



AVALIAÇÃO MONOFÁSICA COM CFD DE UM REATOR UASB RETANGULAR PARA EFLUENTE DOMÉSTICO EM ESCALA REAL

Justina Inês Troian ⁽¹⁾

Engenheira Civil e de Segurança do Trabalho. Especialista em Perícia e Avaliações de Imóveis. Mestranda no Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências Ambientais, Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, BR.

Lademir Luiz Beal ⁽²⁾

Engenheiro Químico, Dr. Em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (IPH/UFRGS), Professor da Universidade de Caxias do Sul (UCS)

Endereço⁽¹⁾: Rua Albino de Gasperi, 200 – Bento Gonçalves - RS - CEP: 95702-656 - Brasil - Tel: (54) 991914616 - e-mail: jitroian@ucs.br

Endereço⁽²⁾: Rua Fagundes Varela, 140/23 – Bairro Cristo Redentor – Caxias do Sul - Brasil - CEP: 95050-082 - Brasil - Tel: (54) 981336436 - e-mail: lbeal@ucs.br

RESUMO

O objetivo principal deste estudo é analisar, utilizando a ferramenta de fluido dinâmica computacional (CFD), o comportamento fluidodinâmico dentro de um reator anaeróbio (UASB) em escala real, através de simulações de mistura monofásica (água) com malha não estruturada tetraédrica.

A simulação em CFD permite avaliar o fluxo no reator e determinar a melhor configuração para maximizar a produção de biogás e eficiência do tratamento de efluente. O estudo foi desenvolvido na cidade de Cachoeira do Sul / RS, que possui cobertura de esgotamento sanitário de apenas 30,62%, inicialmente será utilizado água para a simulação monofásica e posterior efluente e ar, como simplificação do biogás.

O modelo e a malha hexaédrica foram definidas após a realização simulação e o do teste de malha (CGI) do reator piloto UASB retangular em escala real para efluente doméstico, analisando o comportamento da mistura em relação à transferência de quantidade de momento (movimento). Com estas definições de objetivos pode-se definir o modelo de turbulência k-epsilon, que se baseia em transporte de energia (transferência de quantidade de movimento). Os resultados mostram a estabilidade e eficiência na mistura do fluido no reator.

Como conclusão destaca-se a relevância social do projeto, que utiliza efluente domestico para reduzir impactos ambientais e gerar energia sustentável. O estudo terá continuidade com a simulação mais realista considerando o efluente e o biogás na simulação para validar a eficiência de geração de biogás e seu potencial de uso energético.

PALAVRAS-CHAVE: CFD, UASB, FLUIDODINÂMICA

INTRODUÇÃO

Atualmente se observa no âmbito mundial que as fontes de energia não renováveis são as mais utilizadas, chegando a oitenta por cento da matriz energética. Os combustíveis fósseis continuam sendo mais utilizados, sendo o petróleo, carvão e gás natural os que mais possuem relevância na produção de energia mundial. (BRASIL, 2022). Mesmo no caso de fontes renováveis, a produção de energia pode provocar grande impacto ambiental como ocorre com as hidrelétricas, as quais além de estar diretamente vinculada ao regime de chuvas, promovem outros impactos tais como o alagamento de enormes áreas de florestas e terras agriculturáveis, perda da biodiversidade local e ainda, em vários casos, a remoção de famílias inteiras das áreas atingidas (BRASIL, 2022).

Neste contexto, a produção de biogás proporciona diversas vantagens ambientais em relação a outras fontes de energia não renováveis devido a sua matéria prima ser abundante e renovável. Uma das alternativas para a produção de biogás é o reator UASB que tem a finalidade de reduzir a carga orgânica do efluente a ser tratado. Um dos produtos da digestão anaeróbia é o biogás, composto principalmente, de metano e dióxido de carbono e com possibilidade de posteriormente gerar energia renovável.



No Brasil ainda existem limitações na utilização do biogás e estas podem ser relacionadas como: falta de incentivo de políticas que viabilizam a entrada de tecnologias utilizadas para transformar este biogás em energia ou biometano e falta de estudo de viabilidade técnica e econômica antes de projetar uma estação de tratamento de efluente.

Atualmente o desenvolvimento tecnológico está inserido em diversas áreas auxiliando a melhorar o desenvolvimento de produtos e o tempo de projeto. Utilizando ferramentas computacionais voltadas a novas tecnologias e dando ênfase ao uso da fluidodinâmica computacional (CFD) este estudo tem a finalidade de otimizar um processo sem a necessidade de testes com protótipos. Uma consequência é a redução do tempo de projeto e aumentando a eficiência, ou seja, a realização de simulações computacionais para a escolha da melhor solução de fluxo do reator sem a necessidade de diversos protótipos. O CFD baseia-se em equações de fluidodinâmica que descrevem o movimento dos fluidos expressando a conservação de massa, momento e energia, através na equação de Navier-Stokes. Um dos modelos mais utilizados em CFD para simulações de turbulência é o modelo k-epsilon, este modelo baseia-se em transporte de energia (transferência de quantidade de movimento).

Para a solução destas equações o protótipo virtual é discretizado em uma malha composta de elementos tetraédricos menores onde as equações são resolvidas. Neste volume é realizado o teste de malha que é a criação de diversas malhas com diferentes densidades para garantir que os resultados tenham valores estáveis e fisicamente precisos.

O protótipo virtual neste estudo realizou-se o dimensionamento, detalhamento, geometria e processamento de um reator UASB retangular em escala real e elevado volume (216m³) através do software Ansys.

Com a simulação em fluidodinâmica computacional (CFD) foi realizado estudo de escoamento monofásico no reator piloto, posteriormente será desenvolvido o escoamento bifásico (efluente e gás). Foi realizada a avaliação de um sistema de distribuição de efluentes doméstico em um reator anaeróbico UASB retangular piloto com volume real (216m³) utilizando CFD (fluidodinâmica computacional), ou seja, simular um protótipo virtual. Os parâmetros obtidos a partir deste protótipo poderão servir de base para projetos de reatores UASB, tratando efluente doméstico. A cidade escolhida para o estudo possui 81.552 habitantes, situada na região sul do Brasil, segundo SNIS em 2019, apenas 30,62% da população possuía serviço de esgotamento sanitário.

No aspecto econômico é de grande importância tornar a estação de tratamento de efluentes (ETE) com uma operação adequada e que tenha o menor custo possível por metro cúbico tratado possibilitando a utilização do biogás gerado e o reuso deste efluente tratado.

Além disso, observa-se diversos indicativos de desenvolvimento sustentável e sustentabilidade vinculados às ODS (Objetivos de Desenvolvimento Sustentável) com relação ao tratamento eficaz de efluentes domésticos urbanos com a finalidade de torna-los sustentáveis energeticamente, o que está diretamente relacionado com este estudo. (ONU, 2022)

Dentre as 17 ODS destaca-se 3 que estão diretamente relacionadas com este trabalho. A ODS 06 – Água Potável e Saneamento garante a disponibilidade e manejo sustentável da água e saneamento para todos. Este projeto está relacionado com o tratamento sustentável de efluentes urbanos domésticos e o manejo sustentável do saneamento. A ODS 07 Energia limpa e acessível – garante o acesso à energia barata confiável sustentável e renovável para todos. No projeto de pesquisa será feita a otimização de produção de energia baseando os dados ao tratamento de efluentes urbanos doméstico com a finalidade de produzir energia limpa. A ODS 11 – Cidades E Comunidades Sustentáveis – torna as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis. (ONU, 2022)

MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo está situado Estado do Rio Grande do Sul na Cidade de Cachoeira do Sul, com uma população de 81.552 habitantes, 3.736.064m² de extensão territorial, situada na região Central do Estado do Rio Grande do Sul, região sul do Brasil. O município de Cachoeira do Sul possui ETE - Estação de Tratamento de Efluente que abrange uma grande parcela da população. Segundo SNIS em 2019, 30,62 % da população tem acesso a serviço de esgotamento sanitário. A ETE de Cachoeira é objeto deste estudo, o efluente gerado pela população chega na ETE e passa pelo processo de tratamento do tipo UASB. Neste estudo será implantado no local um reator piloto retangular com a finalidade de geração de energia a partir do Biogás.

Foi analisada a mistura de um reator UASB retangular projetado para produção de energia a partir do biogás gerado. Foi desenvolvida a modelagem/projeto do reator a partir da vazão que será fornecida que é de 18m³/s e projetado conforme recomendações da Norma Técnica Brasileira NBR12209/2011. Baseando-se nas

características do efluente e de vazão de entrada e limitando-se inicialmente para a modelagem monofásica com a ferramenta de fluidodinâmica computacional através do software Ansys.

Para a realização da simplificação da geometria foi utilizado o artifício da simetria, foram desconsideradas a rugosidade da parede, desconsiderada a presença de lodo no um terço do reator, o efluente será simulado como água (viscosidade semelhante). A simplificação com simetria é um artifício utilizado com frequência nos estudos. As simplificações admitidas foram

1. Simplificações admitidas: Água ao invés de efluente. Comparando-se a viscosidade dinâmica da água com a viscosidade dinâmica do efluente verifica-se que a viscosidade da água é de 1,003 cP comparando-se com a viscosidade do efluente que é de 1,019 cP obteve-se um valor 2% maior. Essas aproximações serão alteradas para valores reais na simulação monofásica.

2. Redução da geometria em $\frac{1}{4}$ do reator: realizou-se a redução da geometria para que seja possível a simulação devido ao elevado custo computacional associado. Ficou estabelecida a simulação de uma parte de quatro com simetria geométrica.

O reator possui volume de 216m^3 , sendo a base de 8 metros por 4,5 metros de extensão e altura útil de 5,84 metros; tempo de detenção hidráulico de 12 horas, 16 locais de entrada.

Para a simulação foram utilizadas as seguintes características, volume de $\frac{1}{4}$ do Reator, ou seja, 54m^3 (8 metros de comprimento, 4,5 metros de largura e 5,84 metros de altura útil), optou-se pela simplificação com simetria devido ao custo computacional envolvido. A simulação monofásica teve como referência a velocidade de entrada de $0,0707355\text{m/s}$, a fase continua na simulação foi a água, e suas características, tais como viscosidade $1,003\text{Cp}$, temperatura de $293,15\text{K}$, massa específica $998,20\text{ kg.m}^{-3}$.

A modelagem dos componentes da geometria foi estabelecida como sendo entrada da fase continua no fundo (inlet), saída da fase continua na parte superior (outlet), paredes externas laterais sem atrito (wall), eixos laterais com simetria (symmetry).

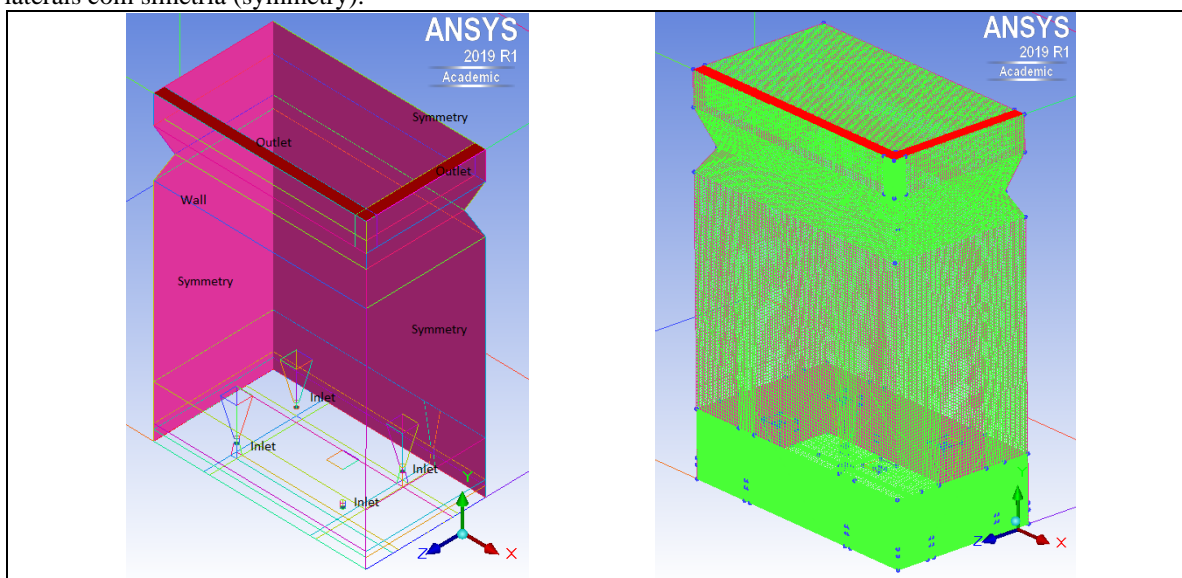


Figura 1 A figura a esquerda demonstra as partes do modelo e a figura a direita demonstra a malha A.

Após a confecção/projeto da geometria foi realizada a construção de grades não estruturadas e volumes com elementos de controle hexaédrica. Utilizando-se da técnica de discretização de elementos foi utilizado o software ICEM do pacote Ansys para modelar, ou seja, desenhar e discretizar o modelo piloto simplificado com isso obteve-se cinco modelos com diferentes números de elementos. Foram gerados 5 modelos com diferentes numeros de elementos: 678mil (Malha A); 1,2milhão (Malha B); 2,4milhões (Malha C); 5,1milhões (Malha D) e 10,7milhões de elementos (Malha E). Os modelos foram analisados com os seguintes parâmetros: 50.000 interações, regime permanente, laminar, newtoniano fase monofásica continua – água, resíduo aceitavel na escala de 10^{-3} . Após o processamento foram analisadas a velocidade media do fluido, velocidade de saída, velocidade ascensional, com esses dados foi analisada a qualidade da malha através do teste GCI que é considerado melhor quando se aproxima do valor inteiro 1. A tabela a seguir apresenta os valores de GCI para as diversas malhas. Verifica-se que todos os valores estão proximos a 1.

**Tabela 1. Valores do Teste de malha para o Reator Piloto.**

Malha	ABC	BCD	CDE
GCI magnitude da velocidade	0,910	1,059	0,974
GCI velocidade em Y	1,008	1,010	0,991
GCI velocidade no outlet	1,022	1,024	0,989

Parâmetros utilizados na simulação: regime permanente, turbulento, Fase monofásica, fluido contínuo água. Método dos volumes finitos, metodologia numérica Euleriano-Euleriano, modelo estacionário, modelo matemático k épsilon, simulação em três dimensões (3D). Modelos de cálculo com a equação de Reynold Navie-Stokes (RANS).

RESULTADOS

Neste estudo utiliza-se a simulação de um reator piloto no CFD que permite melhoria da mistura, maximização da transformação de massa dos microrganismos, maior eficiência do reator com relação a redução de DQO e aumento da produção de Biogás.

Com relação a qualidade da malha e validação do estudo das malhas, além do teste de malha pode se verificar os valores do determinante (maior que 0,6), da qualidade (maior que 0,4) e inclinação (maior que 0,3), sendo todos maiores que 0,3.

Com a verificação da validação com relação a qualidade da malha, convergência e estabilidade dos resultados, pode-se realizar as imagens que representem a quantidade de movimento. Demonstra-se a seguir a velocidade média do fluido na malha C. Observa-se na figura 2 a mistura do fluido na entrada do reator e na saída passando pelo separador trifásico na fase contínua (líquida – água).

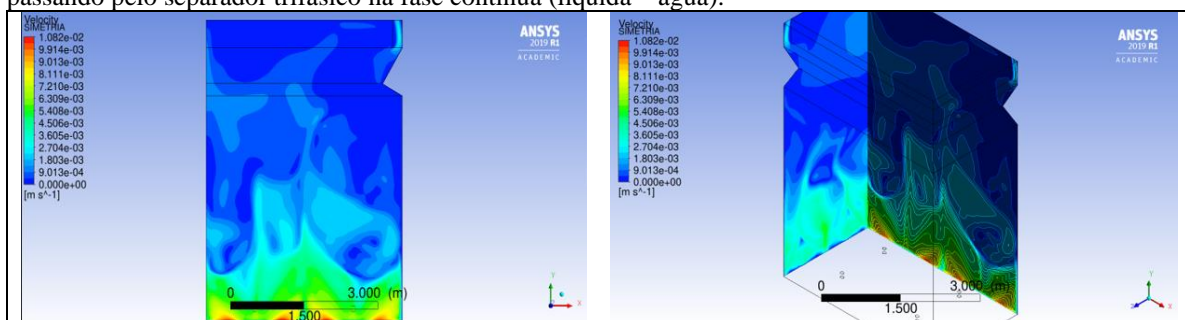


Figura 2 A figura a esquerda demonstra um corte transversal do Reator e a figura a direita demonstra as paredes de simetria do Reator na simulação.

Verifica-se que a magnitude da velocidade, a velocidade em Y e a velocidade no outlet se mantém constantes ao longo das iterações (50.000 iterações) com estabilização iniciando em aproximadamente 1.000 iterações e se mantendo constante até 50.000 iterações em todas as malhas. Com isso considera-se que a simulação está estável com relação a número de elementos e ao longo das iterações também se mantém estável, garantindo a eficiência da mistura e o funcionamento do reator.

As velocidades obtidas na simulação monofásica indicam estabilidade ao longo das iterações. Observa-se no gráfico a seguir a magnitude da velocidade da fase contínua (líquido) nas diferentes malhas (A, B, C, D e E). Verifica-se que a média da magnitude da velocidade é de $9,87117 \times 10^{-4}$ m.s-1 sendo que o desvio padrão é de $6,82 \times 10^{-5}$ m.s-1, com isso confirma-se que as velocidades estão semelhantes nas diferentes simulações.

O gráfico a seguir apresenta os resultados da magnitude da velocidade do fluido no decorrer das iterações, observamos a continuidade dos resultados.

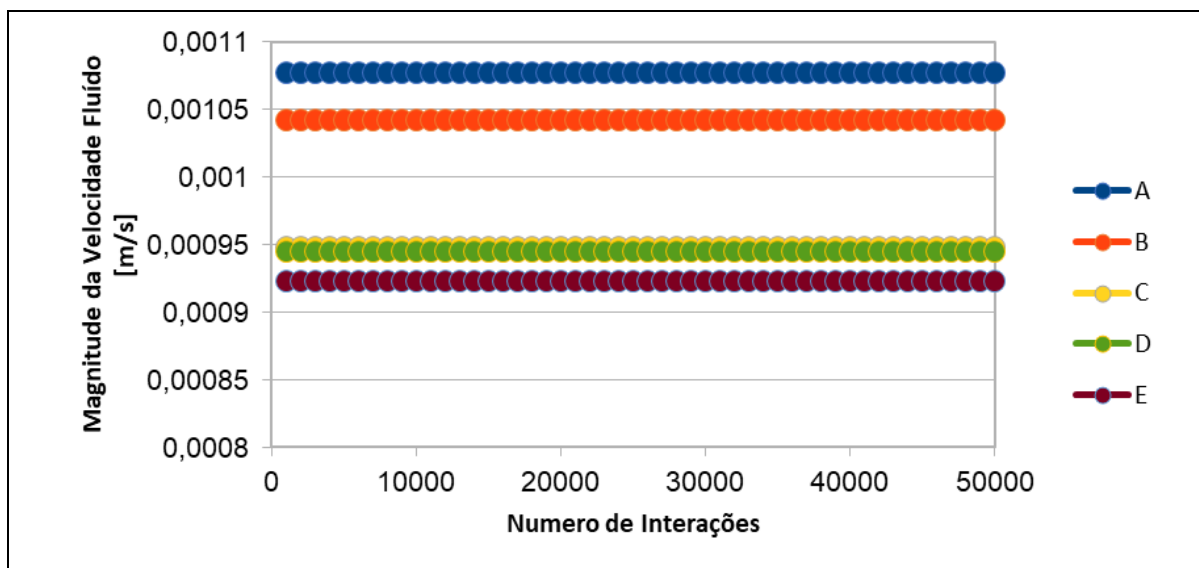


Figura 3 Magnitude da velocidade do fluido nas diversas quantidades de elementos. Fonte: o autor

Com a verificação da validação com relação a qualidade da malha, convergência e estabilidade dos resultados, pode-se realizar as imagens que representem a transferência de quantidade de movimento.

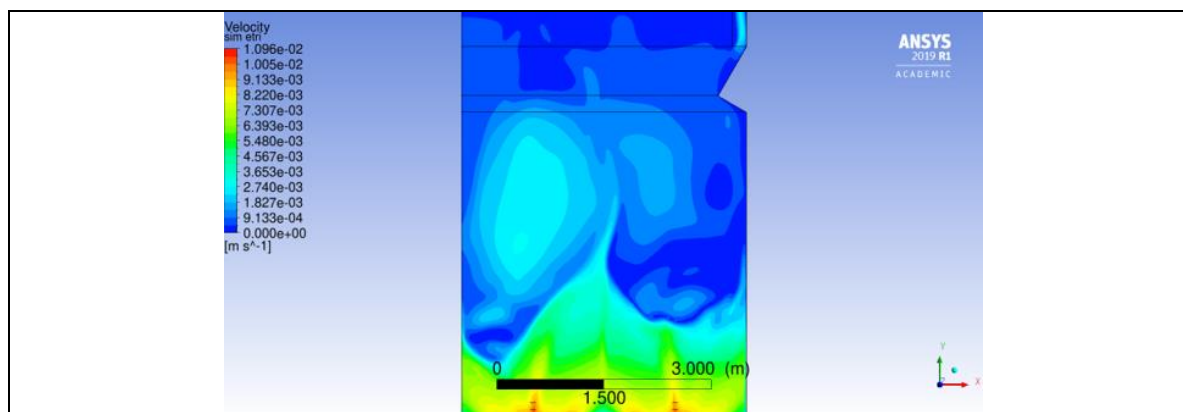


Figura 4 A figura demonstra um corte transversal do Reator

Alguns parâmetros do reator piloto obtidos no pós-processamento:

Velocidade de entrada no Reator: $7,0735 \cdot 10^{-3}$ m/s

Velocidade ascensional obtida na simulação (a 3 metros de altura): $2,67 \cdot 10^{-3}$ m/s

Velocidade ascensional média em Y (geral): $1,35 \cdot 10^{-3}$ m/s

Velocidade ascensional média na região da saída: $1,09 \cdot 10^{-3}$ m/s

Velocidade (magnitude da velocidade) média obtida pela simulação: $4,99 \cdot 10^{-3}$ m/s

Estes resultados demonstram que o valor da velocidade ascensional reduz conforme aumenta a altura do reator, em direção a saída. Inicialmente temos $7,0735 \cdot 10^{-3}$ m/s, na altura de 3m temos $2,67 \cdot 10^{-3}$ m/s e na saída $1,09 \cdot 10^{-3}$ m/s. Sendo que em média temos velocidade ascensional média em Y de $1,35 \cdot 10^{-3}$ m/s e a magnitude da velocidade média obtida pela simulação de $4,99 \cdot 10^{-3}$ m/s.



CONCLUSÕES

Foi desenvolvido neste trabalho o dimensionamento, detalhamento, geometria e processamento de um reator UASB retangular em escala real e elevado volume através do software Ansys (Icem, Fluent, CFX Post). Realizou-se a modelagem tridimensional monofásica do reator (Icem), adicionando as características de simulação do efluente no Fluent foi realizada a simulação computacional e com os resultados pode-se desenvolver os testes de malha, ficando os valores dentro do esperado e posteriormente realizou-se o pós-processamento, retirando as informações pertinentes ao estudo.

Com isso verifica-se a eficiência de geração de biogás para uso sustentável, podendo ser reutilizado até mesmo para produção de Energia.

Ressalta-se neste estudo a importância social e ambiental, com a utilização do tratamento de efluente doméstico para a redução do impacto ambiental e geração de energia sustentável. O CFD demonstrou a estabilidade e eficiência da mistura do fluido monofásico dentro do reator. O modelo k- ϵ provou estar adequado para atender este protótipo virtual, observando com precisão a transferência de quantidade de movimento e otimização do fluxo do reator.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **ANSYS, INC. 2022.** ANSYS FLUENT THEORY GUIDE. disponível em <http://www.ansys.com>, 2022, Vol. USA, 1080p.
2. **BRANNOCK, M.W.D, ET AL. 2010.** Evaluation of full-scale membrane bioreactor mixing performance and the effect of membrane configuration. *Journal of Membrane Science*, 2010.
3. **BRASIL. 2011.** Elaboração de Projetos Hidráulico-Sanitário de estações de tratamento de esgoto sanitário. BRASIL : ABNT, 24 de 11 de 2011.
4. **BRASIL, MINISTERIO DE MINAS E ENERGIA. 2022.** RESENHA ENERGERICA BRASILEIRA. BRASIL : s.n., 2022.
5. **DAPELO, D e BRIDGEMAN, J. 2020.** A CFD strategy to retrofit an anaerobic digester to improve mixing performance in wastewater treatment. *Water Science & Technology* /. 2020, Vol. 81.8.
6. **D'BASTIANI, CAMILA. 2017.** APLICAÇÃO DE MODELAGEM MULTIFASICA PARA ESTUDO DE BIORREADORES ANAEROBIOS; . *DISSERTAÇÃO DE MESTRADO. UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL, BRASIL.* 2017.
7. **LETTINGA, G & POLW.H. 1991.** UASB-Process Design for Various Types of Wastewaters. *Water Science and Technology*, 1991, Vols. 24 (8) 87- 107.
8. **Maria G. S. L. Brito; Flávio C. B. Nunes; Hortência L. F. Magalhães; Wanderson M. P. B. Lima; Flávia L. C. Moura ; Severino R. Farias Neto and Antonio G. B. Lima. 2020.** Hydrodynamics of Uasb Reactor Treating Domestic Wastewater: A Three-Dimensional Numerical Study. 202
9. **MAURINA, GUILHERME ZANELLA. 2014.** ANÁLISE FLUIDODINÂMICA DE BIORREATOR DESTINADO À PRODUÇÃO DE HIDROGÊNIO UTILIZANDO CFD. *DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DO PROGRAMA DE POS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PROCESSOS E TECNOLOGIAS* . 2014.
10. **RANADE, VIVEK V. 2002.** *COMPUTATIONAL FLOW MODELING FOR CHEMICAL REACTOR ENGINEERING*. INDIA : ADACEMIC PRESS, 2002. 452p.
11. **ROACHE, P.J.** september 1994. PERSPECTIVE: METHOD FOR UNIFORM REPORTING OF GRID REFINEMENT STUDIES. *JOURNAL OF FLUID ENGINEERING*, september 1994, Vol. ALBUQUERQUE, V 116 PAG 405-413.