velocidade média superficial de fluxo (m/h); $V_{m\acute{a}x}$ = Velocidade máxima superficial de fluxo (m/h); N = Número de módulos adotado.

O valor da velocidade ascensional deve estar entre $0,5$ e $0,7 m/h$ para a vazão média e deve ser igual ou inferior a $1,10 m/h$ para a vazão máxima, valores preconizados por Chernicharo (2016)

A área dos tubos de distribuição (A) pode ser obtida pela equação (42):

$$A = AR / Nd \quad \text{Equação (42)}$$

Entendendo-se: A = Área dos tubos de distribuição (m^2); AR = Área da seção transversal do reator (m^2); Nd = Número de tubos distribuidores adotados.

A velocidade nas tubulações radiais (V) foi calculada para obter um valor $< 0,2 m/s$, definida a partir da equação (43):

$$V = (Q / N) / a \quad \text{Equação (43)}$$

Em que: V = Velocidade nas tubulações radiais (m/s); Q = Vazão afluente em cada tubo (m^3/s); a = Área de cada tubo de distribuição (m^2).

De acordo com a ABNT (2011) para as velocidades atenderem ao valor máximo recomendado elas devem ser menores que $0,20 m/s$.

Para a verificação da carga orgânica volumétrica (COV) em $KgDQO/m^3 \cdot d$ é utilizada a equação (44) e para a carga hidráulica volumétrica (CHV) em $m^3/m^3 \cdot d$ é usado a equação (45):

$$COV = Q_{méd} \cdot So / V \quad \text{Equação (44)}$$

$$CHV = Q_{méd} / V \quad \text{Equação (45)}$$

Considerando-se que: COV = Carga orgânica volumétrica ($KgDQO/m^3 \cdot d$); CHV = Carga hidráulica volumétrica ($m^3/m^3 \cdot d$); So = DQO afluente (Kg/m^3).

Em seguida, é determinado o número de tubos (Nd) para distribuição a partir da equação (46):

$$Nd = A/Ad$$

Equação (46)

Considerando-se que: Nd= Número de tubos; A = Área total do reator (m²); Ad = Área de influência (m²).

Para as verificações da velocidade máxima e média na passagem para o separador trifásico são usadas, na devida ordem, as equações (47) e (48):

$$V_{m\acute{a}x} = Q_{m\acute{a}x} / (A_{ab} * N)$$

Equação (47)

$$V_{m\acute{e}d} = Q_{m\acute{e}d} / (A_{ab} * N)$$

Equação (48)

Sendo: V_{máx} = Velocidade máxima na passagem do separador trifásico (m/h); V_{méd} = Velocidade média na passagem do separador trifásico (m/h); A_{ab} = Área das aberturas para os decantadores.

A área de abertura para os decantadores (A_{ab}) é determinada equação (49):

$$A_{ab} = (D^2 - d^2) * \pi/4$$

Equação (49)

Entendendo-se: A_{ab} = Área de abertura para os decantadores (m²); D = Diâmetro maior do decantador (m); d = Diâmetro menor do decantador (m).

As taxas de aplicação superficial máxima e média são determinadas pelas equações (50) e (51), respectivamente.

$$V_{d\acute{m}ax} = Q_{m\acute{a}x} / A_d$$

Equação (50)

$$V_{d\acute{m}ed} = Q_{m\acute{e}d} / A_d$$

Equação (51)

Em que: V_{d_{máx}} = Velocidade máxima de aplicação superficial (m/h); V_{d_{méd}} = Velocidade média de aplicação superficial (m/h); A_d = Área de influência (m²).

Para atender os limites recomendados por Chernicharo (2016), as taxas devem estar entre 0,6 m/h e 0,8 m/h para a vazão média e abaixo de 1,2 m/h para a vazão máxima.

Os tempos de detenção hidráulica máximo e médio da área de decantação são calculados a partir, respectivamente, das equações (52) e (53).

$$TDH_{m\acute{a}x} = V_d / Q_{m\acute{a}x}$$

Equação (52)

$$TDH_{m\acute{e}d} = V_d / Q_{m\acute{e}d}$$

Equação (53)

No qual: TDH_{máx} = Tempo de detenção máximo no decantador (h); TDH_{méd} = Tempo de detenção médio no decantador (h); V_d= Volume de decantação (m³).

A taxa deve ser igual ou maior que 1,5 hora para a vazão média e igual ou maior que 1,0 hora para a vazão máxima para atender aos valores recomendados por Chernicharo (2016).

Para a estimativa das eficiências de DBO e DQO utilizam-se, na devida ordem, as equações (54) e (55).

$$EDBO = 100 * (1 - 0,70 * TDH_{m\acute{e}d}^{-0,50})$$

Equação (54)

$$EDQO = 100 * (1 - 0,68 * TDH_{m\acute{a}x}^{-0,35})$$

Equação (55)

Sendo: EDBO = Eficiência de remoção de DBO (%); EDQO = Eficiência de remoção de DQO (%).

No que concerne às estimativas das concentrações de DBO e DQO, utilizam-se, respectivamente as equações (56) e (57).

$$SUASB_DBO = S_0_DBO - EDBO * S_0_DBO / 100$$

Equação (56)

$$SUASB_DQO = S_0_DQO - EDQO * S_0_DQO / 100$$

Equação (57)

Em que: SUASB_DBO = Estimativa da concentração de DBO (DBO/L); SUASB_DQO = Estimativa da concentração de DQO (DQO/L); SO_DBO = Concentração afluente de DBO (Kg/m³); SO_DQO = Concentração afluente de DQO (Kg/m³).

Para a produção de lodo (Plodo) em Kg.SS/d é utilizada a equação (58):

$$\text{Plodo} = Y * \text{DQOapl} \quad \text{Equação (58)}$$

No qual: Plodo = Produção de lodo (Kg.SS/d); Y = coeficiente de produção de sólidos; DQOapl = carga de DQO aplicada no sistema (kgDQO/d).

A vazão de lodo (Qlodo) em m³/d é determinada pela equação (59):

$$\text{Qlodo} = \text{Plodo} / (g * \text{Clodo}) \quad \text{Equação (59)}$$

Em que: Qlodo = Vazão de lodo (m³/d); g = Densidade do lodo (kgSS/m³); Clodo = Concentração de sólidos no lodo (%).

A produção de metano (DQOCH₄) em kgDQO/d é obtida mediante a equação (60):

$$\text{DQOCH}_4 = \text{Qméd} \times (\text{S}_0 - \text{SUASB}) - Y \times \text{Qméd} \times \text{S}_0 \quad \text{Equação (60)}$$

Sabendo-se que: DQOCH₄ = Produção de metano (kgDQO/d); S₀ = Concentração de DQO afluente (kgDQO/m³); SUASB = Concentração de DQO efluente (kgDQO/m³).

A produção unitária (DQOCH₄ unitária) em kgDQO é encontrada pela equação (61):

$$\text{DQOCH}_4 \text{ unitária} = \text{DQOCH}_4 / N \quad \text{Equação (61)}$$

No qual: DQOCH₄ = Parcela de DQO convertida em metano (kgDQO/d).

A produção volumétrica (QCH₄) em m³/d de metano será dada pela equação (62):

$$\text{QCH}_4 = \text{DQOCH}_4 \text{ unitária} / f(t) \quad \text{Equação (62)}$$

Sabendo-se que: QCH₄ = Produção volumétrica (m³/d); f(t) = Fator de conversão.

Para a avaliação da produção de biogás (QBIOGÁS) em m³/d será utilizada a equação (63):

$$\text{QBIOGÁS} = \text{QCH}_4 / \text{PCH}_4 \quad \text{Equação (63)}$$

Em que: QBIOGÁS = Produção de biogás (m³/d); QCH₄ = Produção volumétrica de metano (m³/d); PCH₄ = Porcentual de metano no biogás (%).

SEGUNDA ETAPA: DESENVOLVIMENTO DO PROGRAMA

O aplicativo foi desenvolvido com a utilização de *Windows Forms* que gera formulários em que o programador pode gerar uma interface adequada e com código para o funcionamento do programa. Em relação à linguagem de programação utilizada, decidiu-se adotar a *C#* por ser compatível com o sistema operacional *Windows*.

Durante a utilização do aplicativo o usuário deve inserir os dados de entrada em cada formulário e, caso não haja ausência de entrada de dados ou informação inserida em formato não aceito, a aplicação realiza os cálculos, conversões de unidades e gera resultados fundamentais para análises, como, por exemplo, o tempo de detenção hidráulica e as velocidades.

Ao se realizar as verificações, o programa alerta caso os resultados não estejam dentro dos parâmetros sugeridos pelos autores de referência, exibindo mensagens informando qual dado de entrada deve ser modificado para que os resultados se encontrem dentro dos limites estabelecidos na metodologia adotada.

As telas do aplicativo desenvolvido podem ser visualizadas na Figuras 1, 2 e 3. Ao fim do desenvolvimento é possível gerar um memorial em formato PDF de todas as variáveis e cálculos realizados durante a execução do programa, como pode ser constatado na Figura 4. Também foi implementado um sistema de banco de dados que possibilita o usuário salvar todos os seus processos e, posteriormente, acessá-los.

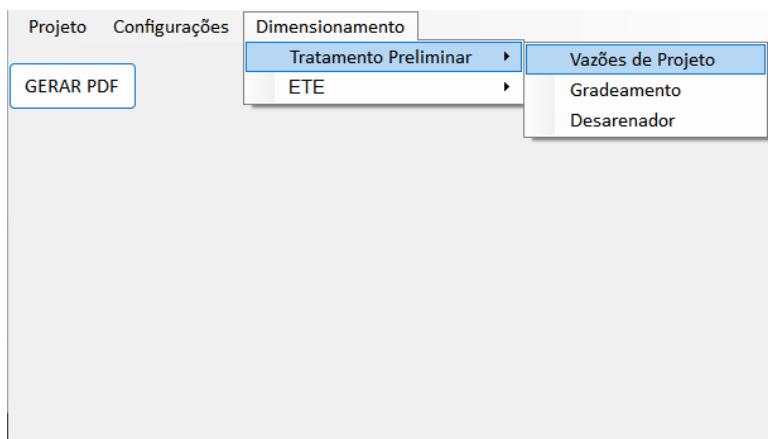


Figura 1: Tela de entrada do aplicativo

Gradeamento

Projeto Validação de dados vazão de projeto

Adoção da Grade

Velocidade máxima: 1,2 m/s
Velocidade média: 0,6 m/s
Perda de carga mínima: 0,15 m

Comprimento Total

Tempo de escoamento: 3 s
Comprimento calculado: 0,431 m
Comprimento adotado: 0,431 m

Comprimento de Grade

Largura do canal = 0,424 m
Largura adotada: 0,4 m
Aceleração da gravidade: 9,81 m/s²
Inclinação da grade: 45 °
Diâmetro da tubulação de descarga: 50 mm

Eficiência da Grade (E)

Espessura das barras: 9,52 mm
Abertura entre barras: 3 mm
E = 23,96 %

Altura Lâmina Líquida

Definição calha parshall: 3 mm
Qmín: 0,80 L/s
Qmáx: 53,80 L/s
Garganta: 0,076
Expoente: 1,547
Coeficiente: 0,176

Áreas

Área útil da barra = 0,0072 m²
Área total da barra = 0,0301 m²

Dimensões

Comprimento da grade = 0,5 m
Quantidade de barras = 32 Unidades

Verificação das Velocidades na Caixa de Grade

	Q (m³/s)	H (m)	At = b x h (m²)	Au = At x E (m²)	V = Q/A (m/s)	Verificação da Velocidade
Vazão Média	0,00241	0,042	0,017	0,004	0,59	Velocidade adequada
Vazão Máxima	0,00433	0,071	0,028	0,007	0,64	Velocidade adequada
Vazão Mínima	0,0012	0,02	0,008	0,002	0,64	Velocidade adequada

As velocidades recomendadas devem ser entre 0,40 e 0,75 m/s.

Calcular
Próximo >>
<< Anterior

Figura 2: Tela para o dimensionamento do gradeamento

Reator_Anaeróbio

Características do Esgoto Efluentes		Características do Decantador		Verificações	
Vazão Média:	8,667 m³/h	Número de Aberturas:	1	Tempo de Detenção Médio:	8,2 h (6<t<9)
Vazão Máxima:	15,6 m³/h	Largura das Aberturas:	0,9 m	Tempo de Detenção Máximo:	4,5 h (4<t<6)
Concentração S ₀ -DBO:	340 mg/L	Maior Diâmetro do Decantador:	3 m	Carga Hidráulica Média:	2,94 m³/m².dia (CHmédia<4)
Concentração S ₀ -DQO:	613 mg/L	Distância do separador ao reator:	0,5 m	Carga Hidráulica Máxima:	5,3 m³/m².dia (CHmédia<6)
Concentração Coliformes:	5000000 NMP/100mL	Diâmetro de Decantação maior:	3 m	Carga Orgânica Volumétrica:	1,8 KgDQO/m³.dia (CO<3,5)
Detenção Hidráulica:	8 h	Diâmetro de Decantação menor:	0,8 m	Velocidade Superficial Média:	0,61 m/h (0,5<V<0,7)
Carga S ₀ -DBO:	70,72 KgDBO/d	Número de Decantadores:	1 m	Velocidade Superficial Máxima:	1,1 m/h (v<=1,1)
Carga S ₀ -DQO:	127,504 KgDQO/d			Velocidade nas Tubulações:	0,165 m/s (V<0,2)
Características do Reator Tipo de reator escolhido: ☐ Retangular ☒ Circular Volume do Reator: 69,333 m³ Número de Módulos: 2 Volume Unitário do Reator: 34,667 m³ Vazão Média Unitária: 4,333 m³/h Vazão Máxima Unitária: 7,8 m³/h Altura do Reator: 5 m		Reator Circular Área Unitária do Reator: 6,933 m² Diâmetro do Reator: 2,97 m Diâmetro Adotado: 3 m Número de Tubos Adotado: 3 Diâmetro dos Tubos: 75 mm Vazão da Bomba Adotada: 0,00437 m³/s		Verificações Velocidade Média no Separador: 1,1 m/h Velocidade Máxima no Separador: 1,99 m/h Taxa Máxima de Aplicação: 1,19 m³/h (T<1,20) Taxa Média de Aplicação: 0,66 m³/h (0,6<T<0,8) Tempo de Detensão Médio: 3,79 horas (T>=1,5) Tempo de Detensão Máximo: 2,1 horas (T>=1,0) Concentração de Coliformes: 5000000 NMP/100 mL Eficiência DBO: 64,02 % Eficiência DQO: 47,58 % Concentração DBO Efluente: 102 mg DBO/L Concentração DQO Efluente: 214,55 mg DQO/L	

Calcular <<Anterior Próximo>>

Figura 3: Tela para o dimensionamento do Reator Anaeróbio.

1.0. Vazões de Projeto

Os dados das vazões de projeto foram fornecidos pelo cliente.

Para este empreendimento foram assumidos os seguintes parâmetros:

GERAÇÃO DE ESGOTOS

Número de apartamentos/casas/leitos (R)= 400 Unidades

Número de pessoas por unidade (T)= 5 habitantes/unidade

População (P) = (R) x (T)= 2000 Habitantes

Contribuição de água per capita (q)= 150 L/ hab.dia

Tempo de Contribuição= 24 horas/dia

Tempo de Funcionamento da Estação= 24 horas/dia

$Q = (P \cdot q / 86400) = 300 \text{ L/s}$

As vazões média, mínima e máxima para dimensionamento do sistema serão calculadas, respectivamente, pelas seguintes fórmulas:

$$Q_{\text{méd}} = C \times Q$$

$$Q_{\text{mín}} = K3 \times C \times Q$$

$$Q_{\text{máx}} = K1 \times K2 \times C \times Q$$

Em que:

K1 = coeficiente do dia de maior consumo= 1,2

K2 = coeficiente da hora de maior consumo= 1,5

K3 = coeficiente da hora de menor consumo= 0,5

C = coefic. de retorno (relação água/esgoto)= 80

q = consumo total de água (m³/dia)= 300

	m³/dia	m³/h	m³/min	m³/s
Q _{méd}	240	10	0,167	0,00278
Q _{mín}	120	5	0,083	0,00139
Q _{máx}	432	18	0,3	0,005

Figura 4: Memorial descritivo gerado pela aplicação.

TERCEIRA ETAPA: VALIDAÇÃO DOS RESULTADOS

Para a validação dos resultados obtidos pelo programa foram utilizados três estudos de caso, sendo dois disponíveis em literatura especializada e um projeto real executado. Os estudos de caso 1 e 2 estão presentes em Jordão e Pessoa (2014) e o estudo de caso 3 foi desenvolvido pela CAGECE (2016). Nas tabelas 1, 2, 3, 4, 5 e 6 podem-se observar os dados de entrada utilizados no programa.

Tabela 1: Dados de entrada do programa no gradeamento (formulário 2)

Parâmetro	Estudo de Caso 1	Estudo de Caso 2
Velocidade máxima através das grades	1,2 m/s	1,2 m/s
Velocidade média adotada através das grades	0,6 m/s	0,60 m/s
Espessura das barras	9,52 mm	10,00 mm
Tempo de escoamento a montante da grade	3 s	3 s
Comprimento a ser adotado	0,50 m	1,30 m

Calha Parshall	3"	3"
Vazão mínima	0,80 L/s	0,80 L/s
Vazão máxima	53,80 L/s	53,80 L/s
Largura a ser adotada	0,40 m	0,35 m
Obstrução máxima na grade	50%	50%
Aceleração da gravidade	9,81 m/s ²	9,81 m/s ²
Inclinação da grade	45°	45°
Diâmetro da tubulação de descarga	50 mm	100 mm

Tabela 2: Dados de entrada do programa no desarenador (formulário 3)

Parâmetro	Estudo de Caso 1	Estudo de Caso 2
Largura mínima a ser adotada	0,30 m	0,35 m
Comprimento a ser adotado	1,00 m	6,00 m
Taxa média de material retido	0,00002 litros/m ³	0,00003 litros/m ³
Taxa de limpeza	15 dias	15 dias
Altura útil a ser adotada	0,25 m	0,10 m

Tabela 3: Dados de entrada do programa no reator anaeróbio (formulário 4)

Parâmetro	Estudo de Caso 1	Estudo de Caso 2
Concentração afluente de DBO	340 mg/L	450 mg/L
Concentração afluente de DQO	613 mg/L	850 mg/L
Tempo de detenção hidráulica	8 h	8 h
Número de módulos adotado	2	4
Altura útil do reator	5 m	5,5 m
Diâmetro do reator adotado	3 m	5,5 m
Número de tubos distribuidores adotado	3	8
Diâmetro do tubo de distribuição	75 mm	100 mm

Tabela 4: Dados de entrada do programa no decantador do reator anaeróbio (formulário 4)

Parâmetro	Estudo de Caso 1	Estudo de Caso 2
Número de aberturas dos decantadores	1	1
Diâmetro das aberturas de decantadores	0,90 m	0,74
Diâmetro maior do decantador	3,00 m	5,5
Distância entre o separador e a parede do reator	0,50 m	0,5
Diâmetro menor do decantador	0,80 m	1,12
Número de decantadores	1	1

Tabela 5: Dados de entrada do programa em produção de resíduos (formulário 5)

Parâmetro	Estudo de Caso 1	Estudo de Caso 2
Coeficiente de produção de sólidos (kgSS/KgDQO)	0,15	0,15
Densidade do lodo (KgSS/m³)	1020	1020
Concentração de sólidos no lodo (%)	4	4
Coeficiente de produção de sólidos no sistema em DQO(KgDQO/KgDQO)	0,21	0,21
Pressão atmosférica (atm)	1	1
DQO equivalente a um mol de CH ₄ (g DQO/mol)	64	64
Constante dos gases (atm.L/mol.K)	0,08206	0,08206
Temperatura do reator (C°)	28	28
Porcentual de metano no biogás (%)	80	80
Número de coletores de gás	1	1
Diâmetro do coletor de gás (m)	0,5	1,12

Tabela 6: Dados de entrada do programa em reator anaeróbio retangular (formulário 4)

Parâmetro	Estudo de Caso 3
Vazão média	3000 m³/d
Vazão máxima	4920 m³/d
DQO afluente	600 mg/L
DBO afluente	350 mg/L
Coeficiente de produção de sólidos	0,18 kgSST/kgDQO
Coeficiente de produção de sólidos, em termos de DQO	0,21 DQO/kgDQO
Tempo de detenção hidráulica	8 h
Concentração esperada para o lodo de descarte	4%
Número de módulos adotado	2
Altura do reator	4,5 m
Comprimento do reator adotado	13,2 m
Largura do reator adotada	8,45 m
Pontos de distribuição	8

RESULTADOS OBTIDOS

Para uma análise mais detalhada dos resultados é possível observar nas tabelas 7, 8, 9, 10 e 11, os resultados obtidos para os estudos de caso 1 e 2, em que foram realizados o cálculo da diferença percentual entre os dados calculados pelos autores dos estudos de caso e os resultados obtidos pelo aplicativo. Na tabela 12 é possível visualizar os resultados obtidos para o estudo de caso 3, no qual também foi realizado o cálculo comparativo com os da literatura.

Tabela 7: Comparação dos resultados obtidos para o gradeamento (estudo de caso 1 e 2)

Parâmetro	Estudo de Caso 1 (literatura)	Estudo de Caso 1 (aplicativo)	Estudo de Caso 2 (literatura)	Estudo de Caso 2 (aplicativo)	Diferença 1 (%)	Diferença 2 (%)
Eficiência (%)	23,96	23,96	71	71,43	0,00%	0,61%
Área da seção da barra (m ²)	0,0072	0,0072	0,059	0,0589	0,00%	0,17%
Área total (m ²)	0,0301	0,0301	0,0829	0,0824	0,00%	0,63%
Comprimento do canal (m)	0,431	0,431	1,28	1,286	0,00%	0,47%
Rebaixo do medidor Parshall (m)	0,020	0,02	0,090	0,09	0,00%	0,00%
Largura do canal (m)	0,431	0,431	0,34	0,34	0,00%	0,00%
Altura máxima da lâmina (m)	0,071	0,071	0,26	0,26	0,00%	0,00%
Altura mínima da lâmina (m)	0,020	0,02	0,080	0,08	0,00%	0,00%
Altura média da lâmina (m)	0,042	0,042	0,16	0,16	0,00%	0,00%
Quantidade de barras	32	32	10	10	0,00%	0,00%

Tabela 8: Comparação dos resultados obtidos para o desarenador (estudos de caso 1 e 2)

Parâmetro	Estudo de Caso 1 (literatura)	Estudo de Caso 1 (aplicativo)	Estudo de Caso 2 (literatura)	Estudo de Caso 2 (aplicativo)	Diferença 1 (%)	Diferença 2 (%)
Largura calculada (m)	0,203	0,203	0,34	0,34	0,00%	0,00%
Comprimento desarenador (m)	1,60	1,6	5,85	5,85	0,00%	0,00%

Tabela 9: Comparação dos resultados obtidos para o reator UASB circular (estudos de caso 1 e 2)

Parâmetro	Estudo de Caso 1 (literatura)	Estudo de Caso 1 (aplicativo)	Estudo de Caso 2 (literatura)	Estudo de Caso 2 (aplicativo)	Diferença 1 (%)	Diferença 2 (%)
Volume do reator (m ³)	69,33	69,333	586,96	586,509	0,00%	0,08%
Volume unitário (m ³)	34,67	34,667	146,74	146,627	0,01%	0,08%
Vazão média unitária (m ³)	4,33	4,333	18,34	18,328	0,07%	0,07%
Vazão máxima unitária (m ³)	7,8	7,8	31,82	31,788	0,00%	0,10%
Área do reator (m ²)	6,933	6,933	26,68	26,659	0,00%	0,08%
Diâmetro do reator (m)	2,97	2,97	5,83	5,83	0,00%	0,00%
Tempo de detenção médio (h)	8,2	8,2	7,12	7,1	0,00%	0,28%

Tempo de detenção máximo (h)	4,5	4,5	4,1	4,1	0,00%	0,00%
Carga hidráulica média (m³/m³.dia)	2,94	2,94	3,37	3,37	0,00%	0,00%
Carga hidráulica máxima (m³/m³.dia)	5,3	5,3	5,85	5,84	0,00%	0,17%

Tabela 10: Comparação dos resultados para o decantador/separador trifásico (estudo de caso 1 e 2)

Parâmetro	Estudo de Caso 1 (literatura)	Estudo de Caso 1 (aplicativo)	Estudo de Caso 2 (literatura)	Estudo de Caso 2 (aplicativo)	Diferença 1 (%)	Diferença 2 (%)
Velocidade superficial média (m/h)	1,10	1,10	0,70	0,70	0,00%	0,00%
Velocidade superficial máxima (m/h)	1,99	1,99	1,30	1,30	0,00%	0,00%
Taxa máxima de aplicação (m/h)	1,19	1,19	1,40	1,40	0,00%	0,00%
Taxa média de aplicação (m/h)	0,66	0,66	0,80	0,81	0,00%	1,25%
Eficiência DBO (%)	64,04	64,02	73,80	73,78	0,03%	0,03%
Eficiência DQO (%)	47,55	47,58	65,80	65,80	0,06%	0,00%
Concentração DBO efluente	102,00	102,00	117,90	118,00	0,00%	0,08%
Concentração DQO efluente	214,55	214,55	290,70	290,69	0,00%	0,00%

Tabela 11: Comparação dos resultados obtidos para a produção de resíduos (estudos de caso 1 e 2)

Parâmetro	Estudo de Caso 1 (literatura)	Estudo de Caso 1 (aplicativo)	Estudo de Caso 2 (literatura)	Estudo de Caso 2 (aplicativo)	Diferença 1 (%)	Diferença 2 (%)
Produção de lodo (Kg _{SST} /d)	19,13	19,13	223,80	224,34	0,00%	0,24%
Vazão de lodo (m³/dia)	0,47	0,47	5,49	5,50	0,00%	0,18%
DQO convertido em metano (Kg _{DQOCH4} /dia)	28,05	28,05	167,63	167,51	0,00%	0,07%
Produção de metano (m³/dia)	10,83	10,83	64,7	64,65	0,00%	0,08%
Produção de biogás (m³/dia)	13,53	13,53	80,37	80,81	0,00%	0,55%

Tabela 12: Comparação dos resultados obtidos para o reator UASB (estudo de caso 3)

Parâmetro	Estudo de Caso 3 (literatura)	Estudo de Caso 3 (aplicativo)	Diferença (%)
Carga afluente média (kgDQO/d)	1800	1800	0,00%
Volume do reator (m³)	1000	1000	0,00%
Volume de cada módulo (m³)	500	500	0,00%
Área de cada reator (m²)	111,1	111,54	0,40%
Área total corrigida (m²)	223	223,08	0,04%
Volume corrigido (m³)	1003,5	1003,86	0,04%
Tempo de detenção Hidráulica corrigido(h)	8	8	0,00%
Carga orgânica volumétrica (kgDQO/m³.d)	1,79	1,793	0,17%
Carga hidráulica volumétrica m³/m³.d	2,98	2,988	0,27%
Velocidade superficial média (m/h)	0,56	0,56	0,00%
Velocidade superficial máxima (m/h)	0,92	0,919	0,11%
Área de influência correspondente (m²)	2,72	2,722	0,07%
Número de Distribuidores obtido	82	82	0,00%
Número de Distribuidores a ser adotado	80	80	0,00%
Área de Influência Correspondente Corrigida (m²)	2,8	2,788	0,43%
Estimativa da Eficiência de Remoção de DQO (%)	67	67,2	0,30%
Estimativa da Eficiência de Remoção de DBO (%)	75	75,3	0,40%
Estimativa da Concentração de DQO (mgDQO/L)	198	196,79	0,61%
Estimativa da Concentração de DBO (mgDBO/L)	88	86,45	1,76%

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

No primeiro e no segundo estudo de caso os resultados foram satisfatórios, pois foram iguais ou apresentaram uma diferença menor que 1,25%. A discrepância entre os valores do procedimento e os estudos de caso na literatura ocorre devido às aproximações matemáticas realizadas pelos autores dos exemplos, uma vez que o programa realiza os cálculos utilizando-se de todas as casas decimais fornecidas.

Quanto ao terceiro estudo de caso, também há diferenças devido à aproximação e arredondamento, pois nos exemplos da literatura os resultados são apresentados com duas casas decimais. Ocorreu uma diferença máxima de 1,76%, devido aos arredondamentos nas etapas anteriores feitas pelo autor.

Todos os resultados foram obtidos rapidamente, em que a aplicação apresentou um tempo de processamento menor que 1 minuto para execução e apresentação de todos os dados. Convém ressaltar que 85 (oitenta e cinco) parâmetros de um total de 89 (oitenta e nove) não apresentaram qualquer diferença significativa com os estudos de caso analisados, obtendo um índice de similaridade de 95,5%.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Com base no trabalho realizado, pode-se concluir que em relação aos estudos de caso 1, 2 e 3 a diferença dos resultados obtidos com os casos usados para validação foi mínima, indicando um desempenho. Diante da utilização de processos automáticos, o aplicativo reduz significativamente o tempo para realizar o dimensionamento. Dependendo do projetista e respectivas decisões tomadas, levará apenas poucos minutos para obter todas dimensões e realizar todas as verificações necessárias, pois os cálculos são instantâneos.

O aplicativo gera um memorial descritivo após o fim da execução. Portanto, caso o projetista cometesse algum erro, seria necessário retificar apenas os parâmetros dentro da aplicação e gerar um novo memorial corrigido. Esse processo leva apenas alguns segundos. Em contrapartida, caso fosse realizado manualmente o projetista deveria efetuar todos os cálculos novamente, gerando um acréscimo no tempo de dimensionamento.

Pôde-se concluir que os resultados esperados foram alcançados, tendo em vista que os estudos realizados apresentaram respostas iguais ou apenas com divergências na segunda ou terceira casa decimal. Obteve-se um

índice de 95,5% de similaridade, em que as diferenças que ocorreram foram analisadas e justificadas matematicamente. Portanto, conclui-se que o programa é válido e que poderá ser utilizado para auxiliar no dimensionamento de projetos de estações de tratamento de esgoto. Almeja-se que o programa desenvolvido seja utilizado nas unidades acadêmicas que estudam a disciplina de tratamento de esgotos domésticos.

Por fim, como recomendações futuras podem ser acrescentadas outras tecnologias de tratamento, sejam auxiliares ou complementares, diferentes das atualmente contempladas no aplicativo, como tratamento com lagoas de estabilização, com filtros biológicos, com lodos ativados etc.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12209: Elaboração de projetos hidráulico-sanitários de estações de tratamento de esgotos sanitários. Rio de Janeiro, 2011.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR-9648: Estudo de Concepção de sistemas de esgoto sanitário. Rio de Janeiro, 1986.
3. BARROS, H. B. Sistema auxiliar a projetos de estações de tratamento de esgotos compactas: SAPETEC. 2013. 134 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013.
4. CAGECE. COMPANHIA DE ÁGUA E ESGOTO DO ESTADO DO CEARÁ. Projeto do remanescente da estação de tratamento de esgoto para atender ao residencial de Tatu Mundê. Fortaleza, 2016.
5. CHERNICHARO, C. A. L. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Volume 5: Reatores Anaeróbios. 2 ed. Belo Horizonte: UFMG, 2016.
6. HUNT, C. C. Modelo Multicritério de Apoio à Decisão Aplicado à Seleção de Sistema de Tratamento de Esgoto para Pequenos Municípios. Rio de Janeiro, 2013.
7. IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – Atlas do Saneamento 2011. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=280933>. Acesso em 22 de dezembro de 2022.
8. INSTITUTO TRATA BRASIL - Benefícios Econômicos da Expansão do Saneamento. Disponível em: <https://tratabrasil.org.br/datafiles/uploads/estuso/expansao/Beneficios-Economico-do-Saneamento.pdf>. Acesso em: 22 de dezembro 2022
9. JORDÃO, E. P.; PESSOA, C. A. Tratamento de Esgotos Domésticos. 7ª ed. Rio de Janeiro: SEGRAC, 2014.
10. LEONETI, A. B.; PRADO, E. L.; OLIVEIRA, S. V. W. B. Saneamento básico no Brasil: considerações sobre investimentos e sustentabilidade para o século XXI. Revista de administração pública, v. 45, n. 2, p. 331-348, 2011.
11. METCALF, L.; EDDY, H. P.; TCHOBANOGLOUS, G. Wastewater Engineering, Treatment, Disposal, Reuse. Nova York: McGraw-Hill, 1991.
12. NUVOLARI, A. Esgoto Sanitário: coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola. In: Nuvolari, Arioaldo (Org). et al. São Paulo: Edgard Blücher, 2003.
13. SANTOS, A.S.P. Tratamento de Águas Residuárias. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Juiz de Fora, 2012.
14. VON SPERLING, M. V. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 4. Ed. Belo Horizonte: UFMG, 2014. 470 p. (Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias). Volume 1.