

PROPOSTA DE DIMENSIONAMENTO DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO PARA ÁGUAS RESIDUÁRIAS DA SUINOCULTURA

Data de submissão: 16/12/2023

Data de aceite: 26/01/2024

Jacob Santana de Lima Neto

UFRRJ, Instituto de Tecnologia
Seropédica – RJ
<http://lattes.cnpq.br/1520152609696743>

Thamires Franco da Conceição

UFRRJ, Instituto de Tecnologia
Seropédica – RJ
<http://lattes.cnpq.br/1347890656171385>

Henrique Vieira de Mendonça

UFRRJ, Instituto de Engenharia
Seropédica – RJ
<http://lattes.cnpq.br/8897355054570578>

RESUMO: A escassez hídrica é uma das principais problemáticas da atualidade, seus impactos nos meios de produção são notórios e tal situação tem sido discutido à níveis globais. Um influenciador na questão da demanda hídrica é o sistema produtivo, a produção intensiva em larga escala ocasiona sérios desafios como o tratamento de resíduos animais os quais pode representar um risco direto para o ambiente e a saúde. Diante disso o objetivo deste trabalho foi propor o dimensionamento de um sistema eficiente de tratamento de efluentes industriais da suinocultura que integre processos de tratamento biológico

e produção de biogás a partir do metano (CH_4), visando o atendimento dos padrões legais de lançamento de efluentes em corpos hídricos e a mitigação da emissão de (GEE). O tratamento proposto foi subdividido em cinco processos unitários: gradeamento, desarenador aerado, calha Parshal, reator UASB e lagoas de nitrificação/desnitrificação. Os tratamentos apresentaram eficiência na redução da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio (DQO) em 69 % e 61,3%, bem como a redução de Nitrogênio Total (Nt) e Fósforo Total (Ft) em 90% e 75% respectivamente. Isso mostra que os processos unitários escolhidos foram eficientes na remoção destes nutrientes, evidenciando assim a eficácia da sequência do tratamento proposto.

PALAVRAS-CHAVE: Reator UASB, CONAMA, poluentes, biogás, energia.

PROPOSAL FOR SIZING A TREATMENT PLANT FOR SWINE WASTEWATER

ABSTRACT: A water scarcity is one of the major issues of our time; its impacts on production systems are noticeable, and this situation has been discussed at a global

level. One influencer in the issue of water demand is the production system; large-scale intensive production poses serious challenges, such as the treatment of animal waste, which can represent a direct risk to the environment and health. Therefore, the aim of this study was to propose the dimensioning of an efficient system for treating industrial effluents from pig farming, integrating physical/chemical treatment processes and biogas production from methane (CH_4). The goal is to meet legal standards for effluent discharge into water bodies and mitigate greenhouse gas emissions. The proposed treatment was subdivided into five unit processes: screening, aerated grit chamber, Parshall flume, UASB reactor, and nitrification/denitrification ponds. The treatments showed efficiency in reducing Biochemical Oxygen Demand (BOD) and Chemical Oxygen Demand (COD) by 69% and 61.3%, respectively, as well as reducing Total Nitrogen (TN) and Total Phosphorus (TP) by 90% and 75%, respectively. This indicates that the chosen unit processes were effective in removing these nutrients, demonstrating the effectiveness of the proposed treatment sequence.

KEYWORDS: UASB reactor, CONAMA, pollutants, biogas, energy.

1 | INTRODUÇÃO

A prática da produção pecuária intensiva exerce um impacto ambiental significativo devido à emissão de gases do efeito estufa (GEE), dentre estes o metano (CH_4) e óxido nítrico (N_2O), além do excesso de esterco que requer tratamento eficiente. As águas residuárias, provenientes da suinocultura, contêm impurezas, poluentes e contaminantes que podem causar danos aos ecossistemas e à saúde humana quando são lançadas diretamente no meio ambiente sem tratamento (WU; CHENG; CHANG, 2020).

Associado a tal ocasião, surgem preocupações sobre a disponibilidade limitada de recursos naturais para atender às crescentes necessidades das sociedades. A escassez de água é uma realidade presente em quase todos os países do mundo. Mesmo aqueles com abundância hídrica enfrentam desafios devido à poluição dos recursos hídricos, causada pela descarga excessiva destas águas residuais, resultando na deterioração da qualidade da água e danos aos ecossistemas aquáticos (CASTRO et al., 2020; KUMAR et al., 2018).

O tratamento de águas residuárias emerge como uma alternativa à problemática do lançamento inadequado destas águas em corpos hídricos e de sua escassez. A escolha do tratamento dependerá das características específicas da fonte do efluente e dos padrões de qualidade exigidos para sua destinação final, onde são empregadas diversas tecnologias, como gradeamento, sedimentação, processos biológicos, químicos entre outros, os quais podem ser adaptados e combinados de acordo com a necessidade específica de cada efluente (DENG et al., 2023; JOÃO et al., 2018).

A água residuária proveniente dos dejetos da suinocultura possuem concentrações elevadas de Demanda Química de Oxigênio (DQO), Nitrogênio Total (Nt), Potássio (K) e Fósforo Total (Pt) (D'AQUINO; DE MELLO; JÚNIOR, 2019; WU; CHENG; CHANG, 2020). Dados do MAPA (2016), caracterizaram os dejetos produzidos da suinocultura na fase de crescimento, estes apresentaram as seguintes concentrações mínimas destes nutrientes:

DQO 11.530 mg/L, Nt 1.660 mg/L, Pt 320 mg/L e K 260 mg/L, Sólidos Totais (ST) 12.697 mg/L e Sólidos Voláteis (SV) 8.429 mg/L. Tais índices demonstram que a água residuária da suinocultura não atende os padrões mínimos exigidos na CONAMA 430/2011 para lançamento de efluentes em corpos hídricos (BRASIL, 2011).

O tratamento apropriado depende das características do efluente e do ambiente receptor. As operações em estações de tratamento podem se subdividir em: tratamento preliminar, primário, secundário e terciário (caso exija maior eficiência). Essas etapas são executadas em processos unitários.

Como tratamento preliminar sugere-se os processos de gradeamento, desarenadores, estes podendo ser complementados por peneiras e decantadores, para remover eficientemente os sólidos grosseiros. Para remoção de sólidos em suspensão e matéria orgânica, ou tratamento primário pode-se utilizar da coagulação, floculação, flotação e decantação (METCALF E EDDY, 2016; NUNES, 2008).

Como tratamento secundário, a fim de se remover compostos e matéria orgânica biodegradável solúvel, aplica-se os processos biológicos como Lodos Ativos Lagoas, Filtros Biológicos etc. Por fim caso exija um grau maior de desinfecção, remoção de nutrientes ou metais pesados, opta-se por utilizar o tratamento terciário.

Outro fator que norteia o tratamento dessa água residuária consiste na sua potencialidade energética. As emissões de GEE podem ser reduzidas no tratamento da água residuária da suinocultura ao se aplicar processo de digestão anaeróbica, certo que elas possuem potencial na conversão de resíduos orgânicos em biogás. Ademais o tratamento de dejetos suínos por digestão anaeróbica poderia garantir os menores impactos ambientais líquidos ao utilizar biogás para produção de eletricidade (NATIVIDAD PÉREZ-CAMACHO; CURRY; CROMIE, 2019; RAMIREZ-ISLAS et al., 2020).

Diante desses aspectos, o tratamento de água residuária envolve diversas etapas e tecnologias que funcionam em conjunto para transformar águas poluídas em efluentes tratados, com qualidade dentro dos padrões regulatórios e ambientais, como dispõe as **resoluções** do CONAMA 357/2005 e 430/2011, bem como na conversão energética por meio da matéria orgânica disponível (BRASIL, 2005; BRASIL, 2011).

Portanto, o tratamento de águas residuárias da suinocultura compreende-se como uma etapa importante no ciclo da água, desempenhando um papel vital na conservação dos recursos hídricos e na proteção da saúde pública e do meio ambiente. À medida que o crescimento populacional e a urbanização se fazem notar, a pressão sobre os recursos hídricos também se intensifica, com isso se faz necessário a tratamento de efluentes para a manutenção desses recursos.

2 | OBJETIVO

Desenvolver e dimensionar um sistema eficiente de tratamento de águas residuárias

da suinocultura que integre processos de tratamento físico/químico e produção de biogás a partir do metano (CH₄), visando o atendimento dos padrões legais de lançamento de efluentes em corpos hídricos e a mitigação da emissão de (GEE).

3 I MATERIAL E MÉTODO

Para dimensionamento dos processos unitários, será considerado os seguintes dados da tabela 1, abaixo.

INDICADOR	QUANTIDADE	UNIDADE DE MEDIDA	
Quantidade de animais	15000	animais	
Per Capita média	45	L/animaldia	
Vazão diária	675	m ³ /dia	
DQO	12000	mg/L	
DBO	4000	mg/L	
Nt	1800	mg/L	
Pt	150	mg/L	
EQUALIZAÇÃO			
VAZÃO EQUALIZAÇÃO	168,75	m ³ /dia	
CARACTERÍSTICA DA VAZÃO	VAZÃO (m ³ /h)	VAZÃO (L/s)	VAZÃO (m ³ /s)
Vazão mínima	56,25	15,62	0,0156
Vazão média	112,5	31,25	0,0312
Vazão máxima	168,75	46,87	0,0468

Tabela 1: Ciclo Completo da Suinocultura: dados iniciais de projeto

Fonte: Os autores (2023)

Para dimensionamento das etapas de tratamento foram utilizadas equações dos autores: Ferraz e Evódio (1980); Nunes (2010); Nunes (2008); Metcalf e Eddy (2016) e Kunn, Steinmetz, Amaral (2019).

3.1 GRADEAMENTO

Primeira etapa preliminar do tratamento de efluentes escolhida para o desenvolvimento deste projeto foi o gradeamento. Sua principal função é capturar e eliminar resíduos sólidos grosseiros, como galhos, plásticos e outros materiais em suspensão, que poderiam causar obstruções nas tubulações e prejudicar o processo de tratamento.

Memorial de Equação e Dimensionamento da Grade

- Equação da eficiência de remoção da grade – (NUNES, 2010).

$$E = \frac{a}{t+a} \quad \text{Equação 1}$$

Legenda: a: espaçamento entre barras – mm; t: espessura da barra – mm.

- Equação da área útil da grade.

$$Au = \frac{Qmáx}{V} \quad \text{Equação 2}$$

Legenda: Qmáx: vazão máxima de projeto – m³/s; V: velocidade de escoamento do efluente m/s.

Será adotado conforme proposto por Nunes (2010) a velocidade de escoamento de 0,6 m/s, valor usual para projetos.

- Equação da área total da grade – (NUNES, 2010).

$$At = \frac{Au}{E} \quad \text{Equação 3}$$

Legenda: Au: área útil da grade – m²;

E: eficiência de remoção – %.

- Equação da largura do canal em que a grade estará acoplada – Nunes (2010).

$$b = \frac{At}{h * máx} \quad \text{Equação 4}$$

Legenda: At: área total da grade – m²; h máx: altura máxima de lâmina de água que antecede o rebaixo (Calha Parshal)

- Equação da velocidade máxima – (NUNES, 2010).

$$Vmáx = \frac{Qmáx}{Au} \quad \text{Equação 5}$$

Legenda: Qmáx: vazão máxima de projeto – m³/s; Au: área útil da grade – m².

- Equação da Perda de Carga – (NUNES, 2010).

$$hf = 1,43 * \frac{V^2 - v^2}{2g} \quad \text{Equação 6}$$

Legenda: V²: velocidade de escoamento do efluente entre as barras – m/s; v²: velocidade de escoamento do efluente a montante da grade – m/s; g: aceleração da gravidade – 9,8 m/s².

Verificando a equação 6, precisa-se encontrar as duas velocidades, sendo elas a velocidade de escoamento do efluente entre as barras (V) e velocidade escoamento a montante da grade (v). As equações 7 e 8 permite encontrar tais velocidades.

Considerando que possa haver uma obstrução de 50% na grade e relacionando a V_0 que é a velocidade de escoamento de projeto (0,6 m/s), adotada de acordo com Nunes (2010), tem-se que: $V = 2 \times V_0$, logo:

$$V = 2 * V_0 \quad \text{Equação 7}$$

- Equação da velocidade de escoamento do efluente a montante da grade.

$$v = V_0 * E \quad \text{Equação 8}$$

Após encontrar a velocidade de escoamento do efluente entre as barras – V (equação 7) e a velocidade escoamento a montante da grade – v (equação 8), procede-se o cálculo da perda de carga (equação 6), substituindo os valores encontrados, e em seguida dimensiona-se o comprimento da grade (equação 9).

- Equação do comprimento de grade – (NUNES, 2010).

$$x = \frac{hv}{\sin \sin 45^\circ} \quad \text{Equação 9}$$

Onde, $hv = h \text{ máx} + hf + D + h \text{ prof}$, no qual ($D =$ diâmetro da tubulação que transporta o efluente até a grade, adotado para este dimensionamento 0,25) e ($h \text{ prof} =$ profundidade, adotada para este dimensionamento 0,10). Logo calcula-se:

$$hv = h \text{ máx} + hf + 0,25 + 0,10 \quad \text{Equação 10}$$

- Equação da quantidade de barras – (NUNES, 2010).

$$n = \frac{b}{a+t} \quad \text{Equação 11}$$

Legenda:

b : largura do canal – mm; t : espessura da barra de 6,35mm; a : espaçamento entre barras de 20 mm.

- Equação do espaçamento entre barras e a lateral do canal do projeto (PARA 12 BARRAS) – (NUNES, 2010).

$$e = b - [n * t + (n - 1) * a] \quad \text{Equação 12}$$

Legenda: b : largura do canal – mm; t : espessura da barra de 6,35mm; n : número de barras; a : espaçamento entre barras de 20 mm.

3.2 CAIXA DE AREIA AERADA

A etapa de desarenação foi dimensionada conforme equações de 13 a 18, a fim de se remover partículas sólidas, como areia, argila e silte, presentes no efluente.

Memorial de cálculo e dimensionamento Caixa de Areia Aerada

- Equação da vazão de pico, com caixa de areia com vazão diária – (METCALF E EDDY, 2016).

$$Q_{pic} = Q_{máx} \times \text{Fator de Pico} (2,75) \quad \text{Equação 13}$$

- Equação do volume da caixa de areia, com duas câmaras de retenção e período de retenção média de 3 minutos – (METCALF E EDDY, 2016).

$$V_{caixa} = 0,5 \times Q_{pic} \times t \quad \text{Equação 14}$$

Legenda: Q_{pic} : vazão de pico – m^3/s ; t : tempo de retenção média – s.

- Equação do comprimento da caixa de areia. As dimensões adotadas foram com proporção de largura/profundidade de 1:1 com profundidade de 2 m. Logo a largura é de 2 m – (METCALF E EDDY, 2016).

$$B = \frac{V_{caixa}}{\text{largura} \times \text{profundidade}} \quad \text{Equação 15}$$

- Equação de tempo de retenção médio em cada caixa de areia – (METCALF E EDDY, 2016).

$$t = \frac{V_{caixa}}{\frac{Q_{máx}}{2}} \quad \text{Equação 16}$$

Legenda: V_{caixa} : Volume da caixa – m^3 ; $Q_{máx}$: vazão máxima de projeto – m^3/s .

- Equação para dimensionar quantidade de ar necessária, assumindo que seja inserido $0,3 m^3/min.m$ de comprimento de ar – (METCALF E EDDY, 2016).

$$AR = B \times \text{Ar inserido} \quad \text{Equação 17}$$

Legenda: B : comprimento da caixa – m.

- Equação para dimensionar o volume areia diário. Assumindo fator de disposição de areia de $0,05 m^3/10^3 m^3$ – (METCALF E EDDY, 2016).

$$V_{areia} = Q_{máx} \times 86400 \frac{s}{dia} \times 0,05 m^3/10^3 \quad \text{Equação 18}$$

3.3 MEDIDOR DE VAZÃO – CALHA PARSHAL

O Medidor de Vazão Calha Parshal (MVCP) consistirá numa estrutura com uma calha de formato específico, incluindo seções convergente, garganta e divergente, permitindo controlar o fluxo e medir a altura da água no canal.

Memorial de cálculo e dimensionamento do MVCP.

- Equações das alturas das lâminas de água mínima, média e máxima.

$$H_{mín} = \left(\frac{Q_{mín}}{k} \right)^{\frac{1}{n}} \quad \text{Equação 19}$$

$$H_{méd} = \left(\frac{Q_{méd}}{k} \right)^{\frac{1}{n}} \quad \text{Equação 20}$$

$$H_{máx} = \left(\frac{Q_{máx}}{k} \right)^{\frac{1}{n}} \quad \text{Equação 21}$$

Legenda: H: altura da lâmina – m; Q_{mín}: vazão mínima do projeto – m³/s; Q_{méd}: vazão média do projeto – m³/s; Q_{máx}: vazão máxima do projeto – m³/s; K: constante de Parshal, conforme largura da garganta (W), tabela 3; n: constante de Parshal, conforme largura da garganta (W), tabela 3.

Os valores de n e K por base em W=3", respectivamente 1,457 e 0,176 (NUNES, 2010).

- Cálculo do Rebaixo do "MVCP 3".

$$Z = \frac{Q_{máx} * H_{mín} - Q_{mín} * H_{máx}}{Q_{máx} - Q_{mín}} \quad \text{Equação 22}$$

Legenda: H_{mín}: altura da lâmina de água mínima – m; H_{máx}: altura da lâmina de água máxima – m; Q_{mín}: vazão mínima do projeto – m³/s; Q_{máx}: vazão máxima do projeto – m³/s.

- Equações das alturas das lâminas de água mínima, média e máxima que antecede o rebaixo (NUNES, 2010).

$$h_{mín} = H_{mín} - Z \quad \text{Equação 23}$$

$$h_{méd} = H_{méd} - Z \quad \text{Equação 24}$$

$$h_{máx} = H_{máx} - Z \quad \text{Equação 25}$$

Onde: H_{mín}: altura da lâmina de água mínima – m; H_{méd}: altura da lâmina de água média – m; H_{máx}: altura da lâmina de água máxima – m; Z: rebaixo – m.

3.4 TANQUE DE EQUALIZAÇÃO

O tanque de equalização foi projetado para temporariamente armazenar e equalizar os efluentes antes de seguirem para etapa biológica de tratamento. Ele regulariza as variações de vazão e composição dos efluentes causadas por atividades sazonais ou horários de produção, evitando sobrecargas nos estágios subsequentes do tratamento.

Memorial de cálculo e dimensionamento do Tanque de Equalização.

- Equação do Volume do Tanque Equalização – (NUNES, 2008).

$$V_{eq} = (Q_e - Q_s) * t \quad \text{Equação 26}$$

- Primeiramente é necessário calcular a vazão de saída do Tanque de Equalização – Q_s – (NUNES, 2010).

$$Q_s = \frac{Q_e \times t}{T_{eq}} \quad \text{Equação 27}$$

Legenda: V_{eq} : volume do tanque de equalização – m^3 ; Q_e : vazão de entrada – m^3/h ; Q_s : vazão de saída – m^3/h ; T_{eq} : tempo de retenção e equalização – h; t : tempo de funcionamento da ETE.

Em seguida foram calculados: tempo de retenção hidráulica (Equação 28), dimensionamento do tanque (Equações 29 e 30) e a potência do agitador mecânico (Equações 31 e 32) – (NUNES, 2008).

$$t = \frac{V_{eq}}{Q_e} \quad \text{Equação 28}$$

$$L^2 = \frac{Vt}{H} \quad \text{Equação 29}$$

$$V_{tot} = V_{eq} + [(L^2) * h_{min}] \quad \text{Equação 30}$$

$$P = \frac{Dp * V_{tot}}{745} \quad \text{Equação 31}$$

$$Pn = \frac{1,50 * P}{0,8} \quad \text{Equação 32}$$

Onde: V_{eq} : volume do tanque de equalização – m^3 ; Q_e : vazão de entrada – m^3/h ; L : largura de seção quadrada – m; H : profundidade adotada – 2,0 m; h_{min} : profundidade mínima – 1,0 m; V_{tot} : volume total do Tanque de Equalização – m^3 ; Dp : densidade de potência adotada – 10 W/ m^3 ; Pn : potência nominal do agitador – HP.

3.5 REATOR UASB

Para o dimensionamento do reator UASB, foi considerado a velocidade ascensional de 1 m/h, com altura do líquido no biodigestor de 6 m, e altura do coletor de gás de no mínimo 25% da altura do biodigestor, conforme recomendações da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) – Suínos e Aves.

Memorial de cálculo e dimensionamento do Reator UASB.

As equações 33 a 41 são propostas por Kunn, Steinmetz, Amaral (2019).

- Equação do volume do reator a partir da Carga Orgânica Volumétrica

$$V = (Q \times DQO) / COV \quad \text{Equação 33}$$

- Equação do Tempo de Retenção Hidráulica.

$$TRH = V / Q \quad \text{Equação 34}$$

- Equação da área e comprimento do reator.

$$A = V/HL$$

Equação 35

$$L^2 = A/2$$

Equação 36

- Equação da altura total do reator.

$$HT = HL + HG$$

Equação 37

- Equação da eficiência do tratamento da DQO.

$$EF = 100 \times (1 - 0,68 \times t^{-0,35})$$

Equação 38

- Equação da estimativa de saída de DQO.

$$DQO_{SAÍDA} = DQO_{ENTRADA} - (EF \times DQO_{ENTRADA})/100$$

Equação 39

- Equação da eficiência do tratamento da DBO.

$$EF = 100 \times (1 - 0,70 \times t^{-0,5})$$

Equação 40

- Equação da estimativa de saída de DBO.

$$DBO_{SAÍDA} = DBO_{ENTRADA} - (EF \times DBO_{ENTRADA})/100$$

Equação 41

Legenda: Q: vazão diária – m³/d; COV: carga orgânica volumétrica adotada – 2,5 DQO_{sol} m³/dia; V: volume do reator – m³; A: área do reator – m²; L: largura de seção quadrada – m; HL: altura do biodigestor com base no volume de **líquido no** reator adotado – 6,0 m; HG: altura do coletor de gás – 25 % de HL; HT: altura total do reator – m; t: tempo de retenção hidráulica – dias;

Produção de biogás.

De acordo com metodologia da EMBRAPA – Suínos e Aves, estima-se que, para cada 1 m³ do reator UASB gera-se de 0,5 a 1,6 m³ de biogás, com média de 1 m³ de biogás, este por sua vez é composto em média por 65% de CH₄ (KUNZ; HIGARASHI; OLIVEIRA, 2014; NETO et al., 2015). Logo a produção de biogás e de metano neste sistema são calculados a partir das equações 42 e 43.

- Equação estimativa da produção de biogás.

$$Q_{BIOGÁS} = \frac{(1 \text{ m}^3_{BIOGÁS})}{\text{dia}} \times V$$

Equação 42

- Equação da estimativa produção de metano.

$$Q_{CH_4} = Q_{BIOGÁS} \times 0,65$$

Equação 43

Legenda: $Q_{\text{BIOGÁS}}$: vazão diária de biogás – m^3/d ; V : volume do reator – m^3 ; COV : carga orgânica volumétrica atotada – $2,5 \text{ DQO}_{\text{sol}} \text{ m}^3/\text{dia}$; Q_{CH_4} : vazão diária de metano – m^3/d .

Memorial de cálculo do dimensionamento dos leitos de secagem de lodo do reator.

Para calcular a área necessária para os leitos de secagem foi adotado como coeficiente de produção do lodo $0,15 \text{ KgSS/KgDBO}$ e uma taxa de aplicação de sólidos = $T_{\text{LEITO}} 15 \text{ KgSST}$, conforme metodologia de Nunes (2010).

- Equação da produção de sólidos no sistema.

$$P_{\text{Lodo}} = Y \times \text{CO}_{\text{DQO}} \quad \text{Equação 44}$$

- Equação do Volume de lodo produzido diariamente no reator UASB.

$$V_{\text{Lodo}} = \frac{P_{\text{Lodo}}}{V \times C_{\text{Lodo}}} \quad \text{Equação 45}$$

- Equação de massa de lodo retirada do reator UASB.

$$M_C = P_{\text{Lodo}} \times t_c \quad \text{Equação 46}$$

- Equação do volume retirado do reator UASB.

$$V_C = V_{\text{Lodo}} \times t_{\text{REATOR}} \quad \text{Equação 47}$$

- Equação da área necessária de leitos de secagem.

$$A_{\text{LEITO}} = M_C / T_{\text{LEITO}} \quad \text{Equação 48}$$

- Equação da altura da lâmina de lodo.

$$H_{\text{Lodo}} = V_C \div A_{\text{Leito}} \quad \text{Equação 49}$$

Legenda: Y : coeficiente de produção de lodo – m^3/d ; V : volume do reator – m^3 ; V_C : volume de lodo retirado do reator UASB – m^3 ; CO_{DQO} : carga orgânica da DQO – $\text{Kg DBO}/\text{dia}$; C_{Lodo} : coeficiente de produção de lodo – KgSS/KgDBO ; M_C : massa de lodo retirada do reator UASB – KgSST ; t_c : tempo secagem – dias; t_{REATOR} : período de tempo entre as remoções de lodo do reator UASB – dias; T_{LEITO} : taxa de aplicação de sólidos – KgSST ; A_{LEITO} : área do leito de secagem – m^2 ; H_{Lodo} : altura da lâmina de lodo – m ou cm .

3.6 NITRIFICAÇÃO E DESNITRIFICAÇÃO

A nitrificação convencional é uma reação microbiana que utiliza oxigênio para oxidar

o nitrogênio. Por sua vez, a desnitrificação, parte do ciclo do nitrogênio, converte nitrato (NO₃) em nitrogênio molecular (N₂) em ambientes sem oxigênio.

Para aplicação deste método foi preciso levar em consideração tais aspectos, segundo (KUNN, STEINMETZ, DO AMARAL, 2019): A proporção de recirculação do lodo foi estabelecida em 5,0; a carga de NTK não foi permitida exceder 0,35 Kg m³/d; o reator de desnitrificação foi dimensionado com 20% de redução em relação ao reator de nitrificação. Foi adotada a taxa de escoamento superficial (TES) de 4 m³/m²d, com um tempo máximo de retenção hidráulica (TRH) de 1 hora e a vazão de projeto foi de 675 m³/d.

Memorial de cálculo do dimensionamento dos sistemas de nitrificação e desnitrificação para remoção de nitrogênio e fósforo.

As equações 50 a 58 são propostas por Kunn, Steinmetz, Amaral (2019).

- Equação de volume do reator de nitrificação.

$$V_{NIT} = \frac{Nt \times Q}{CV(NTK)} \quad \text{Equação 50}$$

- Equação do volume reator de desnitrificação.

$$V_{DESNIT} = V_{NIT} - (V_{NIT} \times 0,2) \quad \text{Equação 51}$$

- Equação da área superficial do decantador de lodo.

$$S_{DEC} = \frac{Q}{TES} \quad \text{Equação 52}$$

- Equação do volume do decantador.

$$V_{DEC} = Q \times TRH \quad \text{Equação 53}$$

Como o volume do decantador de desnitrificação foi menor que 5% do volume do reator de nitrificação, por motivo de segurança torna-se necessário recalculá-lo a partir da equação 54.

- Equação do volume do decantador.

$$V_{DEC} = V_{NIT} \times 0,05 \quad \text{Equação 54}$$

- Equação da altura do decantador.

$$h_{DEC} = V_{DEC}/S_{DEC} \quad \text{Equação 55}$$

- Equação do raio do decantador.

$$r = \sqrt[2]{(S_{DEC}/\pi)} \quad \text{Equação 56}$$

A remoção de Nt e de Pt fica em torno de 90% e 75% respectivamente (KUNN,

STEINMETZ, DO AMARAL, 2019). Dessa forma por meio da equação 57 é possível estimar a carga final desses poluentes.

- Equação da estimativa de saída de Nt e Pt.

$$S = S_o - (EF \times S_o)/100$$

Equação 57

Legenda: V_{NIT} : volume do reator de nitrificação – m³; $V_{DES\text{NIT}}$: volume do reator de nitrificação – m³; V_{DEC} : volume do decantador – m³; Nt: concentração de Nitrogênio Total – mg/L; CV: carga orgânica volumétrica – Kg m³/d; S_{DEC} : área superficial do decantador – m²; h_{DEC} : altura do decantador – m; Q: vazão diária– m³/d; TES: taxa de escoamento superficial – m³/m²d; TRH: tempo de retenção hidráulica – h.

3.7 PRODUÇÃO DE ENERGIA A PARTIR DO METANO

Para se estimar a produção de energia a partir do metano, foi utilizada a equação 58, tendo como estimativa de Ferraz e Evódio (1980), que 1 m³ de biogás gera 1,43 KWh de energia.

- Equação da estimativa de produção de energia.

$$E = 1,43 \frac{KWh}{m^3} \times Q_{CH_4}$$

Equação 58

Legenda: E: estimativa de produção de energia – KWh/dia.

4 | RESULTADOS

4.1 GRADEAMENTO

Conforme a norma NBR 12209:2011 (tabela 2), as grades são classificadas com base no espaçamento entre as barras, o qual é restrito a uma faixa de 10 a 100 mm, visando assegurar a adequada manutenção sistema e escolher o espaçamento mais adequado para o tratamento.

Nunes (2008) sugere que é essencial adotar uma velocidade específica para o efluente em tratamento, situando-se entre 0,4 e 0,75 m/s. Outro ponto importante é a inclinação das grades, que deve variar de 30° a 60° graus, tal inclinação tem como premissa a escolha do tipo de grade. Essa vantagem facilita a remoção dos sólidos retidos e otimiza sua manutenção.

CLASSIFICAÇÃO DA GRADE	ESPAÇAMENTO (mm)	SEÇÃO DA BARRA (mm)	INCLINAÇÃO (°)
Fina	10 a 20	6,35x38,10 7,94x38,10 9,52x38,10	30 a 45
Média	20 a 40	7,94x50,8 9,52x38,10 9,52x50,8	30 a 45
Grossa	40 a 100	9,52x50,8 9,52x63,5 12,7x38,10 12,7x50,8	45 a 60

Tabela 2: Espaçamento entre barras

Fonte: ABNT NBR 12209:2011 e Nunes (2008) – adaptado pelos autores (2023)

As especificações do gradeamento inicialmente adotadas estão dispostas na tabela 3:

TIPO DE GRADE ADOTADA NO PROJETO	ESPAÇAMENTO (mm)	SEÇÃO DA BARRA (mm)	INCLINAÇÃO (°)
Grade Fina	20	6,35x38,10	45

Tabela 3: Especificações da grade adotada

Fonte: ABNT NBR 12209:2011 e Nunes (2008) – adaptado pelos autores (2023)

A partir dessas especificações foi possível observar o seguinte dimensionamento disposto na tabela 4.

PARÂMETRO	VALOR
Eficiência de remoção	75 %
Área útil da grade	0,07 m ²
Área total da grade	0,1 m ²
Largura do canal	317,4 mm
Velocidade máxima	0,6 m/s
Velocidade de escoamento entre barras	1,2 m/s
Velocidade de escoamento do efluente a montante da grade	0,4 m/s
Perda de carga	0,09 m
Comprimento da grade	1,081 m ou 1081 mm
Quantidade de barras	12
Espaçamento entre barras e a lateral do canal do projeto	20 mm

Tabela 4: Dimensionamento da grade

Abaixo mostra o projeto da grade a ser adotada neste tratamento (figura 1).

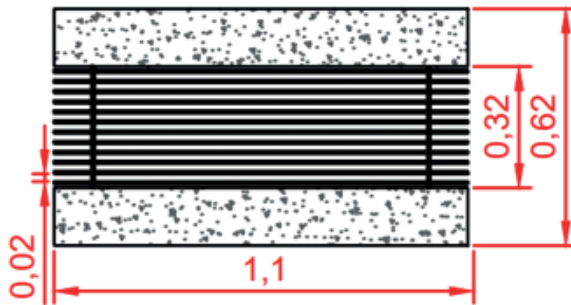


Figura 1: Gradeamento vista superior

4.2 DESARENADOR AERADO

As velocidades mínimas e máximas das caixas de areia são determinadas pela ABNT NBR 12209:2011 e Metcalf e Eddy (2016). Esses valores são essenciais para garantir o funcionamento adequado e eficiente desse estágio do tratamento de efluentes.

Seu dimensionamento apresentou os resultados que estão dispostos na tabela 5.

PARÂMETRO	VALOR
Vazão de pico	0,1289 m ³ /s
Volume de cada caixa de areia	11,6 m ³
Comprimento da caixa de areia	2,9 m
Profundidade da caixa de areia	2 m
Tempo de retenção em cada caixa de areia	8,2 min
Ar requerido para a caixa de areia	0,9 m ³ /min
Quantidade de areia depositada no dia	0,2 m ³ /dia

Tabela 5: Dimensionamento do desarenador aerado

Abaixo mostra o projeto do desarenador aerado deste tratamento (figura 2).

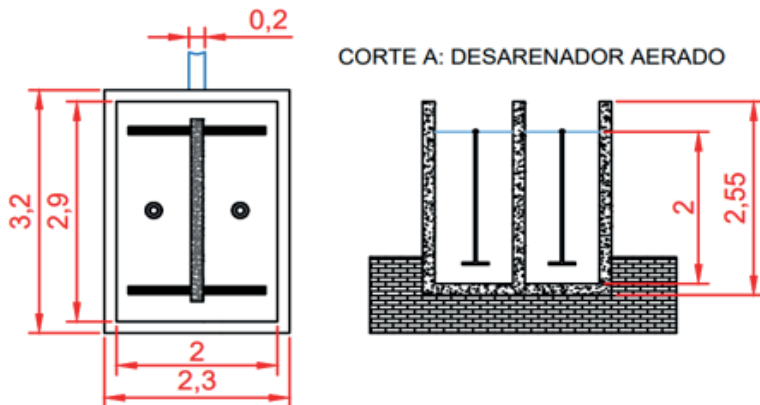


Figura 2: Desarenador aerado

Esse processo unitário é projetado de forma horizontal, seguindo um grau específico, e desempenham um papel fundamental na estação de tratamento, prevenindo a adesão de partículas grosseiras e matérias orgânicas nas canalizações, evitando obstruções indesejadas (CAVALCANTI, 2005; NUNES, 2008).

4.3 MEDIDOR DE VAZÃO – CALHA PARSHAL

A partir da definição das vazões mínima (15,625 L/s), média (31,25 L/s) e máxima (46,875 L/s), o MVCP 3, com capacidade de vazão de 0,55 L/s a 55,5 L/s da empresa Águas Claras, foi escolhido.

Mesmo sendo produzido por uma empresa, seu dimensionamento necessita estar incluso no projeto (tabela 6).

PARÂMETRO	VALOR
Altura mínima de lâmina de água	0,2 m
Altura média de lâmina de água	0,3 m
Altura máxima de lâmina de água	0,4 m
Rebaixo	0,1 m
Altura mínima da lâmina de água que antecede o rebaixo	0,1 m
Altura média da lâmina de água que antecede o rebaixo	0,2 m
Altura máxima da lâmina de água que antecede o rebaixo	0,3 m

Tabela 6: Dimensionamento do MVCP

Abaixo, é apresentado uma representação esquemática deste MVCP (figura 3).

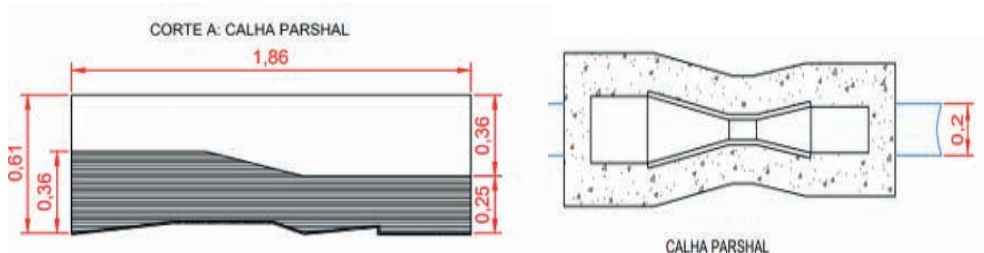


Figura 3: MVCP – Medidor de Vazão Calha Parshal

O Medidor de Vazão – Calha Parshall é uma estrutura de medição que possui uma forma específica, compreendendo uma seção convergente, uma garganta e uma seção divergente. Essa configuração geométrica especial permite controlar o fluxo e medir a altura da água no canal (ASSIS; ARMELIN, 2021). Sendo assim de extrema importância a realização de seu dimensionamento na etapa preliminar do projeto.

4.4 TANQUE DE EQUALIZAÇÃO

A equalização desempenha um papel crucial com duas funções essenciais: uniformizar as cargas e estabilizar as vazões dentro da estação, visando mitigar esses impactos (Nunes, 2008). Seu dimensionamento está disposto na tabela 7 a seguir.

PARÂMETRO	VALOR
Vazão de saída	28,1 m ³ /s
Volume do tanque de equalização	562,5 m ³
Tempo de retenção hidráulica	3,3 h
Largura do tanque	16,77 m ou 1677 mm
Volume total do tanque de equalização	843,7 m ³
Potência do agitador mecânico	21,2 HP

Tabela 7: Dimensionamento do tanque de equalização

O projeto do tanque de equalização é representado por meio da figura 4.

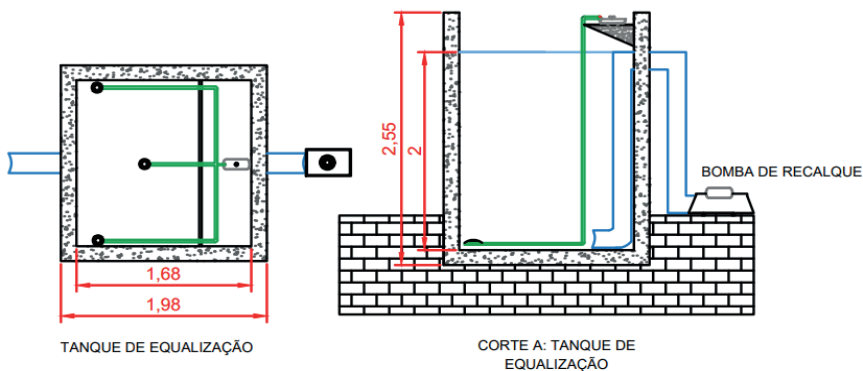


Figura 4: Tanque de Equalização

4.5 REATOR UASB

O reator UASB foi o método de tratamento escolhido para se recuperar e converter o carbono orgânico – CO em Metano – CH_4 , a fim de se produzir o biogás. O biogás é composto principalmente por metano e dióxido de carbono e pode ser utilizado como fonte de energia renovável para a própria agroindústria ou até mesmo vendido à rede elétrica. Além disso, a produção de biogás reduz as emissões de gases de efeito estufa, promove uma gestão sustentável de resíduos. Esse processo unitário é caracterizado por ter um fluxo ascendente do efluente, permitindo a formação de um “manto de lodo” onde os microrganismos se acumulam e degradam a matéria orgânica (KUNN, STEINMETZ, DO AMARAL, 2019), vide Tabela 8.

PARÂMETRO	VALOR
Volume do reator a partir da COV e altura de líquido adotado (HL)	3240 m ³
Volume total do reator a partir da HL e altura do coletor de gás (HG)	4055 m ³
Tempo de retenção hidráulica	5 dias ou 120 horas
Área do reator	540 m ²
Largura do reator UASB	16,43 m
Altura do reator UASB adotado (HL)	6
Altura total do reator UASB (HL+HG)	7,5 m
Eficiência e estimativa de DQO final	61,28 % - 4646,4 mg/L
Eficiência e estimativa de DBO final	68,69 % - 1252,4 mg/L
Produção volumétrica de biogás	3240 m ³ /dia
Produção volumétrica de CH_4	2106 m ³ /dia
Produção de sólidos no sistema	1.215 KgSST/dia
Volume de lodo produzido diariamente no reator UASB	2,5 m ³ /dia
Volume de lodo retirado do reator UASB	62,5 m ³

Massa de lodo retirada do reator UASB	24.300 KgSST
Taxa de aplicação de sólidos	15 KgSST
Área necessária para os leitos de secagem	1.620 m ²
Altura da lâmina de lodo	4 cm

Tabela 8: Dimensionamento do reator UASB

Pela figura 5 é possível verificar projeto do reator UASB junto aos leitos de secagem.

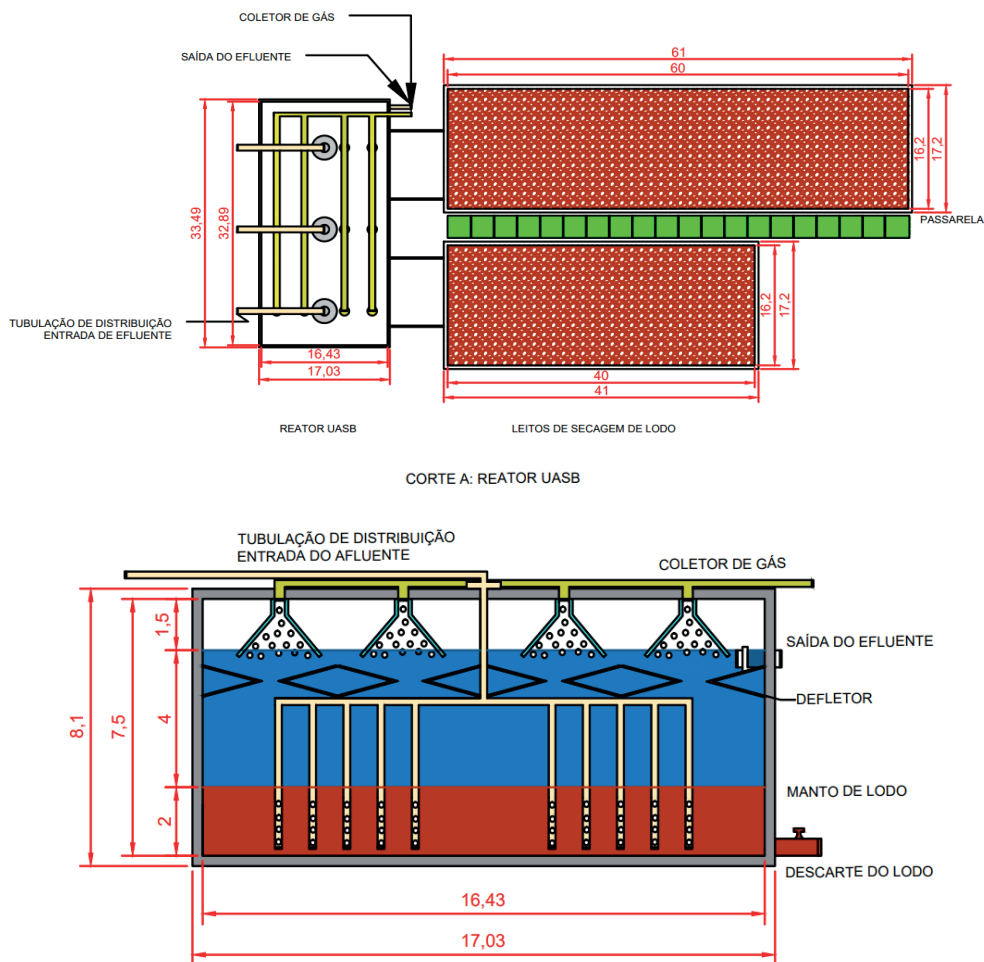


Figura 5: Reator UASB e Leitos de Secagem

De acordo com o apresentado nos resultados, a eficiência de remoção de DQO e DBO foram de 61,28 % e 68,69 %. A eficiência na DQO aponta que embora o sistema tenha reduzido grande parte de sua concentração, ainda apresenta uma elevada quantidade de poluentes neste efluente. Contudo, as resoluções CONAMA 357/2005 e 430/2011 não

apresentam um limite específico para este parâmetro, no qual compete aos órgãos locais essa verificação. Já no que diz respeito a carga de DBO final, de acordo com a resolução do CONAMA 430/2011 o efluente apresenta padrões para lançamento, uma vez que ela permite a disposição de carga de DBO maior que 120 mg/L caso o sistema de tratamento apresente uma eficiência de remoção superior a 60 % (BRASIL, 2005; BRASIL, 2011).

4.6 NITRIFICAÇÃO DE DESNITRIFICAÇÃO

Nesta etapa da nitrificação/desnitrificação o principal objetivo é a remoção de nitrogênio. Entretanto de acordo com Kunn, Steinmetz, Amaral (2019) nesse sistema de nitrificação/desnitrificação pode remover cerca de 75% do fósforo presente.

O dimensionamento deste processo unitário está especificado na tabela 9.

PARÂMETRO	VALOR
Volume do reator de nitrificação	3278,6 m ³
Volume do reator de desnitrificação	2322,9 m ³
Área superficial do decantador	168,8 m ²
Volume do decantador considerando 5% do volume do tanque de nitrificação	84,375 m ³
Altura do decantador	1 m
Diâmetro do decantador	14,7 m
Estimativa de Nt final	120 mg/L
Eficiência e estimativa de Pt final	37,5 mg/L

Tabela 9: Dimensionamento das lagoas de nitrificação/desnitrificação

Abaixo na figura 6 a representação esquemática do sistema de lagoas de nitrificação e desnitrificação.

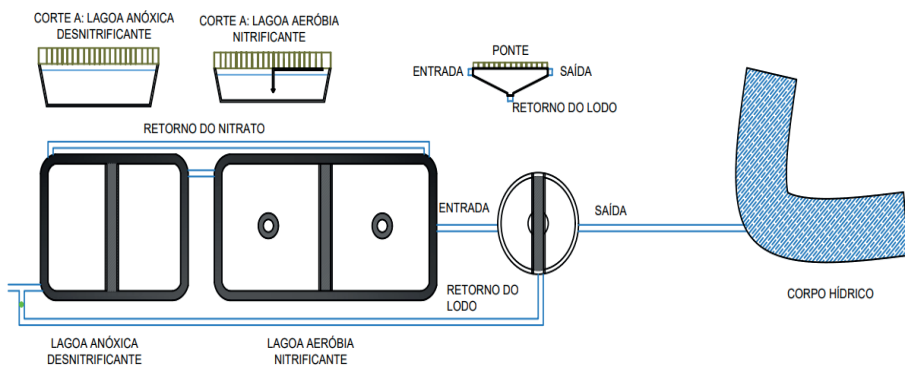


Figura 6: lagoas de nitrificação e desnitrificação

De acordo com o sistema global de tratamento as saídas de Nt e Pt foram de 120 mg/L

e 37,5 mg/L, apresentado uma redução de 90 % e 75 %. A legislação CONAMA 430/2011 não especifica limites para estes nutrientes, contudo verifica-se uma alta eficiência deste modelo de tratamento proposto.

4.7 PRODUÇÃO DE ENERGIA A PARTIR DO METANO

A energia gerada a partir da utilização do metano disponível no biogás reduz a libertação de gases com efeito de estufa na atmosfera, contribuindo para a redução do impacto ambiental e para a transição para fontes de energia mais limpas e sustentáveis. A partir dos cálculos, foi possível verificar que é possível gerar a partir do metano presente no biogás 2106,43 KWh/dia de energia.

5 | CONCLUSÃO

O sistema de tratamento apresentado neste projeto mostrou-se eficiente na remoção dos principais nutrientes estudados: DBO, DQO, Nt, Pt. As concentrações finais destes nutrientes apontam a um efluente com características para uso em práticas de fertirrigação. As legislações CONAMA 357/2005 e 430/2010 vigentes não definem limites a maioria destes parâmetros, mas ao se verificar a DBO, ela apresentou resultados de eficiência acima do mínimo exigido pela CONAMA 430/2011. Em relação ao uso energético, a associação do reator UASB com a produção de metano ofereceu uma abordagem sustentável para o tratamento de águas residuais da suinocultura, aproveitando os resíduos orgânicos para gerar energia limpa. Este sistema eficiente não só reduz a carga de poluentes, mas também promove a valorização de resíduos, contribuindo para a mitigação dos impactos ambientais e oferecendo uma fonte alternativa de energia.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Resolução CONAMA nº 357/2005, de 17 de março de 2005. **Conselho Nacional do Meio Ambiente**, p. 6, 2005.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 430/2011, de 13 de maio de 2011. **Conselho Nacional do Meio Ambiente**, p. 8, 2011.

CASTRO, A. A. et al. **Cultivo de microalgas para tratamento de águas residuais: revisão de literatura**. Geama, v. 6, n. 2, p. 60–71, 2020.

D'AQUINO, C. A.; DE MELLO, T. C.; JÚNIOR, L. C. The effect of organic loading rate's natural variation on the biogas yields from swine manure digestion at different hydraulic retention time. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 24, n. 3, p. 613–617, 2019.

DENG, L. et al. Treatment and utilization of swine wastewater – A review on technologies in full-scale application. **Science of the Total Environment**, v. 880, n. December 2022, p. 163223, 2023.

FERRAZ, J. M. G.; EVÓDIO, I. M. **Biogás: Fonte Alternativa de Energia**. Brasil: EMBRAPA, 1980.

JOÃO, J. J. et al. Electrocoagulation-flotation process: Investigation of operational parameters for wastewater treatment from fishery industry. **Química Nova**, v. 41, n. 2, p. 163–168, 2018.

KUMAR, P. K. et al. **Phycoremediation of sewage wastewater and industrial flue gases for biomass generation from microalgae**. South African Journal of Chemical Engineering, v. 25, p. 133–146, 2018.

KUNZ, A.; HIGARASHI, M. M.; OLIVEIRA, P. A. V. DE. Tecnologias para o tratamento de resíduos animais. Gestão Ambiental na Agropecuária, 2014.

KUNZ, Airton; STEINMETZ, Ricardo Luís Radis; DO AMARAL, André Cestonaro. **Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato**. 2019.

METCALF, Leonard; EDDY, Harrison P. **Tratamento de efluentes e recuperação de recursos**. McGraw Hill Brasil, 2016.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, P. E. A. BiogásFert - **Suinocultura de baixa emissão de carbono**. v. 1, p. 1–96, 2016.

NATIVIDAD PÉREZ-CAMACHO, M.; CURRY, R.; CROMIE, T. Life cycle environmental impacts of biogas production and utilisation substituting for grid electricity, natural gas grid and transport fuels. **Waste Management**, v. 95, p. 90–101, 2019.

NETO, P. Effect of Organic Loading Rate on the Biogas Yield Swine Manure in Uasb Reactor. n. 2014, p. 443–446, 2015.

NUNES; José Alves. **Tratamento biológico de águas residuárias**. Editora J. Andrade, 2010.

NUNES; José Alves. **Tratamento físico-químico de águas residuárias industriais**. Editora J. Andrade, 2008.

VIGARANI DE ASSIS, G.; FROSINI ARMELIN, L. Avaliação da vazão escoada por meio da calha Parshall (modelo Armfield). **Revista DAE**, v. 69, n. 230, p. 183–194, 2021.

WU, W.; CHENG, L. C.; CHANG, J. S. Environmental life cycle comparisons of pig farming integrated with anaerobic digestion and algae-based wastewater treatment. **Journal of Environmental Management**, v. 264, n. April, p. 110512, 2020.