



USO DE REATOR IC, EM ESCALA REAL, PARA TRATAMENTO DE EFLUENTES DE INDÚSTRIA DE BEBIDAS DE GRANDE PORTE: REVISÃO BIBLIOMÉTRICA

Daniel Dias da Silva¹; Guilherme Gomes de Sousa Magalhães², Liliana Andréa dos Santos³;
André Felipe de Melo Sales Santos⁴

DOI: <https://doi.org/10.31692/IICIAGRO.0106>

RESUMO

A indústria de bebida produz milhares de hectolitros de cerveja e refrigerantes por ano, com um consequente consumo exorbitante de água nessa produção. Os efluentes dessa produção possuem uma alta concentração de matéria orgânica, o que indica que pode representar um elevado risco ambiental no caso de sua disposição incorreta. O objetivo deste trabalho foi contribuição na ampliação dos conhecimentos técnicos na área de digestão anaeróbia de efluentes de indústrias de bebidas, focado especificamente nos reatores IC (anaeróbio de circulação interna). Para isso, realizou-se um levantamento bibliográfico e bibliométrico em 3 bases de dados - Web of Science (WoS), Science Direct (Elsevier), e SciVerseScopus (Scopus) com um recorte de 22 anos, entre 1999 e 2022. Foram utilizadas as palavras chaves “*IC reactor*”, “*wastewater treatment*”, “*beverage effluents*”, “*full scale*” e seus correspondentes na língua portuguesa. Dentre os resultados obtidos, foi verificado que 100% dos trabalhos encontraram-se no domínio dos continentes europeu e asiático. A China possui uma predominância entre os demais países, correspondendo sozinha a 61,1% do total de publicações de relevância. Verificou-se que as áreas temáticas neste recorte temporal predominaram-se para “ciências ambientais, energia e engenharia”. Duas tendências foram observadas pela bibliometria para as concentração de publicações nestes 22 anos. A primeira foi a concentração de estudos em nível da microbiologia do processo biológico investigando a natureza dos microrganismos, seus metabolismos e interações ambientais. A segunda foi relativa a otimizações do processo em escala real, e aplicações práticas, indicando uma possível tendência que estes processos estão, em nível mundial, cada vez mais tomando interesse de aplicação pelas suas vantagens ambientais, econômicas e energéticas.

Palavras-Chave: reator IC, biogás, efluente da indústria de bebida, escala real, bibliometria

¹ Engenharia Ambiental, Universidade Federal Rural de Pernambuco, daniel.diass@ufrpe.br

² Engenharia Ambiental, Universidade Federal Rural de Pernambuco, guilhermegomesdesousa123@gmail.com

³ Doutor, Universidade Federal de Pernambuco, liliana.andrea.santos@gmail.com

⁴ Doutor, Universidade Federal Rural de Pernambuco, andre.felipesantos@ufrpe.br

INTRODUÇÃO

A indústria de bebida é uma das tipologias industriais dentro das industriais de alimentos que mais cresce no mundo produzindo milhares de hectolitros de bebidas (cerveja, refrigerantes, sucos, etc) por ano, consumindo uma exorbitante quantidade de água nessa produção, podendo esse consumo chegar a cerca de 100 - 120 mil m³/mês (SERENO FILHO et al., 2013). A produção de 1 litro de refrigerante estima-se um gasto de cerca de 1,5 litro de água e de aproximadamente 4,2 litros de água para produzir 1 litro de cerveja (SERENO FILHO, 2009).

O efluente de bebidas possuem uma alta concentração de matéria orgânica e são oriundos sobretudo, dos açúcares encontrados no xarope e dos extratos vegetais utilizados para a formulação das bebidas (TYAGI, 2019). Desta forma, em função da elevada carga orgânica apresentada e elevados graus de complexidade na composição, faz-se necessário um tratamento adequado para o efluente. A digestão anaerobia (DA) é uma tecnologia aplicada ao tratamento de efluentes com alta presença de matéria orgânica, visando o potencial de ganho econômico/energético/ambiental desse efluente (CHEN, CHENG, CREAMER, 2008).

Diferente dos tratamento de via aeróbia, na DA temos que grande parte da fração do carbono metabolizado é conduzindo a biogas, gerando pouco lodo, já estabilizado no final do processo. Essas vantagens, por si só tornam os tratamentos anaeróbios bastante atrativos, justificando seu largo uso nesta tipologia industrial. Geralmente são utilizados como tratamento primário para remoção da fração mais significativa da matéria orgânica facilmente degradável deste efluente, sendo comuns os pós-tratamento de via aeróbia (lagoas aeradas e polimento) na sequência, com vistas a remoção de material orgânico residual, sólidos decantáveis e sobretudo, nutrientes (NOVAK et al., 2003). O reator UASB (reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo) é sem dúvida o sistema anaeróbio mais utilizado em todo mundo para inúmeras aplicações, vazões, carga orgânica aplicada e condições de operação. Entretanto, especificamente para a o tratamento de efluentes da industria de bebidas, o reator IC (Circulação Interna) vem ganhando bastante interesse.

Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi realizar a revisão bibliográfica e bibliométrica da temática reator IC (escala de real) para tratamento de efluente de indústria de bebidas de grande porte, utilizando-se das bases de dados científicos, contribuido assim com a uma avaliação de tendência nas últimas 2 décadas do uso desta tecnologia.

REFERENCIAL TEÓRICO

EFLUENTES DE INDÚSTRIA DE BEBIDAS.

Sabe-se que a origem dos efluentes industriais de bebidas provém das etapas de lavagem, das águas presentes nos sistemas de resfriamentos, das águas utilizadas diretamente no processo produtivo e industrial, dos decartes dos produtos que não passaram no controle de qualidade, entre outros (SANTOS, RIBEIRO, 2005).

O efluente gerado no processo industrial de bebidas, possui elevada concentração de açúcares, pH geralmente alcalino, temperatura na faixa ambiente (20 - 25°C), alta concentração de matéria orgânica, em termos de demanda biológica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO) e teores de sólidos totais (ST), oriundos sobretudo dos açúcares encontrados no xarope e dos extratos vegetais utilizados para a formulação das bebidas (SERENO FILHO, 2009). A DQO deste tipo de efluente pode variar entre 20.000 ~ 60.000 mg/L e cerca de 50 a 70% da matéria orgânica presente nos efluentes é biodegradável, com uma relação DBO/DQO da ordem de 0,5 ~ 0,7. Desta forma a digestão anaeróbia (DA) é uma técnica de tratamento atrativa para este tipo de efluente, com altos ganhos ambientais e econômicos (CHEN, 2021). Entretanto, as características destes efluentes variam de acordo com o processo produtivo, principalmente devido à tecnologia empregada durante as etapas de fabricação industrial das bebidas (PAZERA, 2015).

No Brasil o tratamento deste efluente são compostos principalmente por três etapas: tratamento preliminar, tratamento secundário (correção do pH se necessaria e adição artificial de nutriente) e um pós-tratamento em lagoa aerada seguida de decantação (polimento) (SERENO FILHO et al., 2009).

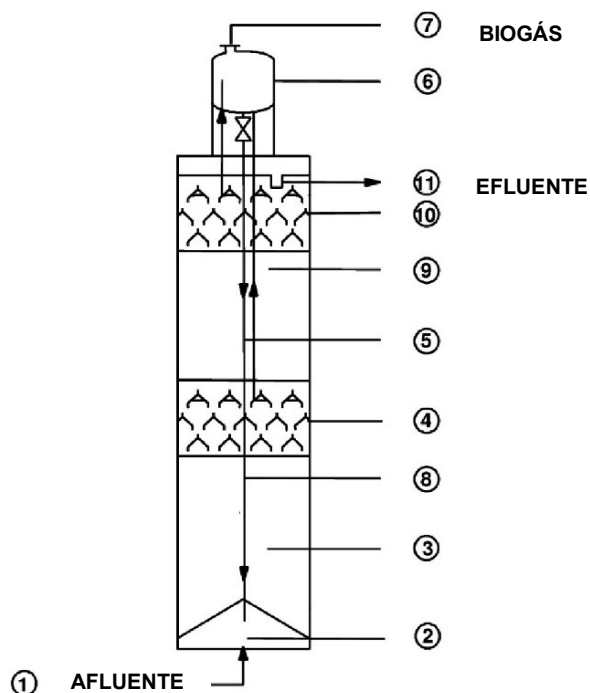
REATOR IC

Reatores IC tem sido amplamente utilizados nas indústrias de cervejaria, bebidas de grande porte, celulose, papel, entre outras, visto que apresentam desempenho superior a outros reatores, em termos de taxas de carregamento orgânico e tempo de detenção hidráulico (TDH). Esses reatores apresentam uma tecnologia mais avançada, principalmente devido a sua circulação interna, o que permite um melhor contato entre a biomassa (lodo) e efluentes, resultando em maior atividade de biomassa “microbiana” (PEREBOOM, 1994).

A tecnologia empregada nos reatores IC é baseada no processo BIOPAQ® UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) usando os chamados separadores trifásicos para retenção de biomassa (esses separam “gás, o líquido e a biomassa”, o que permite maior atividade de biomassa, melhorando a qualidade do efluente final). O reator IC se destaca pela engenhosidade e simplicidade construtiva, visto que consiste basicamente na sobreposição de dois reatores UASB acoplados (o primeiro de alta carga e o segundo de baixa carga) (NICOLELLA, VAN LOOSDRECHT, HEIJNEN, 2000). Apresenta uma característica particular, a separação do biogás em duas etapas, onde o biogás coletado no primeiro estágio aciona um “gas-lift” criando uma circulação interna (DRIESSEN, 2000; SANTOS, RIBEIRO, 2005). Esse reator combina boa retenção de biomassa na saída, com excelentes características de mistura no seu compartimento inferior (HABETS; DE BOERSTRAAT, 1999). Algumas vantagens da utilização do reator IC são: ultra alta capacidade de carga orgânica (15 - 30kg DQO/m³.dia), baixa área de superfície utilizada, operação econômica (MUTOMBO, 2004). Apresenta um decantador interno de defletor triplo, que separam a água tratada do biogás produzido e a biomassa granular altamente sedimentável. Também não apresenta emissão de odores e nem de ruídos (MUTOMBO, 2004).

Essas características hidráulicas particulares do reator IC conferem a ele duas vantagens operacionais frente aos reatores UASB, por exemplo: elevada eficiência de remoção de matéria orgânica (DQO e DBO) (>90%) e baixos tempos de detenção hidráulicos (TDH≈4h) (NOVAK et al., 2003). A clarificação do efluente é uma das suas vantagens adicionais, além da pequena área superficial necessária à sua implantação. Na Figura 1, é apresentado um desenho esquemático do perfil de um reator IC.

Figura 1: Desenho esquemático do perfil de um reator IC



Fonte: Adaptado DRIESSEN (2000)

Pode-se descrever o processo a partir da Figura 1. O afluente equalizado é bombeado a partir da base do reator (1) e distribuído por um sistema de tubos de radiais (2) posicionados para dar um efeito de mistura e turbulência no primeiro compartimento (3) do reator com alta concentração do lodo granular e onde a maior parte da DQO é convertida a biogás. O biogás gerado neste primeiro compartimento (alta carga) (3) é coletado pelo separador inferior (4) e encaminhado por um tubo central (5) que atua como um elevador de gás (gas-lift) levando uma mistura de efluente, lodo e gás até o separador trifásico (6) do topo do reator onde o biogás é liberado (7) para o gasômetro. O efluente e lodo separados no topo do reator (6) retornam para o fundo através de um tubo concêntrico (8) para a base do reator (circulação interna) em contrafluxo fechado, aumentando a concentração do lodo no primeiro compartimento e aumentando a turbulência na base. O efluente que flui após o primeiro conjunto de separadores (5) para o segundo compartimento (baixa carga) onde o efluente é pós-tratado e a DQO remanescente é removida promovendo uma remoção também de material granular por efeito de decantação nesta zona de baixa turbulência. O gás gerado nesta zona é segurado para os separadores superiores (9), também conectado ao separador trifásico do topo (6). O efluente final (tratado) (11) é coletado em vertedouros transbordantes (10) na saída superior do reator.

CARACTERÍSTICAS DO REATOR IC

São cinco as principais características do Reator Anaeróbico de Circulação Interna (IC): a zona de mistura, a zona de leito expandido de lodo anaeróbico granulado, a zona de polimento e o sistema automático de recirculação e a características construtivas, segundo SERENO FILHO, 2009).

- **ZONA DE MISTURA:** No fundo do reator o efluente que chega para o tratamento é efetivamente misturado com o lodo anaeróbico e o efluente da corrente de recirculação. Isto resulta numa diluição e condicionamento do efluente de entrada, minimizando os riscos de toxicidade e choques de carga orgânica e pH.
- **ZONA DE LEITO EXPANDIDO:** Este setor do reator contém um leito de lodo anaeróbico granulado expandido altamente concentrado. A expansão/fluidização do leito é efetuada pela elevada vazão ascensional de efluente, recirculação e biogás produzido. O efetivo contato entre o efluente e os microrganismos resulta em uma alta atividade do lodo, que possibilita a aplicação de elevados carregamentos orgânicos com boa eficiência de conversão.
- **ZONA DE POLIMENTO:** No primeiro separador consegue-se remover a maior parte do biogás produzido na zona de leito expandido, garantindo pouca turbulência na zona de polimento. A vazão de efluente que é recirculada internamente também ficará restrita ao compartimento inferior do reator, entrando na zona de polimento vazão idêntica a de entrada de efluentes no reator. Esses fatores proporcionam uma boa separação sólido/líquido, fazendo com que a biomassa seja retida no reator e o efluente saia clarificado pelos vertedores na parte superior do segundo separador. A pequena vazão de biogás gerada na zona de polimento será coletada e enviada ao tanque separador no topo do reator.
- **SISTEMA DE RECIRCULAÇÃO:** A circulação interna é baseada no princípio do “gas-lift” e é controlada pela vazão de biogás produzida no reator (não é necessária a utilização de bomba). A vazão de recirculação depende somente da DQO do efluente de entrada e seu controle é automático: quando maior a DQO, maior produção de biogás na zona de leito expandido, maior vazão de recirculação e também maior diluição do efluente de entrada após a mistura na zona de mistura. Importante reafirmar que a vazão

recirculada que permite um melhor contato efluente/microrganismos na zona de leito expandido, é coletada no primeiro separador, garantindo menores velocidades ascensionais previstas no projeto para a zona de polimento.

- **CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS:** Os Reatores IC tem alturas variáveis de 16 a 25 metros e por facilidade construtiva são cilíndricos, com diâmetros variando de 1,0 – 11,5 metros. O corpo do reator pode ser executado em aço inoxidável ou aço carbono revestido com proteção anticorrosiva. Em ambos os casos há um revestimento interno das paredes em plástico de engenharia, no fundo (evitar erosão na alimentação) e na parte superior para evitar a corrosão causada pela conversão de sulfetos. O teto de lodo na zona de mistura, o tanque separador gás/líquido e as tubulações internas sempre são construídas em aço inoxidável. Os separadores internos são construídos totalmente em plástico de engenharia (polipropileno) e ocupam toda a área superficial do reator.

PARÂMETROS DE CONTROLE DO PROCESSO

Alguns parâmetros possuem uma significância maior no monitoramento de reatores anaeróbios por ser um indicativo da eficiência do estágio operacional e de alterações externas ou internas dos processos que ocorrem no seio do reator. Podemos destacar a temperatura, o pH, a alcalinidade total, os AGV's como os fatores mais preponderantes.

TEMPERATURA

Os microrganismos são classificados como psicrófilos (faixa entre 0 e 20° C), mesófilos (faixa entre 20 e 45° C) ou termófilos (faixa entre 45 e 70° C) (CHERNICHARO, 1997). A gênese do metano pode ocorrer numa faixa bastante larga de temperatura que, segundo FORESTI (1994), pode variar de 0° a 97°C. Este mesmo autor destaca que a maioria dos digestores operam na faixa mesofílica cujas temperaturas ótimas variam de 30-35° C. A temperatura é uma variável que atua seletivamente junto às espécies mais aptas à degradação daquele substrato naquelas condições. A temperatura dos microrganismos é regulada pela temperatura externa e sendo assim variações bruscas e por períodos maiores podem inibir determinados grupos e mesmo dizimar populações inteiras de microrganismos. A temperatura interfere diretamente na cinética microbiana.

pH

O pH é um importante parâmetro de acompanhamento do reator. Segundo METCALF e EDDY (2003), os efeitos do pH sobre a digestão anaeróbia se manifestam sobre duas vertentes: afetando a atividade microbiana e a toxicidade de vários compostos. As arqueas metanogênicas atuam na faixa ótima de 6,6 a 7,4, as acidogênicas na faixa de 5 a 6. FORESTI (1994) e CHERNICHARO (1997) destacam que a produção de ácidos pode seguir no reator apesar da produção de metano ter sido interrompida devido aos valores reduzidos de pH.

ALCALINIDADE

Segundo CHERNICHARO (1997) a alcalinidade de um sistema é a capacidade que este tem de neutralizar ácidos, resultado da presença de espécies químicas de natureza alcalina. A alcalinidade é um indicativo da capacidade tampão de um determinado sistema e sendo assim, para uma alcalinidade alta, não deve ser entendida que o pH esteja necessariamente alto.

A espécie alcalina mais importante em um sistema de digestão anaeróbia é o íon bicarbonato (HCO_3^-), originário de espécies alcalinas provenientes do metabolismo de proteínas, a se destacar a amônia ($\text{NH}_3/\text{NH}_4\text{OH}$) e de formas oxidadas do enxofre (S_2^-/HS^-) e pela hidrólise de ácidos orgânicos fracos como o ácido acético (VAN HAANDEL e LETTINGA, 1994 apud CHERNICHARO, 1997). A alcalinidade dessas substâncias é transferida ao bicarbonato através de reação subsequente com o composto ácido abundante no meio, o CO_2 (ISOLDI et al., 2004) (Equações 1 e 2).



METCALF e EDDY (2003) sugerem que valores de alcalinidade para que o processo de digestão anaeróbia ocorra de forma ótima devam encontrar-se na faixa de 1000 a 5000 mg/l. FORESTI (1994) e ISOLDI et al. (2004), destaca que o monitoramento da alcalinidade em sistemas anaeróbios é mais eficaz que o pH, visto que a escala do primeiro é linear enquanto a do segundo é logarítmica.

E sendo assim, pequenas alterações de pH podem representar altos consumos ou produção de alcalinidade alterando significativamente a capacidade tampão do sistema.

AGV

Os ácidos graxos voláteis mantêm uma relação estreita com a alcalinidade. Os ácidos formados no processo tendem a reduzir o pH tornando-o ácido e inadequada aos processos anaeróbios. Neste sentido o efeito tamponante da alcalinidade evita quedas bruscas e oscilações freqüentes do pH. METCALF e EDDY (2003) sugerem valores para o AGV abaixo de 250 mg/l.

PARÂMETROS OPERACIONAIS E DE PROJETO

A Tabela 1 um comparativo dos principais projeto para Reatores UASB e IC, onde pode-se atestar varias vantagens do segundo em relação ao primeiro.

Tabela 1: Comparação entre os parâmetros de projeto para Reatores UASB e IC

PARÂMETROS	UASB	IC
Lodo anaeróbio	Ativo, concentrado	Granulado
Separador S/L/G	Alta retenção biomassa	2 estágios
Altura do reator (m)	4,5 – 6,5	16,0 – 25,0
Atividade do lodo (Kg DQO/Kg SSV.d)	0,5	1,0
Carga orgânica aplicada (Kg DQO/m ³ . d)	6 – 12	20 – 40
Tempo detenção hidráulico (h)	6 – 10	2 - 3
Velocidade do líquido (m/h)	0,5 – 1,0	5 – 10
Velocidade do biogás (m/h)	0,5 – 0,9	7 – 10
Eficiência remoção DQO sol. (%)	80	80
Eficiência remoção DBO sol. (%)	90	90

Fonte: Adaptado de SERENO FILHO (2009)

METODOLOGIA

LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

O levantamento bibliográfico foi realizado através de três principais fontes de pesquisa (bases de dados científicos): Web of Science (WoS), Science Direct (Elsevier), e SciVerseScopus (Scopus). A busca teve como objetivo encontrar publicações científicas em periódicos nacionais e internacionais, com um enfoque maior nas publicações internacionais, pelo fato de suas relevâncias e amplitude. As bases foram acessadas através do CapesCafe (portal periódicos da Capes) e foram consideradas as pesquisas em formato de artigo científico, com o idioma em inglês, com um recorte de 23 anos (1999-2022).

As palavras-chave que foram utilizadas para este levantamento bibliográfico foram determinadas quando avaliado o estado da arte do tema. Foram utilizadas as palavra-chaves: IC reactor, wastewater treatment, beverage effluents, full scale e seus correspondentes na língua portuguesa. Adotou-se a metodologia de relacionar as quatro palavra-chave em conjunto (beverage effluents; IC reactor; wastewater treatment; full scale) utilizando os operadores booleanos “AND/OR”. Sendo assim, a pesquisa foi realizada com os operadores juntos e separados, observando os resultados de cada conjunto.

LEVANTAMENTO BIBLIOMÉTRICO

Os dados foram obtidos a partir do levantamento realizado nas plataformas científicas Web of Science (WoS), Science Direct (Elsevier) e SciVerseScopus (Scopus), buscando por estudos no formato de artigos científicos, em inglês, considerando como fundamento para a temporalidade no período de vinte e um anos (1999-2022).

As bases de dados utilizam a funções de busca avançada para recuperar publicações relacionadas sobre efluentes de bebidas de grande porte em reator IC. As palavras-chave foram pré-definidas na análise bibliográfica e os termos de pesquisa incluíam o título, resumo e palavras-chave como se segue: TITLE-ABS-KEY (“wastewater treatment” AND “beverage effluent*” AND “full scale” OR “IC reactor”).

A pesquisa na base de dados utilizou o operador booleano (“AND”) e (“OR”) como um fator chave em escolher o conjunto de dados finais para evitar artigos de pesquisa relevantes faltantes. O uso caracteres como o do asterisco (*) e aspas (“), foram utilizados para melhorar

a busca, tendo em vista que os asteriscos junto as palavras, faz com o que a base de dados busque todas as variantes do termo Ex: vinasse* (molasses, vinasses, vinasse). A busca de artigos relevantes sobre o tema foi realizada em 07 fevereiro de 2022. A pesquisa para artigos necessários foi aplicada em um único dia para evitar a atualização diária do banco de dados das bases, não sendo realizadas alterações a posteriores.

Foi feito um afinamento dos documentos encontrados na pesquisa bibliométrica nas bases de dados, com intuito de um melhor direcionamento do tema e pela dificuldade encontrada de achar artigos que se encaixem no eixo temático. Esses foram salvos e exportados nos formatos de arquivo com "CSV Excel e txt" e analisado por meio do software VOSviewer “ferramenta de software para construção e visualização de redes bibliométricas”.

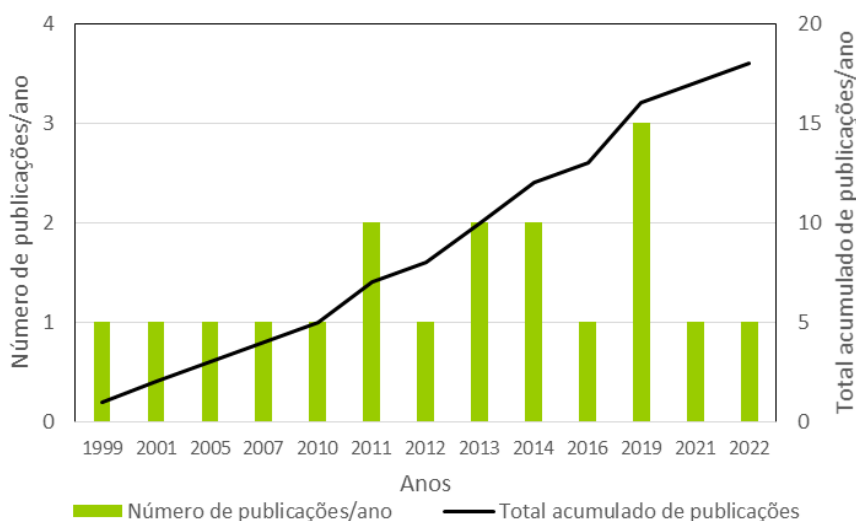
Optou-se por utilizar o conjunto de dados coletado na base Scopus para utilização do software VOSviewer. O software Excel® foi usado na investigação quantitativa da amostra, por meio da estatística descritiva. Após o tratamento dos dados, a elaboração de gráficos e de tabelas mostraram-se necessárias para explanação dos resultados. A quantificação e a identificação das regiões insulares, dos periódicos (Qualis) e dos anos de publicação dos artigos informaram o desenvolvimento da literatura sobre a temática, além da espacialização dos trabalhos desenvolvidos (LIU et al., 2019).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

QUANTIFICAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DAS PUBLICAÇÕES

Sobre a quantificação de publicações a Figura 4 apresenta as tendências da produção de publicações sobre a temática de efluentes de bebidas em reatores IC, incluindo as cinco principais categorias temáticas tratadas da WoS e Scopus. Foi-se escolhido a base de dados Scopus para a obtenção dos gráficos, sendo utilizados 18 dos 53 documentos encontrados na pesquisa bibliométrica; sendo feito um refinamento e afinando para o eixo-temático da pesquisa proposto. O banco de dados obteve resultado de 18 artigos publicado entre 1999 a 2022 (Figura 2).

Figura 2: Número de publicações anual e totais acumulados por ano (1999 à 2022)



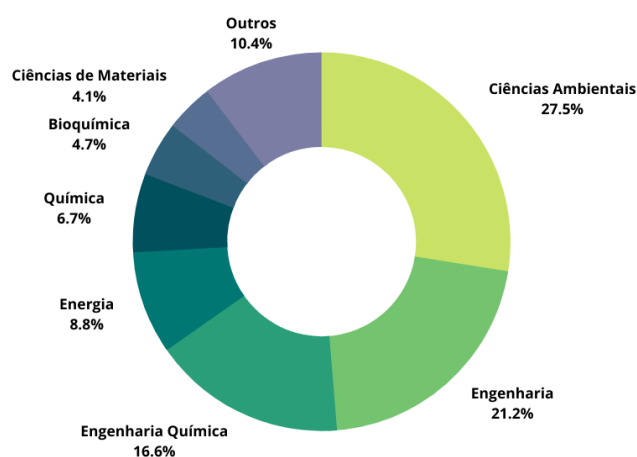
Fonte: Própria (2022)

Nos primeiros dez anos (1999-2009), as pesquisas no tópico selecionado obtiveram algumas flutuações com o tempo e poucos artigos. Posteriormente, nos restantes dos anos (2010 à 2022) seguintes, o número de artigos de pesquisa aumentou consideravelmente junto com a área temática, sendo 11 artigos dos 18 artigos publicados durante este período, representando quase 61,1% de todos os estudos observados.

Recentemente, o interesse nas pesquisas de digestão anaeróbia de efluentes de bebidas em reatores IC vem aumentando, pois a tecnologia vem se consolidando como robusta, efetiva e se enquadra nas matrizes de energias renováveis. Os principais países que estão tendo uma crescente exponencial nesse tema são os grandes produtores cerveja e bebidas em geral.

Para análises das categorias, as 18 publicações foram analisadas em maiores detalhes, incluindo os sete principais tipos de subcategorias temáticas. Notou-se que temática “Efluentes de bebidas em IC” tem aumentado rapidamente para três principais subcategorias: “Ciência Ambiental; Energia; Engenharia”. Cerca de 27,5 % dessas publicações são para a área de Ciências Ambientais; 21,2% para Engenharia; 16,6% Engenharia química; 8,8% Energia; 4,7% bioquímica, genética e biologia molecular; as demais porcentagens encontra-se na Figura 3.

Figura 3: Distribuição das publicações por área temática



Fonte: Própria (2022)

PRODUÇÃO CIENTÍFICA POR PAÍSES

No estudo atual, 6 países foram responsáveis pelas 18 publicações encontradas na análise bibliométrica. Na Tabela 2 e na Figura 4 apresentam-se claramente as partições dos artigos publicados no período entre os 6 países cujas publicações foram objeto desta análise.

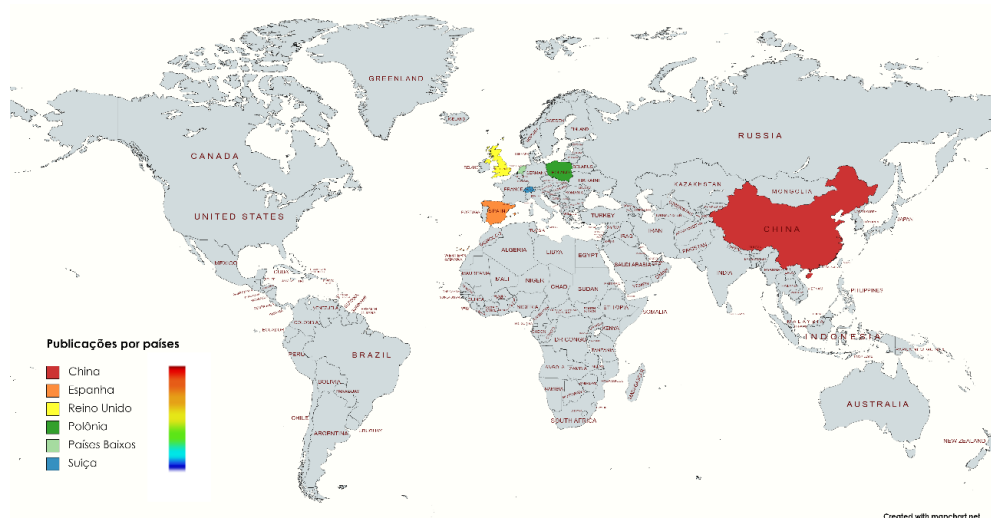
Tabela 2: Distribuição de artigos por países

Países	Número de publicações	Porcentagem das publicações
China	11	61,1 %
Reino Unido	2	11,1%
Espanha	2	11,1%
Polônia	1	5,56%
Países baixos	1	5,56%
Suíça	1	5,56%
Total	18	100%

Fonte: Própria (2022)

A China apresentou um resultado de 11 documentos publicados; Espanha e Reino Unido com 2 documentos cada. Na sequência os Países Baixos, Suíça e Polônia, cada qual com 1 documento publicado. Cerca de 61,1% do número total de artigos de pesquisa publicados, encontraram-se no domínio da China.

Figura 4: Distribuição geográfica dos principais países que publicam sobre o tema



Fonte: Própria (2022)

Parte disso é pelo fato da China ser o maior produtor de bebidas do mundo (cerveja e derivados), sendo medalhista na utilização de reatores IC devido suas altas eficiências para tratamento desses efluentes. A China produz um total de aproximadamente 48,9 bilhões de litros de bebidas por ano, sendo quase 3 vezes maior o volume por litro que o do EUA, segundo colocado do ranking com 22,5 bilhões (CERVIERI JUNIOR, 2017).

O Brasil se encontra em 3 no ranking dos maiores produtores de bebidas mundiais com aproximadamente 13,3 bilhões de litros, tendo uma crescente de 5% no ano de 2020 no setor (CERVIERI JUNIOR, 2017). Nota-se que o Brasil não ocupa o espaço no quesito de documentos publicados sobre o tema, objetivando assim um déficit, mesmo tendo grandes indústria produtoras de bebidas. Ainda a questão da ciência não é vista economicamente viável para os produtores, uma visão erroneamente, pelo fato de grandes potencias fazer grandes investimento na área. Em termos de distribuição demografica, os países centrados na região da Eurásia (Europa-Ásia), saíram como as comunidades dominantes que publicaram mais trabalhos acadêmicos sobre a temática. Notavelmente, essas publicações, quantitativa os 100% do número total de trabalhos de pesquisa recuperados.

Um dos possíveis motivos pode estar associado ao fato do clima e do solo desses continentes ser mais propício e naturalmente fertilizado, tendo um potencial maior para aproveitamento dessa cultura. A produção está concentrada nas regiões temperadas da Europa, Ásia e América do Norte onde se encontram os maiores produtores. Outro motivo é pelo fato

da forma compacta dos reatores IC, grande eficiência na remoção de carga orgânica, entre outras características que fazem este reator ser o mais utilizado nesses países.

A DA de efluentes de bebidas em reatores IC, são amplamente aplicados ao longo do continente Europa-Ásia, principalmente em países como a China que aproveitam da grande eficiência do IC, do aproveitamento do biogás para fins energéticos e da pouca área necessária à sua implantação. No Brasil, a aplicação em escala desse tipo de reator representa grandes oportunidades para contribuir na expansão percentagem de energias renováveis da matriz energética nacional, tendo em vista os grandes volumes produzidos do efluente desse tipo de indústria e de sua importância no PIB nacional. Grandes desafios precisam ser vencidos e paradigmas quebrados. Os reatores IC são uma tecnologia ainda cara que necessita de operação mais sofisticada em termos de automação e controle do processo. Poucas informações são publicadas na literatura técnica acerca das eficiências, estabilidade e dados de monitoramento desses reatores o que não ajuda na sua divulgação desta alternativa.

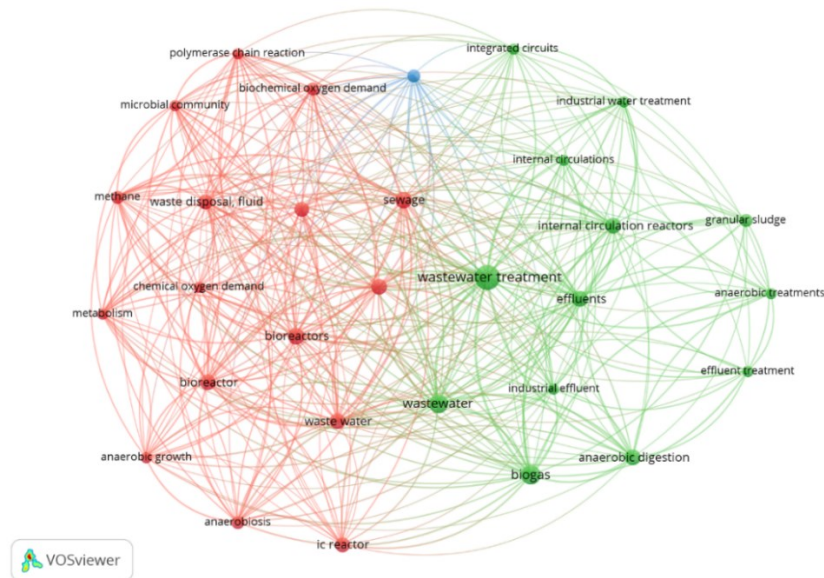
FREQUÊNCIA DE PALAVRAS

Nas revistas científicas, as palavras-chaves são significativas para se melhor entender os padrões de pesquisa e assim mostrar o direcionamento do foco, o que ajuda a reconhecer e entender os objetivos de pesquisa (KASAVAN et al., 2021).

A nuvem de co-ocorrência de palavras-chave foi formada através do agrupamento dos termos mais frequentes. Nesta perspectiva, as palavras que apresentaram mais destaque e força de interação nas análises estão presentes em tamanho maior. As análises das palavras-chaves dos resultados mostram que os tópicos de pesquisas conceitual a evolução através de clusters compostos por nós de palavras-chaves que estão conectados uns aos outros (Figura 5).

Segundo Kasavan et al. (2021) a co-ocorrência de palavras-chaves frequentes, são essenciais para entender a visibilidade dos artigos em questões de pesquisa atuais e passadas. Uma linha de conexão mais expressa indica uma correlação temático-científica entre dois itens, enquanto o tamanho adensado (maior) do nó entre as palavras-chave, indica uma alta ocorrência dos itens e relevância dos pontos em comum. A proximidade dos nós e sua centralidade (posição relativa entre os mesmos) também indicam temas centrais e correlacionados mais periféricos, perdendo a força de dentro para fora em termos de relevância.

Figura 5: Distribuição das palavras-chave e suas interligações



Fonte: Própria (2022)

O VOSviewer recomendou restrições (ou seja, apenas incluir palavras-chave com uma ocorrência de pelo menos 3 vezes) que foram selecionadas para gerar o mapa de rede de palavras-chave de co-ocorrência. A pesquisa gerou 31 itens exibidos e foram escolhidos 29 destes, com 2 clusters (vermelho e verde) separando-os em dois diferentes subgrupos, com 1790 de strength (força) no total. Os dois itens retirados não tinham relação direta com as demais palavras observadas.

As análises dos artigos identificaram 29 palavras-chaves divididas em dois subgrupos (clusters). A Figura 5, indica as palavras mais frequentes e relevantes para a temática estudada. Nesse contexto, aparecem como as palavras-chaves mais importante: "wastewater treatment", no cluster em verde, (15 ocorrências e 130 de força); "biogas", também no cluster em verde, (9 ocorrências e 77 de força); "anaerobic digestion"/"internal circulation reactor", cluster em verde (6-5 ocorrências e 64-33 de força); "sewage", cluster em vermelho (7 ocorrências e 93 de força); "methane", cluster vermelho (4 ocorrências e 61 de força).

A temática DA vêm crescendo em interesse nas últimas décadas e, particularmente neste trabalho se observou um aumento no estudo nos temas mais específicos: "reactor IC", "biogás", "methane", "fertirrigation", "wastewater treatment". Esse crescente interesse pode ser justificado pelo aumento da necessidade de uso de energias limpas, energias alternativas e

de preservação do meio ambiente, na implantação de projetos de sistemas adequados de tratamento e/ou utilização do efluente de bebidas.

O clusters 1 e 2 que se encontram nas cores vermelha e verde respectivamente, mostram as área-macro de concentração das pesquisas observadas.

O cluster 1 (vermelho), apresentou 16 co-ocorrências das seguintes palavras chaves: polymerase chain reaction/microbiel community/metabolism/biochemical oxygen demand/sewage/waste water/IC reactor/anaerobiosis/anaerobic growth/bioreactor/ chemical oxygen demand/methane. A análise do conjunto de palavras deste cluster indicou que um grupo significativo das pesquisas se concentram na busca da compreensão dos processos microscópicos intrínsecos ao próprio processo, relacionados à microbiologia dos microrganismos, aos metabolismos microbianos, ao crescimento da biomassa e aos tipos de microrganismos envolvidos.

O cluster 2 (verde), apresentou 13 co-ocorrências das seguintes palavras chaves: biogas /internal circulations /industrial water treatment /granular sludge /effluent treatment /anaerobic treatment /industrial effluent /wastewater (treatment)/integrated circuits. A análise do conjunto de palavras deste cluster indicou um outro direcionamento das pesquisas, estas se concentrando na busca da compreensão dos processos macroscópicos relacionados ao processo em escala industrial, eficiência da tecnologia, limitações e aplicações. Apesar das pesquisas ainda estarem mais focadas nos processos microscópicos, a proximidade em termos numéricos entre estes dois clusters indica uma provável tendência de crescimento e possível transição das pesquisas para estudos em escala mais macroscópica, ou seja, em escala real.

Neste sentido, os trabalhos de Kunz, Steinmetz, Do Amaral (2019), Chen (2021); Salazar (2021); indicaram objetivamente esta tendência, apresentando os reatores anaeróbicos de circulação interna (IC) como uma tecnologia bem sucedida para reduzir cargas orgânicas e gerar vários subprodutos de valor agregado (lodo e biogás). Particularmente destacam que o biogás produzido poderá ser utilizado em caldeiras (calor/energia) ou em veículos (GNV) e ainda o lodo pode ser aproveitado como biofertilizante ou inóculo fresco para venda (inoculação e partida de outros reatores). Essas vantagens agregam valor ao ciclo produtivo da indústria de bebidas, altamente dinâmico e competitivo, reduzindo custos de produção, reduzindo emissões de gases e riscos ambientais.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após a realização da revisão bibliométrica da literatura sobre a temática de efluentes industrial de bebidas de grande porte em reatores IC, percebeu-se que majoritariamente os documentos encontrados estão em domínio da região euro-asiática, principalmente em domínio chinês. Parte disso pode ser correspondido pelo fato desses países serem grandes produtores de cerveja e ter clima propício para produção dos insumos cervejeiros, barata a produção e importação. Os países mais desenvolvidos na Ásia e Europa, optam pelo reator IC devido suas características físicas, operacionais e de performance: pouca necessidade de área de implantação, alta eficiência, estabilidade operacional e menor custos de manutenção. Fica evidente que o Brasil, mesmo sendo um dos grandes produtores de cerveja, não investe na divulgação de resultados, seja de estudos acadêmicos ou em escala reais. Este fato não quer dizer que os reatores IC não sejam comuns em indústrias de bebidas de grande porte no Brasil, apenas que não há interesse de publicidade desses casos e pesquisas. Duas tendências foram também observadas pela bibliometria: a concentração de estudos em nível da microbiologia do processo e de aplicações práticas. A quase igualdade do interesse em termos quantitativos por estes dois grupos de concentração é uma evidência da tendência que estes processos estão em nível mundial cada vez mais tomando interesse de aplicação pelas suas vantagens ambientais, econômicas e energéticas.

REFERÊNCIAS

- CHANG, Min. Study on the efficacy of anaerobic biological treatment of industrial wastewater. In: **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**. IOP Publishing, 2019. p. 012042.
- CHEN, Junfeng et al. Bacterial community composition of internal circulation reactor at different heights for large-scale brewery wastewater treatment. **Bioresource Technology**, v. 331, p. 125027, 2021.
- CHEN, Ye; CHENG, Jay J.; CREAMER, Kurt S. Inhibition of anaerobic digestion process: a review. **Bioresource technology**, v. 99, n. 10, p. 4044-4064, 2008.
- CERVIERI JÚNIOR, Osmar. Panoramas setoriais 2030: Bebidas. Panoramas Setoriais 2030: Desafios e oportunidades para o Brasil. Rio de Janeiro, RJ: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, P. 70-73, 2019.

CHERNICHARO, C. A. L. Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias - Reatores Anaeróbios, v. 5. 2 ed. Belo Horizonte: Segrac, DESA, UFMG, 1997, 246 p.

DRIESSEN, Willie et al. Compact combined anaerobic and aerobic process for the treatment of industrial effluent. In: **Environmental Forum, Columbia–Canada: Solutions to Environmental Problems in Latin America**. 2000. p. 24-26.

FORESTI, E.; Fundamentos do processo de digestão anaeróbia. In: **Anais III Taller y Seminario Latinoamericano: tratamiento anaerobio de aguas residuales**. Montevideo, Uruguai, 1994, pp 97-110.

HABETS, Leo HA; DE BOERSTRAAT, T. Introduction of the IC reactor in the paper industry. **Technical Report, PaquesBV, Netherlands**, v. 7, 1999.

HE, Huihui et al. Energy and economic evaluation of three generations of anaerobic reactors for starch wastewater treatment. **Environmental Pollutants and Bioavailability**, v. 31, n. 1, p. 252-260, 2019.

ISOLDI, L. A., KOETZ, P. R. Tratamentos biológicos para remoção de matéria carbonada e nitrogenada. **Ver. Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental**. Vol 12, janjunho, 2004.

KASAVAN, Saraswathy et al. Plastic pollution in water ecosystems: A bibliometric analysis from 2000 to 2020. **Journal of Cleaner Production**, p. 127946, 2021.

KUNZ, Airton; STEINMETZ, Ricardo Luis Radis; DO AMARAL, André Cestonaro. Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato. 2022.

LEI, Rui Ying; WANG, Yue; LI, Yong Feng. Research On Application Of Treating Beet Sugar Wastewater Reactor. In: **Applied Mechanics and Materials**. Trans Tech Publications Ltd, 2014. p. 440-443.

LIU, Xiaodong et al. Improving multi-task deep neural networks via knowledge distillation for natural language understanding. **arXiv preprint arXiv:1904.09482**, 2019.

LIU, Qiong; WANG, Jing. Characteristics During Start-up of Internal Circulation Reactor. In: **Advanced Materials Research**. Trans Tech Publications Ltd, 2012. p. 218-222.

LUO, Gan et al. Performance, kinetics behaviors and microbial community of internal circulation anaerobic reactor treating wastewater with high organic loading rate: role of external hydraulic circulation. **Bioresource technology**, v. 222, p. 470-477, 2016.

METCALF E EDDY. Engenharia de águas residuais: tratamento e reúso, 4ª ed., McGraw-Hill, Nova York, 2003.

MUTOMBO, David Tshilumba. Internal circulation reactor: pushing the limits of anaerobic industrial effluents treatment technologies. In: **Proceedings of the 2004 Water Institute of Southern Africa (WISA) Biennial Conference**. 2004. p. 608-616.

NICOLELLA, Cristiano; VAN LOOSDRECHT, Mark CM; HEIJNEN, Sef J. Particle- based biofilm reactor technology. **Trends in Biotechnology**, v. 18, n. 7, p. 312-320, 2000.

NOVAK, John T.; SADLER, Mary E.; MURTHY, Sudhir N. Mechanisms of floc destruction during anaerobic and aerobic digestion and the effect on conditioning and dewatering of biosolids. **Water Research**, v. 37, n. 13, p. 3136-3144, 2003.

PAZERA, Anna et al. Biogás na Europa: potencial de resíduos de alimentos e bebidas (FAB) para produção de biogás. **Energia e combustíveis**, v. 29, n. 7, pág. 4011-4021, 2015.

PEREBOOM, J. H. F. Size distribution model for methanogenic granules from full scale UASB and IC reactors. **Water science and technology**, v. 30, n. 12, p. 211, 1994.

SANTOS, M.S.; RIBEIRO, F.M. Cervejas e refrigerantes. São Paulo: CETESB, 2005. 58p. Disponível em: Acesso em 15/06/2022.

SERENO FILHO, José Amaro. Tratamento de Efluentes da Indústria de Bebidas em Reator Anaeróbio de Circulação Interna (IC). Trabalho de conclusão de curso MBA em Perícia, Auditoria e Gestão Ambiental. Faculdades Oswaldo Cruz. 79p. 2009.

SERENO FILHO, José Amaro; Santos, A, F. M. S; Bahé, J. M. C. F.; Gobbi, C. N. G. Almeida, J. R.. Tratamento de efluentes da indústria de bebidas em reator anaeróbio de circulação interna (IC). **Revista Internacional de Ciências**, v. 3, n. 1, p. 21-42, 2013.

TYAGI, Vinay Kumar et al. Anaerobic-aerobic system for beverage effluent treatment: Performance evaluation and microbial community dynamics. **Bioresource Technology Reports**, v. 7, p. 100309, 2019.

UMIEJEWSKA, Katarzyna. Conversion of organic compounds into biogas on a full scale brewery WWTP using IC reactor. In: **E3S Web of Conferences**. EDP Sciences, 2019. p. 00095.

XU, Fu et al. Performance and dynamic characteristics of microbial communities in an internal circulation reactor for treating brewery wastewater. **Environmental technology**, v. 34, n. 20, p. 2881-2888, 2013.

WANG, Jiade et al. Study on the flow characteristics and the wastewater treatment performance in modified internal circulation reactor. **Chemosphere**, v. 117, p. 631-637, 2014.

WANG, Yuxiao et al. Advance: IC reactor for high strength industrial wastewater treatment and biogas production. In: **2011 International Conference on Materials for Renewable Energy & Environment**. IEEE, 2011. p. 423-427.

WU, Chenjie et al. Strategy of optimizing anaerobic digestion of cassava distiller wastewater using a novel automatic biological incubation system. **Journal of Environmental Management**, v. 305, p. 114384, 2022.