

## ***Produção de microalgas acopladas ao tratamento de esgoto: panorama e desafios***

As microalgas são fontes sustentáveis de diversos bioprodutos com alto valor agregado, que podem ser utilizados com diferentes finalidades, tais como alimento, energia e matéria-prima. Devido a isso, as microalgas se condicionam como uma potencial solução sustentável para suprir a crescente população mundial, com a vantagem de serem obtidas sem o uso de energia fóssil e terras agricultáveis. Entretanto, os custos associados à produção de microalgas ainda são muito altos, o que inviabiliza a sua produção em larga escala. Uma solução bastante discutida nos últimos anos é a integração do cultivo de microalgas com o tratamento de esgoto, visando diminuir os custos associados ao cultivo. Nesse processo, as microalgas absorvem nitrogênio, fósforo, carbono e outras substâncias presentes no esgoto, gerando ao mesmo tempo, um efluente tratado e uma biomassa com grande potencial econômico. Nesse contexto, a presente revisão apresenta um panorama da produção de microalgas com esgoto e os seus obstáculos para a sua produção em larga escala.

**Palavras-chave:** Microalgas; Tratamento de esgoto; Biomassa; Revisão de literatura.

## ***Microalgae production coupled with wastewater treatment: overview and challenges***

Microalgae are sustainable sources of high value-added bioproducts that can be used for a variety of purposes, such as food, energy, and raw materials. Due to that, microalgae are conditioned as a potential solution to supply the world population increasing, with the advantage of being obtained without the use of fossil energy and arable land. However, the costs associated to the microalgae production are still very high, which makes it impossible to being applied on a large-scale. One solution discussed in the recent years is the microalgae cultivation coupled with wastewater treatment, in order to reduce the costs associated to the cultivation. In this process, the microalgae uptake nitrogen, phosphorus, carbon, and other substances from the wastewater, generating at the same time, a treated effluent and a biomass with great economic potential. In this context, the present review presents an overview of the microalgae production with wastewater and its bottlenecks to the microalgal production on a large-scale.


**Keywords:** Microalgae; Wastewater treatment; Biomass; Literature review.


Topic: **Engenharia Ambiental**

Received: **18/12/2019**

Approved: **10/01/2020**

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

Luan de Souza Leite   
Universidade de São Paulo, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/8171553845469615>  
<http://orcid.org/0000-0002-2108-2960>  
[eng.luanleite@gmail.com](mailto:eng.luanleite@gmail.com)

Luiz Antonio Daniel   
Universidade de São Paulo, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/1620570536303906>  
<http://orcid.org/0000-0002-1765-4209>  
[ldaniel@sc.usp.br](mailto:ldaniel@sc.usp.br)



DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2020.001.0018

### **Referencing this:**

LEITE, L. S.; DANIEL, L. A.. Produção de microalgas acoplada ao tratamento de esgoto: panorama e desafios. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.11, n.1, p.184-200, 2020. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2020.001.0018>

## INTRODUÇÃO

O esgoto ainda é um recurso subvalorizado, sendo considerado na maioria das vezes como um fardo que necessita ser descartado ou incômodo que é muitas vezes ignorado. No Brasil, apenas 46 % de todo o esgoto produzido passa por um sistema de tratamento, porém na região Norte a situação é ainda mais crítica, na qual apenas 22,6 % do esgoto é tratado. O excessivo lançamento de esgoto sem tratamento pode causar grandes consequências ao meio ambiente, pois o aporte de nutrientes como nitrogênio e fósforo em determinados níveis altera as características dos corpos d'água. Ao afetar os usos previstos para aquele corpo hídrico como preservação da vida aquática, abastecimento, geração de energia elétrica, este evento é chamado de eutrofização. Dentre as consequências geradas por esse fenômeno estão: desenvolvimento de condições anóxicas; crescimento incontrolável de algas; maior dificuldade e elevação do custo do tratamento de água; liberação de cianotoxinas; e possibilidade do desaparecimento gradual do corpo lântico (VON SPERLING, 2014).

Estudo realizado por Dodds et al. (2009) mostrou que cerca de US\$2,2 bilhões é perdido anualmente devido à eutrofização em corpos hídricos nos Estados Unidos. Esse valor se deve principalmente às perdas dos valores dos imóveis em torno do corpo d'água eutrofizado e ao uso recreativo. Visto as consequências ambientais e econômicas do lançamento de esgoto *in natura*, é fundamental que a percepção sobre as águas residuárias mude para refletir corretamente o seu valor, uma vez que o esgoto é uma fonte potencialmente acessível e sustentável de água, energia, nutrientes e matéria orgânica. O melhoramento da sua gestão, incluindo a recuperação e a reutilização, oferece uma grande quantidade de oportunidades (WWAP, 2017).

Além de ser um indicador da disponibilidade biológica de nitrogênio e fósforo no meio aquático, as microalgas podem desempenhar um papel de biorremediação. Diversos estudos comprovam a capacidade das microalgas em absorver os poluentes contidos no esgoto (principalmente nitrogênio, fósforo e carbono) (CAPORGNO et al., 2015; FERNANDES et al., 2017; FOLADORI et al., 2018; MENNA et al., 2019), que pode inclusive promover a total remoção de nitrogênio e de fósforo (FERNANDES et al., 2015).

Nas atuais configurações de tratamento usadas nas Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) mundiais, um grande volume de lodo é produzido como subproduto, exigindo etapas adicionais de tratamento (LEITE et al., 2018). Estima-se que os custos envolvidos na higienização e disposição final do lodo é da ordem de 20% a 40% do custo operacional total de uma ETE (SOUZA, 2012). Nesse contexto, o tratamento de esgoto com o uso microalgas se mostra mais sustentável do ponto de vista ambiental e econômico, pois gera como subproduto uma biomassa com alto valor agregado ao invés do lodo. Além disso, o tratamento por microalgas apresenta maiores eficiências de remoção de nitrogênio e fósforo, quando é comparado com outros sistemas de tratamento de esgoto sob as mesmas condições (WANG et al., 2016a).

Apesar das grandes vantagens do uso microalgas no tratamento do esgoto, alguns obstáculos ainda precisam ser vencidos ou contornados para viabilizar o tratamento em grande escala, tais como: O custo associado à separação da biomassa é bastante alto, podendo representar cerca de 20 a 60% do custo total da produção de microalgas (GRIMA et al., 2003); O fotoperíodo natural varia de acordo com as regiões

geográficas, o que condiciona o uso de iluminação artificial para um eficiente crescimento das microalgas em alguns casos. Entretanto, o consumo de energia da iluminação artificial representa 94,5% dos custos totais do processo de cultivo (FRANCISCI et al., 2018); A qualidade do esgoto, utilizado para o cultivo de microalgas, é variável e algumas ETEs recebem eventuais despejos industriais. Tais condições aumentam o risco de contaminação, uma vez que novos compostos podem ser inseridos no sistema de cultivo e a sua consequência para as microalgas não é conhecida. Nesse contexto, a presente revisão de literatura aborda a importância das microalgas, as variáveis envolvidas no processo de cultivo, o uso do esgoto como meio de cultura, os métodos de separação, além dos desafios a serem enfrentados visando a produção em larga escala.

## **METODOLOGIA**

### **Por que cultivar microalgas?**

As microalgas são seres unicelulares, autotróficos e fotossintetizantes que podem ser encontrados em quase todos ambientes aquáticos da superfície terrestre. Consiste em um grupo de microrganismos bastante diversificado com diferentes tamanhos, morfologias e estruturas celulares. Além disso, as microalgas são os principais produtores primários e os organismos mais eficientes em termos de fotossíntese da Terra, o que as tornam uma matéria-prima promissora para diferentes fins (ACREMAN, 1994; KRIENITZ et al., 2015). Um dos maiores desafios do século XXI é suprir o aumento da população mundial com alimentos, matérias-primas e energia em meio às alterações climáticas. As microalgas se condicionam como uma potencial fonte sustentável destes compostos, com a vantagem de serem obtidas sem uso de energia fóssil e nem a utilização de terras agricultáveis (POSTEN et al., 2016).

Diversos compostos de alto valor comercial são encontrados na biomassa microalgal, que possuem diversas aplicações como é mostrado na Tabela 1. Cabe salientar que a maioria dos compostos apresentados não está estabelecida no mercado ou ainda não é comercializada, porém apresentam alto valor no mercado mundial. Segundo estimativas, os ácidos graxos (DHA e EPA) têm um valor de mercado de mais de 700 milhões de US\$/ano, betacaroteno de 261 milhões de US\$/ano, astaxantina de US\$ 240 milhões/ano e a luteína de US\$ 233 milhões/ano (MARKOU et al., 2013).

A quantidade produzida de cada bioproduto da biomassa de microalgas depende de alguns fatores como a espécie da microalga cultivada e as condições de cultivo. Existem estratégias para o aumento da produção de determinado composto por estresses às microalgas durante o cultivo. Tais como a utilização de alta intensidade luminosa fotossintetizante, variação de temperatura, adição de sal, privação de nutrientes (nitrogênio e/ou fósforo) e o tipo de carbono utilizado (orgânico e inorgânico) (LIANG et al., 2018).

Nos últimos anos, as pesquisas envolvendo microalgas tiveram enfoque predominante na produção de biocombustíveis (SLADE et al., 2013). No entanto, recentemente tem havido um direcionamento para pesquisas de compostos com alto valor agregado (BHARAMURUGAN et al., 2018). Principalmente porque o custo do processamento (extração, purificação e conversão) requerido para a obtenção de biocombustíveis

é alto, o que inviabiliza a produção em larga escala (BRENNAN et al., 2010). Uma das maneiras proposta para redução desse custo é extrair vários produtos em uma etapa única, aplicando assim o conceito de biorefinaria, onde vários processos de conversão de biomassa ocorrem simultaneamente para obter biocombustíveis e outros bioprodutos (SINGH et al., 2015a).

**Tabela 1:** Bioprodutos provenientes de microalgas e suas potenciais aplicações.

	<b>Produto</b>	<b>Aplicações</b>
Biomassa	Biomassa	Alimentos naturais Alimentos funcionais Suplemento alimentar Biofertilizante Aquacultura
Pigmentos e antioxidantes	Xantofilas (astaxantina e cantaxantina)	Suplemento alimentar Alimentos naturais Cosméticos
	Luteína (lipocromo)	
	Betacaroteno	
	Vitamina C e E	
Ácidos graxos	Ácido araquidônico - AA	Suplemento alimentar
	Ácido eicosapentaenóico - EPA	
	Ácido docosahexaenóico - DHA	
	Ácido gama-linolênico - GLA	
	Ácido linoléico - AL	
Enzimas	Superóxido dismutase - SOD	Alimentos naturais Pesquisa Medicina
	Fosfoglicerado quinase - PGK	
	Luciferase e Luciferina	
	Enzimas de restrição	
Polímeros	Polissacarídeos	Alimentos naturais Cosméticos Medicina
	Amido	
	Ácido poli- $\beta$ -hidroxibutírico -PHB	
Produtos especiais	Peptídeos	Pesquisa Medicina
	Toxinas	
	Isótopos	
	Aminoácidos	
	Esteróis	
Bioplástico	Polihidroxialcanoato (PHA)	Cosméticos Plásticos duráveis

**Fonte:** Barbosa (2003).

Visto a ampla gama de valiosos compostos obtidos da biomassa de microalga e o seu oneroso processo de produção, esforços tem sido feitos para reduzir os custos nas diferentes etapas do processo de produção, que consiste usualmente em: cultivo, separação, secagem e processamento/extração, caso o uso final requeira. Nesse contexto, a combinação da produção de microalgas integrada ao tratamento de esgoto se põe como uma solução promissora para superar os custos do processo de cultivo (KADIR et al., 2018).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Cultivo de microalga e parâmetros envolvidos

A eficiência da produção da biomassa pela fotossíntese depende principalmente dos seguintes fatores relacionados ao cultivo: tipo de sistema de cultivo, disponibilidade de nutrientes, relação nitrogênio e fósforo (N:P), pH, fonte de CO<sub>2</sub>, temperatura, quantidade de luz fornecida e fotoperíodo. Diversos tipos de sistemas de cultivo de microalgas são reportados na literatura, que se diferem principalmente quanto à configuração, custo de construção e operação, dependência climática e tipo de mistura. Geralmente, os sistemas são classificados quanto a sua configuração, podendo ser abertos ou fechados (RAZZAK et al., 2013).

Os sistemas fechados, mais conhecido como fotobiorreatores, apesar de serem mais onerosos, possuem algumas vantagens sobre os sistemas abertos como: minimização de contaminação e melhor controle das variáveis envolvidas (SINGH et al., 2012). Existem diferentes exemplos de sistemas comerciais do sistema fechado (*airlift*, *bubble column*, *flat panel* e tubular) e aberto (*raceway* e lagoas). Um comparativo entre as características gerais de cada sistema citado é mostrado na Tabela 2.

Durante o cultivo, as microalgas absorvem os nutrientes inorgânicos provenientes do meio e os convertem em nutrientes orgânicos pelo metabolismo intracelular. Os principais nutrientes requeridos para o crescimento da biomassa são o nitrogênio (N) e o fósforo (P). A amônia (NH<sub>3</sub>) e o ortofosfato (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) são as espécie preferenciais de nitrogênio e fósforo a ser incorporada pelas microalgas e, posteriormente convertidas em compostos orgânicos nitrogenados e fosfóricos, respectivamente (JIA et al., 2016). Além disso, as microalgas possuem capacidade de armazenamento de PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>. Tal fato, leva a uma absorção de uma concentração maior do que é requerida para o crescimento microalgal (EIXLER et al., 2006).

**Tabela 2:** Comparativo entre os sistemas de cultivo aberto e fechado.

Parâmetros	Sistema aberto	Sistema fechado
Controle de temperatura	Não	Sim
Utilização de CO <sub>2</sub>	Pouco	Alto
Transferência de gás	Ruim	Melhor
Eficiência da iluminação	Boa	Excelente
Esterilidade	Nenhuma	Possível em certo nível
Controle de predador	Difícil	Alcançável
Produtividade	Baixa	Alta
Relação superfície/volume	Moderada	Alta
Perda de evaporação	Alta	Prevenível
Automação	Em certo nível	Alta
Estresse hidrodinâmico na alga	Baixo	Alto
Custo aumento de escala	Baixo	Alto

**Fonte:** Patel et al. (2017).

A relação N:P disponível no meio afeta a produção de biomassa e a absorção de nutrientes pelas microalgas. Devido a essas razões, muitos pesquisadores buscaram encontrar a relação ótima de N:P para o crescimento do fitoplâncton (GEIDER et al., 2002). No entanto, existem poucos estudos sobre a relação N:P para o cultivo de microalgas com esgoto na literatura. Choi et al. (2015) encontraram que a máxima produtividade de *Chlorella vulgaris* foi obtida na razão N:P de 1 a 10 utilizando esgoto doméstico, com eficiências de remoção superiores a 75% desses mesmos nutrientes. Enquanto que Fernandes et al. (2017) verificaram que a microalga *Chlorella sorokiniana* é capaz de remover completamente o nitrogênio e fósforo inorgânicos presentes em água negra concentrada, usando as relações de N:P variando de 15 a 26. Os autores também constataram que a absorção de nitrogênio e fósforo é diferente, uma vez que o fósforo apresenta uma remoção mais rápida do que a do nitrogênio.

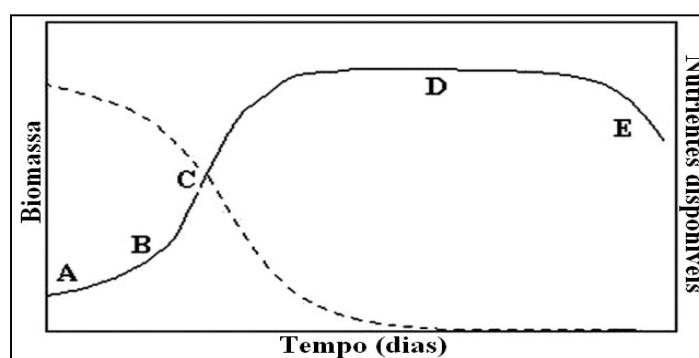
Em geral, a faixa de pH para a maioria das espécies de algas é de 7 a 9, sendo a amplitude ótima de 8,2 a 8,7 (PAHAZRI et al., 2016). O controle do pH é realizado artificialmente pela adição de produtos químicos ou pela injeção de CO<sub>2</sub> no sistema de cultivo. Em cultivos sem a injeção de CO<sub>2</sub>, as microalgas se adaptam ao meio alcalino e utilizam o bicarbonato (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) como fonte de carbono inorgânico para a fotossíntese. O HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> é convertido em CO<sub>2</sub> por enzimas intracelulares de anidrase carbônica e há uma consequente liberação

de  $\text{OH}^-$  para o meio, o que justifica o aumento do pH nessas condições (RAVEN et al., 2008). Quanto maior o pH se torna, maior será a porcentagem da amônia ( $\text{NH}_3$ ) na forma livre, sendo que essa forma de nitrogênio pode ser tóxica para os seres vivos presentes no meio (VON SPERLING et al., 2001). Entretanto, estudos de produção de biomassa em alto pH não demonstraram inibição do crescimento de microalgas (GODOS et al., 2009; ZHANG et al., 2014a; VADLAMANI et al., 2017).

A maioria das espécies de microalgas possuem a faixa ótima para o crescimento de 20 a 30 °C para a temperatura e de 33 a 400  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  para a intensidade luminosa (SINGH et al., 2015b). Entretanto, estudos mostram diferentes valores na prática, o que reforça a importância de uma ampla investigação experimental da microalga a ser utilizada. *Chlorella sorokiniana* suporta elevada intensidade luminosa, podendo chegar a 2.100  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  sem mostrar sinais de fotoinibição (CUARESMA et al., 2009), porém valores de irradiações superiores a 1.100  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  não geram nenhum aumento na produção de  $\text{O}_2$  (CAZZANIGA et al., 2014). A classe *Chlorophyceae* suporta temperaturas de 26 a 42 °C (KESSLER, 1985), sendo que a *Chlorella sorokiniana* tem 38 °C como a temperatura ótima para o crescimento da biomassa (FRANCO et al., 2012).

A escolha do fotoperíodo apropriado (período de claro:escuro em horas) é importante quando o objetivo é a maximização da produção de microalgas. Considerável biomassa é perdida durante o período escuro em relação ao final do período claro, que pode chegar a 20% em termos de peso seco de microalga (EDMUNDSON et al., 2015). Isso se deve porque algumas microalgas não conseguem armazenar fotoenergia para sustentar o seu crescimento no período sem iluminação (JANSSEN, 2002). Diversos fotoperíodos ótimos são reportados na literatura, usando diferentes meios de cultura e diferentes intensidades luminosas (KHOEYI et al., 2012; KRZEMIŃSKA et al., 2015).

A curva característica do crescimento de microalga pela disponibilidade de nutriente no meio é mostrada na Figura 1. A curva de crescimento pode ser construída a partir de medidas periódicas de absorbância, peso seco, clorofila e contagem de células. As cinco etapas do crescimento de microalgas são: (A) latência (lag), (B) exponencial, (C) linear, (D) estacionária e, (E) morte ou declínio. Cabe salientar que se trata de uma divisão didática, uma vez que as fases em sistemas de cultivos reais não são claramente separadas ou nem todas elas ocorrem (ALMOMANI et al., 2016; CAPORGNO et al., 2015; FERNANDES et al., 2015; ZHANG et al., 2014).



**Figura 1:** Curva do crescimento de microalga (linha contínua) pela disponibilidade de nutriente (linha tracejada).

**Fonte:** Patel et al. (2017).

## Esgoto como meio de cultura

Estima-se que existem cerca de 72.500 espécies de algas catalogadas presentes em ecossistemas de água doce, marinho e terrestre (GUIRY, 2012). Entretanto, apenas algumas espécies foram testadas quanto a sua tolerância à poluição orgânica (ARAVANTINO et al., 2013), sendo os gêneros *Chlorella* e *Scenedesmus* os mais usuais em estudos de cultivo com esgoto (MATTOS et al., 2012; KIM et al., 2013; CHOI et al., 2015; POSADAS et al., 2015; HONG et al., 2016; SHCHEGOLKOVA et al., 2018).

A combinação do crescimento de microalga e o tratamento de esgoto é uma solução promissora para superar os altos custos associados ao cultivo, pois é estimada uma redução superior a 50% quando nutrientes, carbono e água são obtidos por fontes de baixo custo como o esgoto (SLADE et al., 2013). O cultivo de microalgas com o esgoto também promove um descarte seguro do efluente, ao reduzir substancialmente as concentrações de nutrientes inorgânicos (N e P) e outras substâncias presentes inicialmente no esgoto, além de gerar uma biomassa com potencial alto valor econômico.

Poluentes emergentes, hormônios, corantes e traços de metais podem ser removidos durante o cultivo de microalgas por diferentes processos (absorção, biodegradação ou fotodegradação) (NORVILL et al., 2016; UDAIYAPPAN et al., 2017). Outro aspecto positivo é que considerável remoção de bactérias (Coliformes termotolerantes, *E. Coli*, *Pseudomonas* e *Enterococcus*) é obtida durante o cultivo (ANSA et al., 2012; RUAS et al., 2018). Além disso, o consórcio entre microalgas e bactérias, contidas inicialmente no esgoto, também promove a degradação de matéria orgânica do esgoto, tanto da parcela dissolvida quanto a particulada (FOLADORI et al., 2018a).

Na tabela 3 são mostrados os resultados de cultivo de microalgas com diferentes tipos de esgoto, espécies e condições operacionais. A elevada eficiência na remoção de nitrogênio e fósforo presentes no esgoto e, a possibilidade de produção de microalgas usando diferentes tipos de esgoto mostram o enorme potencial do tratamento de esgoto utilizando microalgas.

Apesar do nitrogênio, fósforo e carbono serem os principais nutrientes para o crescimento microalgal, outros nutrientes também são essenciais para a promoção do crescimento, como cálcio, potássio, magnésio e metais-traços (níquel, manganês e cobre) (CAVET et al., 2003). Além disso, a disponibilidade de nutrientes no esgoto não é o único requisito, pois os fatores operacionais, incluindo luz, temperatura, pH, já discutidos nessa revisão, podem contribuir para a qualidade e quantidade do crescimento microalgal (PAHAZRI et al., 2016).

Alguns cuidados devem ser tomados em relação à combinação de alguns fatores físicos durante o cultivo, pois elevado pH (9 a 10) e alta aeração podem promover a remoção da  $\text{NH}_3$  livre do esgoto por meio do processo de *air stripping* (ZHANG et al., 2012). Tal fato reduz drasticamente a quantidade de nitrogênio no esgoto, o que impede uma maior produção de biomassa pela limitação de nitrogênio no meio (LEITE et al., 2019a).

Um problema intrínseco para a produção de microalga utilizando esgoto é que a elevada turbidez e cor do esgoto podem interferir significativamente na penetração de luz e conseqüentemente, na remoção de

nutrientes e na produtividade da biomassa (MARCILHAC et al., 2014). Como medida corretiva, diversas pesquisas aplicam um pré-tratamento no esgoto para reduzir a sua carga orgânica (sólidos dissolvidos e suspensos) antes de usá-lo no cultivo de microalgas, como sedimentação (WANG et al., 2016b; FRANCISCI et al., 2018), centrifugação (KUO et al., 2015), filtração (ZHANG et al., 2018) e diluição do esgoto com água ou meio de cultura (GAO et al., 2018). No entanto, o uso desses processos em larga escala pode aumentar ainda mais o custo do cultivo de microalgas.

**Tabela 3:** Comparativo entre as produções de biomassa e remoções de nitrogênio (N) e fósforo (P) usando diferentes tipos de esgoto, espécies de microalgas e condições operacionais. As eficiências de remoção de N e P são mostradas entre parênteses.

Tipo de esgoto	Microalga	Concentração (mg·L <sup>-1</sup> )		Biomassa (g·L <sup>-1</sup> )	Referência
		N	P		
Laticínio	<i>Chlamydomonas polypyrenoideum</i>	101,8 (63,0)	5,58 (69,0)	0,6 <sup>a</sup>	Kothari et al. (2013)
Destilaria de álcool	<i>Chlorella sorokiniana</i>	15 (95,0)	773 (77,0)	10,0	Solovchenko et al. (2014)
Água negra concentrada	<i>Chlorella sorokiniana</i>	1070 (98,9)	73 (100)	12.1	Fernandes et al. (2015)
Sanitário	<i>Chlorella vulgaris</i>	41,6 (83,0)	3,1 (100)	2,6 <sup>b</sup>	Delgadillo-Mirquez et al. (2016)
Efluente primário	<i>Chlorella vulgaris</i>	41,0 (60,2)	10,0 (34,8)	2,7 <sup>c</sup>	Almomani et al. (2016)
Efluente secundário		62,9 (55,9)	26,0 (11,5)	1,9 <sup>c</sup>	
Lodo digerido		136,6 (33,6)	200,0 (25,8)	2,4 <sup>c</sup>	
Dejeto suíno	<i>Chlorella vulgaris</i>	420,6 (89,5)	60,4 (85,3)	0,8	Wang et al. (2016b)
Resíduos de cozinha	<i>Scenedesmus sp.</i>	118,6 (22,9)	1,0 (96,2)	0,5	Yu et al. (2017)
Processamento de frutos do mar concentrado	<i>Chlorella sp.</i>	121,1 (96,6)	57,3 (68,4)	0,9	Gao et al. (2018)
Processamento de frutos do mar diluído		45,4 (89,8)	23,2 (77,6)	0,8	
Sanitário/dejeto suíno	<i>Chlorella sorokiniana</i>	306 - 186 (92,2 - 96,6)	10,9 - 19,5 (40,0 - 60,0)	0,9 - 1,0	Leite et al. (2019)

Nota: Produção de microalga reportada em termos de absorvância nos comprimentos de onda de <sup>a</sup>650 e <sup>c</sup>690 nm, e <sup>b</sup>clorofila (mg·L<sup>-1</sup>).

Nesse contexto, o pré-tratamento em reator UASB pode ser uma solução clássica e de baixo custo para reduzir a carga orgânica do esgoto, especialmente em regiões de clima quente. Além disso, o tratamento biológico anaeróbico converte o nitrogênio orgânico em amoniacal e o fósforo orgânico em ortofosfato (fósforo inorgânico) (METCALF et al., 2003), os quais as microalgas utilizam para o seu crescimento. Outra vantagem é que o reator UASB não é eficiente na remoção de nutrientes e portanto não altera significativamente a concentração de nitrogênio e fósforo do esgoto afluente (VON SPERLING et al., 2001).

Cuidados especiais devem ser tomados durante a operação do cultivo de microalgas, para promover a eficiência esperada para o sistema, uma vez que as seguintes situações estão sujeitas a ocorrerem: Crescimento de outras espécies de microalgas, além da inoculada inicialmente; Presença de predadores de microalgas ou outros microrganismos; Contaminação do cultivo pela presença de algum composto no esgoto, uma vez que algumas ETEs recebem eventuais despejos industriais.

Para evitar os problemas citados, é necessário um monitoramento periódico do sistema de cultivo para verificar a dinâmica das espécies de microalgas presentes, a presença de outros microrganismos e o



crescimento da biomassa. Caso seja necessário, o sistema de cultivo necessita ser inoculado novamente com cultura pura e adaptada.

### Perspectiva brasileira

Visando a produção de microalgas integrada ao tratamento de esgoto no Brasil, algumas limitações precisam ser superadas, principalmente relativas à concentração de nutrientes disponíveis. Estima-se que a concentração típica de nitrogênio e fósforo nos sistemas centralizados brasileiros de coleta de esgoto sanitário é de 45 e 7 mg·L<sup>-1</sup>, respectivamente (VON SPERLING, 2014). O cultivo de microalga nessas baixas concentrações de nutrientes é impraticável do ponto de vista econômico, prático e sustentável (UDAIYAPPAN et al., 2017).

Uma possível solução é enriquecer nutricionalmente o esgoto bruto proveniente das ETEs brasileiras com outro tipo de esgoto, que apresente altas concentrações de nitrogênio e fósforo (GANESHKUMAR et al., 2018). Os dejetos provenientes da suinocultura contêm altas concentrações de matéria orgânica, nitrogênio e fósforo (KUNZ et al., 2009), o que o torna um potencial candidato. Oportunamente, o Brasil ocupou o quarto lugar em produção e exportação de carne suína no mundo, produzindo cerca de 3,75 milhões de toneladas em 2017 (ABPA, 2018).

Além disso, o elevado volume de dejetos suínos tem sido um problema ambiental, pois em alguns casos são lançados diretamente nos corpos de água. Sendo assim, a mistura de dejetos suínos com esgoto doméstico, se torna atraente do ponto de vista ambiental e econômico. Além de ter o respaldo científico, uma vez que vários pesquisadores tiveram sucesso no uso de dejetos suínos para o cultivo de microalgas (KUNZ et al., 2009; FRANCHINO et al., 2016; GANESHKUMAR et al., 2018). É importante mencionar que o uso direto de dejetos suínos no cultivo de microalga não é recomendado devido à sua alta carga orgânica.

Outro ponto positivo na mistura de esgoto doméstico e suíno é que há uma diluição natural da turbidez do efluente suíno, porém a proporção de cada efluente precisa ser otimizada. Uma vez que o dejetos suíno é muito concentrado em termos de matéria orgânica (> 7000 mg L<sup>-1</sup> de ST) e nutrientes (> 300 mg L<sup>-1</sup> de N e >400 mg L<sup>-1</sup> de P) e um maior volume na mistura de esgoto pode afetar tanto a turbidez e cor quanto a concentração de nutrientes (SÁNCHEZ et al., 2005).

Um estudo piloto foi realizado por Leite et al. (2019) usando a mistura de esgoto sanitário e dejetos suínos para a produção de microalgas durante quatro semanas. O sistema era constituído pelo reator UASB como pré-tratamento e o cultivo de microalga em três fotobiorreatores do tipo *flat panel*. Alta remoção de matéria orgânica foi obtida pelo reator UASB (> 92% de remoção de DQO), mesmo com grande variação da qualidade da mistura de esgoto. A concentração de *Chlorella sorokiniana* atingiu cerca de 1 g·L<sup>-1</sup>, com uma remoção média de 100% para a amônia, 46 a 56% para o carbono inorgânico dissolvido e 40 a 60% para o ortofosfato. Esses resultados mostram o grande potencial da mistura de esgoto sanitário e dejetos suínos para a produção de microalgas e podem servir como diretrizes para a aplicação do sistema em larga escala no Brasil.

## Separação de microalgas

O custo da separação é outro gargalo na produção de microalgas em larga escala. Isso se deve à dificuldade em remover a biomassa produzida do meio de cultura, devido à sua baixa concentração em sistemas de cultivo ( $0,5$  a  $5,0 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ ), pequeno diâmetro das células ( $5$  a  $50 \mu\text{m}$ ) e a carga superficial negativa (SUKENIK et al., 1984). Estima-se que a recuperação de biomassa pode representar de 20 a 60% do custo total de produção de microalgas (GRIMA et al., 2003). Diferentes métodos se mostram eficientes para a recuperação de microalgas, incluindo principalmente a flotação, filtração, centrifugação e sedimentação (KADIR et al., 2018). Na Tabela 4 é apresentado um resumo das vantagens e desvantagens dessas tecnologias.

Diferentemente da separação da biomassa cultivada em meio de cultura, a separação de microalgas do esgoto é bastante complexa, uma vez que o esgoto contém muitos compostos (orgânicos e inorgânicos) e sólidos que podem interagir com as microalgas e/ou agente separador (precipitados, coagulantes) e dificultar o processo. Além disso, as concentrações iniciais de cada composto no esgoto são altamente variáveis, devido às condições climáticas, padrões diários e presença de efluentes industriais (CHYS et al., 2018).

Entender as interações entre todas as espécies presentes no esgoto e as microalgas durante a separação é fundamental para compreender os mecanismos envolvidos e obter uma alta eficiência de separação. Alguns estudos reportam que a presença de algumas substâncias, que podem ser encontradas no esgoto, podem diminuir ou até inibir o processo de separação, como matéria orgânica proveniente de microalgas, ácidos húmicos, carboidratos, proteína e ácido cítrico (BEUCKELS et al., 2013; VANDAMME et al., 2016; LEITE et al., 2019). Visto isso, é importante um amplo estudo para a validação da tecnologia de separação a ser usada para microalgas cultivadas em esgoto.

**Tabela 4:** Vantagens e desvantagens dos principais processos de separação de microalgas.

Método	Vantagens	Desvantagens
Centrifugação	Rápida Fácil Alta eficiência	Alto custo Consumo de energia Dano celular
Filtração	Uso em pequena escala Alta eficiência	Processo lento Entupimento ou incrustação Alto custo operacional
Sedimentação	Uso em grande escala Baixa demanda energética Fácil operação	Custo do coagulante Toxicidade da biomassa
Flotação	Uso em grande escala Baixo tempo de detenção hidráulica Baixo custo Baixa área requerida	Uso de coagulante Estabilidade do material Demanda energética para geração de microbolhas

**Fonte:** Adaptado de Ahmad et al. (2014) e Kadir et al. (2018).

Na literatura, informações sobre eficiências de separação e novos métodos são encontrados principalmente para separação de microalgas do meio de cultura (DECONINCK et al., 2018). Além disso, mesmo as informações de trabalhos com esgoto requerem cuidado, uma vez que a qualidade do efluente do cultivo é variável em termos de composição e concentração de biomassa.

Outra dificuldade encontrada, em termos de Engenharia, é que geralmente os trabalhos de

separação não consideraram as condições de operação como uma variável de estudo, seja na coagulação, floculação ou flotação. Em geral, os experimentos são conduzidos em pequenos volumes e informações sobre gradientes de velocidade e velocidade de flotação não são apresentadas, o que dificulta a ampliação e/ou reprodução do processo proposto (VANDAMME et al., 2012; WU et al., 2012; KURNIAWATI et al., 2014; RAKESH et al., 2014; UMMALYMA et al., 2016; PÉREZ et al., 2017). Além disso, a otimização dos parâmetros envolvidos é algo necessário para diminuir o custo do processo e obter a maximização da eficiência. Dentre os métodos citados para a separação de microalga, a sedimentação e a flotação se destacam por serem tecnologias consolidadas no tratamento de esgoto e aplicáveis em larga escala.

### **Sedimentação**

O método de sedimentação é usualmente reportado no contexto de biotecnologia como floculação, por causa da prévia formação de flocos antes da sedimentação. Além disso, a nomenclatura dos tipos de sedimentação usadas nos artigos internacionais não é única, o que pode gerar confusão no leitor. Segundo Branyikova et al. (2018), a sedimentação pode ser causados pela: (1) floculação alcalina espontânea ou forçada, (2) floculação química com adição de coagulantes, (3) autofloculação causada pelas substâncias poliméricas extracelulares, e (4) biofloculação, que envolve outros microrganismos.

A sedimentação se destaca como um processo de baixo custo e pode concentrar a suspensão de microalgas em até 100 vezes (VANDAMME et al., 2013). Os métodos expostos atingem altas eficiências de remoção de microalgas, porém apresentam desvantagens que devem ser consideradas para sua seleção. Os coagulantes popularmente usados no tratamento de esgoto e água, como sulfato de alumínio, cloreto férrico e outros, podem contaminar a biomassa e dificultar o processo de extração de bioprodutos (UMMALYMA et al., 2016). A autofloculação induzida pela produção de substâncias poliméricas extracelulares é um processo lento e depende principalmente da presença de substâncias na superfície celular como glicoproteínas (SALIM et al., 2014). Enquanto a biofloculação, que utiliza muitas vezes de outros microrganismos para promover a floculação, pode causar a contaminação da biomassa (UMMALYMA et al., 2017).

Considerando as características do esgoto, a sedimentação pela floculação alcalina parece uma solução promissora, na qual o aumento do pH conduz à precipitação química de sais de cálcio e/ou magnésio, que por interação eletrostática promovem a separação de microalgas (VANDAMME et al., 2012). É um método de baixo custo, não tóxico e usualmente o esgoto possui as concentrações das espécies necessárias para a formação dos precipitados (COLE et al., 2016). O custo da floculação alcalina se baseia no preço da base usada para promover o pH alcalino (pH 9 a 12), além do custo adicional para reduzir o pH do efluente, a fim de atender as legislações vigentes de lançamento de efluentes (Resolução CONAMA n° 430/11).

### **Flotação**

O método de flotação é baseado na geração de microbolhas de ar para promover a ascensão dos flocos de microalgas até a superfície do sistema, onde são acumulados e removidos, permitindo assim, a recuperação da biomassa gerada durante o cultivo (LAAMANEN et al., 2016). Os métodos tradicionais da

flotação, que se baseiam na geração mecânica de microbolhas, são: a flotação por ar dissolvido (FAD) e a flotação por ar disperso (FADi).

A flotação é mais eficiente para a remoção de microalga do que a floculação, considerando os mesmos parâmetros de coagulação (pH, dosagem de coagulante, tempo de mistura e gradiente de velocidade) para ambos os métodos (EDZWALD, 1993). Além disso, a drenagem gravitacional promovida pela flotação promove uma biomassa mais espessa do que a obtida pela sedimentação (RUBIO et al., 2002).

O processo de flotação é usualmente precedido pela coagulação e/ou floculação, onde a agitação promove o contato de compostos químicos com as microalgas, para a sua desestabilização e posterior formação de flocos (EDZWALD, 2010). Na etapa de coagulação, coagulantes naturais, sais de metais e sintéticos são usualmente usados (KURNIAWATI et al., 2014; NDIKUBWIMANA et al., 2016; SHI et al., 2017; LEITE et al., 2019b), enquanto que a floculação alcalina seguida pela flotação é pouco explorada (BESSION et al., 2013; LEITE et al., 2020).

O emprego da FAD na separação de microalgas é mais usual e apresenta altas eficiências (WILEY et al., 2009; KWON et al., 2014; ZHANG et al., 2014). Além disso, a FAD é um processo eficiente para melhorar a qualidade do esgoto, reduzindo a DQO, sólidos suspensos, turbidez, fósforo e protozoários patogênicos como os cistos de *Giardia spp.* e oocistos de *Cryptosporidium spp.* (MARCHIORETTO et al., 2001; SANTOS et al., 2017).

Além disso, outros métodos alternativos de flotação foram propostos com o intuito de reduzir os custos relativos à geração mecânica de microbolhas, que podem ser similares aos custos da centrifugação (MILLEDGE et al., 2013). São exemplos o uso de biofloculante (LEI et al., 2015), eletrólise de alumínio (ZHANG et al., 2015; SHI et al., 2017) e a geração de hidrogênio com o cultivo em conjunto com cianobactérias (FENG et al., 2016).

## CONCLUSÕES

As microalgas são fontes de valiosos bioprodutos que são aplicados para diferentes finalidades, o que justifica a necessidade de pesquisas para viabilizar a sua produção em larga escala. A produção de microalgas em conjunto com o tratamento de esgoto é uma solução sustentável para reduzir os custos associados ao cultivo, uma vez que os nutrientes, carbono e água são obtidos com baixo custo. Nesse processo, as microalgas absorvem os nutrientes e outras substâncias promovendo o tratamento do esgoto enquanto gera biomassa microalgal.

Apesar dos benefícios do uso de esgoto como meio de cultura, a sua complexidade pode trazer consequências para a etapa de separação, uma vez que a presença de sólidos e alguns compostos podem reduzir a eficiência ou até inibir a separação por determinados métodos. Tal fato reforça a necessidade da validação do método de separação para cada tipo de efluente. Em suma, o emprego do esgoto como meio de cultivo se candidata como uma solução promissora, porém ainda existem muitos desafios para serem superados ou contornados para tornar o processo de produção microalgal economicamente viável.

**AGRADECIMENTOS:** à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pela concessão de bolsa de Mestrado (Proc. FAPESP 2017/14620-1) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) pelo auxílio à pesquisa (Proc. CNPq 302412/2017-1).

## REFERÊNCIAS

- ACREMAN, J.. Algae and cyanobacteria: isolation, culture and long-term maintenance. **Journal of Industrial Microbiology**, v.13, p.193-194, 1994. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF01584008>
- AHMAD, A. L.; YASIN, N. H. M.; DEREK, C. J. C.; LIM, J. K.. Comparison of harvesting methods for microalgae *Chlorella* sp. and its potential use as a biodiesel feedstock. **Environmental Technology**, v.35, n.17, p.2244-2253, 2014. DOI: <http://doi.org/10.1080/09593330.2014.900117>
- ALMOMANI, F. A.; ÖRMECI, B.. Performance of *Chlorella vulgaris*, *Neochloris oleoabundans*, and mixed indigenous microalgae for treatment of primary effluent, secondary effluent and centrate. **Ecological Engineering**, v.95, p.280-289, 2016. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.06.038>
- ANSA, E. D. O.; LUBBERDING, H. J.; GIJZEN, H. J.. The effect of algal biomass on the removal of faecal coliform from domestic wastewater. **Applied Water Science**, v.2, n.2, p.87-94, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13201-011-0025-y>
- ARAVANTINO, A. F.; THEODORAKOPOULOS, M. A.; MANARIOTIS, I. D.. Selection of microalgae for wastewater treatment and potential lipids production. **Bioresource Technology**, v.147, p.130-134, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2013.08.024>
- ABPA. Associação Brasileira de Proteína Animal. **Annual Report**. São Paulo: ABPA, 2018.
- BARBOSA, M.. **Microalgal photobioreactors: Scale-up and optimisation**. Wageningen: Wageningen University, 2003.
- BESSON, A.; GUIRAUD, P.. High-pH-induced flocculation-flotation of the hypersaline microalga *Dunaliella salina*. **Bioresource Technology**, v.147, p.464-470, 2013. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.08.053>
- BEUCKELS, A.; DEPRAETERE, O.; VANDAMME, D.; FOUBERT, I.; SMOLDERS, E.; MUYLAERT, K.. Influence of organic matter on flocculation of *Chlorella vulgaris* by calcium phosphate precipitation. **Biomass and Bioenergy**, v.54, p.107-114, 2013. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.biombioe.2013.03.027>
- BHALAMURUGAN, G. L.; VALERIE, O.; MARK, L.. Valuable bioproducts obtained from microalgal biomass and their commercial applications: A review. **Environmental Engineering Research**, v.23, n.3, p.229-241, 2018. DOI: <https://doi.org/10.4491/eer.2017.220>
- BRANYIKOVA, I.; FILIPENSKA, M.; URBANOVA, K.; RUZICKA, M. C.; PIVOKONSKY, M.; BRANYIK, T.. Physicochemical approach to alkaline flocculation of *Chlorella vulgaris* induced by calcium phosphate precipitates. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v.166, p.54-60, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2018.03.007>
- BRENNAN, L.; OWENDE, P.. Biofuels from microalgae-A review of technologies for production, processing, and extractions of biofuels and co-products. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.14, p.557-577, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.10.009>
- CAPORGNO, M. P.; TALEB, A.; OLKIEWICZ, M.; FONT, J.; PRUVOST, J.; LEGRAND, J.; BENGUA, C.. Microalgae cultivation in urban wastewater: Nutrient removal and biomass production for biodiesel and methane. **Algal Research**, v.10, p.232-239, 2015. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.algal.2015.05.011>
- CAVET, J. S.; BORRELLY, G. P. M.; ROBINSON, N. J.. Zn, Cu and Co in cyanobacteria: Selective control of metal availability. **FEMS Microbiology Reviews**, v.27, p.165-181, 2003. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0168-6445\(03\)00050-0](https://doi.org/10.1016/S0168-6445(03)00050-0)
- CAZZANIGA, S.; OSTO, L. D.; SZAUB, J.; SCIBILIA, L.; BALLOTTARI, M.; PURTON, S.; BASSI, R.. Domestication of the green alga *Chlorella sorokiniana*: reduction of antenna size improves light-use efficiency in a photobioreactor. **Biotechnology for Biofuels**, v.7, p.1-13, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13068-014-0157-z>
- CHOI, H. J.; LEE, S. M.. Effect of the N/P ratio on biomass productivity and nutrient removal from municipal wastewater. **Bioprocess and Biosystems Engineering**, v.38, n.4, p.761-766, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00449-014-1317-z>
- CHYS, M.; DEMEESTERE, K.; NOPEN, I.; AUDENAERT, W. T. M.; VAN HULLE, S. W. H.. Municipal wastewater effluent characterization and variability analysis in view of an ozone dose control strategy during tertiary treatment: The status in Belgium. **Science of the Total Environment**, v.625, p.1198-1207, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.032>
- COLE, A. J.; NEVEUX, N.; WHELAN, A.; MORTON, J.; VIS, M.; NYS, R.; PAUL, N. A.. Adding value to the treatment of municipal wastewater through the intensive production of freshwater macroalgae. **Algal Research**, v.20, p.100-109, 2016. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.algal.2016.09.026>
- CUARESMA, M.; JANSSEN, M.; VÍLCHEZ, C.; WIJFFELS, R. H.. Productivity of *Chlorella sorokiniana* in a short light-path (SLP) panel photobioreactor under high irradiance. **Biotechnology and Bioengineering**, v.104, n.2, p.352-359, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1002/bit.22394>
- DECONINCK, N.; MUYLAERT, K.; IVENS, W.; VANDAMME, D.. Innovative harvesting processes for microalgae biomass production: A perspective from patent literature. **Algal Research**, v.31, n.2017, p.469-477, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.algal.2018.01.016>
- DELGADILLO-MIRQUEZ, L.; LOPES, F.; TAIDI, B.; PAREAU, D.. Nitrogen and phosphate removal from wastewater with a mixed microalgae and bacteria culture. **Biotechnology Reports**, v.11, p.18-26, 2016. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.btre.2016.04.003>
- DODDS, W. K.; BOUSKA, W. W.; EITZMANN, J. L.; PILGER, T. J.; PITTS, K. L.; RILEY, A. J.; SCHLOESSER, J. T.. THORNBRUGH, D. J. Eutrophication of U. S. freshwaters: Analysis of potential economic damages. **Environmental Science and Technology**, v.43, n.1, p.12-19, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1021/es801217q>
- EDMUNDSON, S. J.; HUESEMANN, M. H.. The dark side of

- algae cultivation: Characterizing night biomass loss in three photosynthetic algae, *Chlorella sorokiniana*, *Nannochloropsis salina* and *Picochlorum* sp. **Algal Research**, v.12, p.470-476, 2015. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.algal.2015.10.012>
- EDZWALD, J. K.. Algae, bubbles, coagulants, and dissolved air flotation. **Water Science and Technology**, v.27, n.10, p.67-81, 1993. DOI: <https://doi.org/10.2166/wst.1993.0207>
- EDZWALD, J. K.. Dissolved air flotation and me. **Water Research**, v.44, p.2077-2106, 2010. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.watres.2009.12.040>
- EIXLER, S.; KARSTEN, U.; SELIG, U.. Phosphorus storage in *Chlorella vulgaris* (Trebouxiophyceae, Chlorophyta) cells and its dependence on phosphate supply. **Phycologia**, v.45, n.1, p.53-60, 2006. DOI: <http://doi.org/10.2216/04-79.1>
- FENG, Q.; CHEN, M.; WANG, W.. Study on the harvest of oleaginous microalgae *Chlorella* sp. by photosynthetic hydrogen mediated auto-flotation for biodiesel production. **International Journal of Hydrogen Energy**, v.41, p.16772-16777, 2016. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2016.07.142>
- FERNANDES, T. V.; SHRESTHA, R.; SUI, Y.; PAPINI, G.; ZEEMAN, G.; VET, L. E. M.; WIJFFELS, R. H.; LAMERS, P.. Closing domestic nutrient cycles using microalgae. **Environmental Science and Technology**, v.49, n.20, p.12450-12456, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b02858>
- FERNANDES, T. V.; SUÁREZ-MUÑOZ, M.; TREBUCH, L. M.; VERBRAAK, P. J.; VAN DE WAAL, D. B.. Toward an ecologically optimized N:P Recovery from wastewater by microalgae. **Frontiers in Microbiology**, v.8, p.1742, 2017. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.01742>
- FOLADORI, P.; PETRINI, S.; ANDREOTTOLA, G.. Evolution of real municipal wastewater treatment in photobioreactors and microalgae-bacteria consortia using real-time parameters. **Chemical Engineering Journal**, v.345, p.507-516, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.03.178>
- FOLADORI, P.; PETRINI, S.; NESSENZIA, M.; ANDREOTTOLA, G.. Enhanced nitrogen removal and energy saving in a microalgal – bacterial consortium treating real municipal wastewater. **Water Science & Technology**, v.78, n.1, p.174-182, 2018. DOI: <https://doi.org/10.2166/wst.2018.094>
- FRANCHINO, M.; TIGINI, V.; VARESE, G. C.; SARTOR, R. M.; BONA, F.. Microalgae treatment removes nutrients and reduces ecotoxicity of diluted piggy digestate. **Science of the Total Environment**, v.569-570, p.40-45, 2016. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.06.100>
- FRANCISCI, D.; SU, Y.; IITAL, A.; ANGELIDAKI, I.. Evaluation of microalgae production coupled with wastewater treatment. **Environmental Technology**, v.39, n.5, p.581-592, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1080/09593330.2017.1308441>
- FRANCO, M. C.; BUFFING, M. F.; JANSSEN, M.; LOBATO, C. V.; WIJFFELS, R. H.. Performance of *Chlorella sorokiniana* under simulated extreme winter conditions. **Journal of Applied Phycology**, v.24, n.4, p.693-699, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10811-011-9687-y>
- GANESHKUMAR, V.; SUBASHCHANDRABOSE, S. R.; DHARMARAJAN, R.; VENKATESWARLU, K.; NAIDU, R.; MEGHARAJ, M.. Use of mixed wastewaters from piggy and winery for nutrient removal and lipid production by *Chlorella* sp. MM3. **Bioresource Technology**, v.256, p.254-258, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.02.025>
- GAO, F.; PENG, Y. Y.; LI, C.; YANG, G. J.; DENG, Y. B.; XUE, B.; GUO, Y. M.. Simultaneous nutrient removal and biomass/lipid production by *Chlorella* sp. in seafood processing wastewater. **Science of the Total Environment**, v.640-641, p.943-953, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.380>
- GEIDER, R. J.; LA ROCHE, J.. Redfield revisited: Variability of C:N:P in marine microalgae and its biochemical basis. **European Journal of Phycology**, v.37, n.1, p.1-17, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0967026201003456>
- GODOS, I.; BLANCO, S.; GARCÍA-ENCINA, P. A.; BECARES, E.; MUÑOZ, R.. Long-term operation of high rate algal ponds for the bioremediation of piggy wastewaters at high loading rates. **Bioresource Technology**, v.100, n.19, p.4332-4339, 2009. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.04.016>
- GRIMA, E.; BELARBI, E. H.; ACIÉN FERNÁNDEZ, F. G.; ROBLES MEDINA, A.; CHISTI, Y.. Recovery of microalgal biomass and metabolites: Process options and economics. **Biotechnology Advances**, v.20, p.491-515, 2003. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0734-9750\(02\)00050-2](https://doi.org/10.1016/S0734-9750(02)00050-2)
- GUIRY, M. D.. How many species of algae are there?. **Journal of Phycology**, v.48, n.5, p.1057-1063, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1529-8817.2012.01222.x>
- HONG, J.; KIM, O.; KIM, H.; JO, S.; CHO, H.; YOON, H.. Mass cultivation from a korean raceway pond system of indigenous microalgae as potential biofuel feedstock. **Oil and Gas Research**, v.2, n.1, p.1-6, 2016. DOI: <https://doi.org/10.4172/2472-0518.1000108>
- JANSSEN, M. G. J.. **Cultivation of microalgae: effect of light/dark cycles on biomass yield**. Wageningen: Wageningen University, 2002.
- JIA, H.; YUAN, Q.. Removal of nitrogen from wastewater using microalgae and microalgae-bacteria consortia. **Cogent Environmental Science**, v.2, n.1, p.1-15, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1080/23311843.2016.1275089>
- KADIR, W. N. A.; LAM, M. K.; UEMURA, Y.; LIM, J. W.; LEE, K. T.. Harvesting and pre-treatment of microalgae cultivated in wastewater for biodiesel production: A review. **Energy Conversion and Management**, v.171, p.1416-1429, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.06.074>
- KESSLER, E.. Upper limits of temperature for growth in *Chlorella* (Chlorophyceae). **Plant Systematics and Evolution**, v.151, p.67-71, 1985. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02418020>
- KHOEYI, Z. A.; SEYFABADI, J.; RAMEZANPOUR, Z.. Effect of light intensity and photoperiod on biomass and fatty acid composition of the microalgae, *Chlorella vulgaris*. **Aquaculture International**, v.20, n.1, p.41-49, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10499-011-9440-1>
- KIM, S.; LEE, Y.. Effects of pH and aeration rates on removal of organic matter and nutrients using mixotrophic microalgae. **Journal of Korean Society of Water and Wastewater**, v.27, n.1, p.69-76, 2013. DOI: <http://doi.org/10.11001/jksww.2013.27.1.69>
- KOTHARI, R.; PRASAD, R.; KUMAR, V.; SINGH, D. P.. Production of biodiesel from microalgae *Chlamydomonas polyphyrenoides* grown on dairy industry wastewater. **Bioresource Technology**, v.144, p.499-503, 2013. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.06.116>
- KRIENITZ, L.; HUSS, V. A. R.; BOCK, C.. *Chlorella*: 125 years of the green survivalist. **Trends in Plant Science**, v.20, n.2, p.67-69, 2015. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.tplants.2014.11.005>
- KRZEMIŃSKA, I.; NAWROCKA, A.; PIASECKA, A.; JAGIELSKI, P.;

- TYS, J.. Cultivation of *Chlorella protothecoides* in photobioreactors: The combined impact of photoperiod and CO<sub>2</sub> concentration. **Engineering in Life Sciences**, v.15, p.533-541, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1002/elsc.201400174>
- KUNZ, A.; STEINMETZ, R. L. R.; RAMME, M. A.; COLDEBELLA, A.. Effect of storage time on swine manure solid separation efficiency by screening. **Bioresource Technology**, v.100, n.5, p.1815-1818, 2009. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.09.022>
- KUO, C. M.; CHEN, T. Y.; LIN, T. H.; KAO, C. Y.; LAI, J. T.; CHANG, J. S.; LIN, C. S.. Cultivation of *Chlorella* sp. GD using piggery wastewater for biomass and lipid production. **Bioresource Technology**, v.194, n.75, p.326-333, 2015. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.07.026>
- KURNIAWATI, H. A.; ISMADJI, S.; LIU, J. C.. Microalgae harvesting by flotation using natural saponin and chitosan. **Bioresource Technology**, v.166, p.429-434, 2014. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.05.079>
- KWON, H.; LU, M.; LEE, E. Y.; LEE, J.. Harvesting of microalgae using flocculation combined with dissolved air flotation. **Biotechnology and Bioprocess Engineering**, v.19, n.1, p.143-149, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12257-013-0433-y>
- LAAMANEN, C. A.; ROSS, G. M.; SCOTT, J. A.. Flotation harvesting of microalgae. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.58, p.75-86, 2016. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.293>
- LEI, X.; CHEN, Y.; SHAO, Z.; CHEN, Z.; LI, Y.; ZHU, H.; ZHANG, J.; ZHENG, W.; ZHENG, T.. Effective harvesting of the microalgae *Chlorella vulgaris* via flocculation: flotation with bioflocculant. **Bioresource Technology**, v.198, p.922-925, 2015. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.08.095>
- LEITE, L. D. S.; DOS SANTOS, P. R.; DANIEL, L. A.. Microalgae harvesting from wastewater by pH modulation and flotation: Assessing and optimizing operational parameters. **Journal of Environmental Management**, v.254, p.109825, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109825>
- LEITE, L. D. S.; MATSUMOTO, T.; ALBERTIN, L. L.. Mathematical Modeling of Thermal Drying of Facultative Pond Sludge. **Journal of Environmental Engineering**, v.144, n.9, 2018. DOI: [http://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EE.1943-7870.0001427](http://doi.org/10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0001427)
- LEITE, L. S.; DANIEL, L. A.; PIVOKONSKY, M.; NOVOTNA, K.; BRANYIKOVA, I.; BRANYIK, T.. Interference of model wastewater components with flocculation of *Chlorella sorokiniana* induced by calcium phosphate precipitates. **Bioresource Technology**, v.286, p.121352, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.121352>
- LEITE, L. S.; HOFFMANN, M. T.; DANIEL, L. A.. Microalgae cultivation for municipal and piggery wastewater treatment in Brazil. **Journal of Water Process Engineering**, v.31, p.100821, 2019a. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2019.100821>
- LEITE, L. S.; HOFFMANN, M. T.; DANIEL, L. A.. Coagulation and dissolved air flotation as a harvesting method for microalgae cultivated in wastewater. **Journal of Water Process Engineering**, v.32, p.100947, 2019b. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2019.100947>
- LIANG, M.-H.; WANG, L.; WANG, Q.; ZHU, J.; JIANG, J.-G.. High-value bioproducts from microalgae: Strategies and progress. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, p.1-19, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1455030>
- MARCHIORETTO, M. M.; REALI, M. A. P.. Ozonation followed by coagulation/flocculation and floatation as post-treatment of the effluent from an anaerobic baffled reactor treating domestic sewage. **Water Science and Technology**, v.43, n.8, p.99-106, 2001. DOI: <https://doi.org/10.2166/wst.2001.0474%0A>
- MARCILHAC, C.; SIALVE, B.; POURCHER, A. M.; ZIEBAL, C.; BERNET, N.; BÉLINE, F.. Digestate color and light intensity affect nutrient removal and competition phenomena in a microalgal-bacterial ecosystem. **Water Research**, v.64, p.278-287, 2014. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.watres.2014.07.012>
- MARKOU, G.; NERANTZIS, E.. Microalgae for high-value compounds and biofuels production: A review with focus on cultivation under stress conditions. **Biotechnology Advances**, v.31, p.1532-1542, 2013. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2013.07.011>
- MATTOS, E. R.; SINGH, M.; CABRERA, M. L.; DAS, K. C.. Effects of inoculum physiological stage on the growth characteristics of *Chlorella sorokiniana* cultivated under different CO<sub>2</sub> concentrations. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, v.168, n.3, p.519-530, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12010-012-9793-6>
- MENNAA, F. Z.; ARBIB, Z.; PERALES, J. A.. Urban wastewater photobiotreatment with microalgae in a continuously operated photobioreactor: growth, nutrient removal kinetics and biomass coagulation–flocculation. **Environmental Technology**, v.40, n.3, p.342-355, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1080/09593330.2017.1393011>
- METCALF, E.; EDDY, H.. **Wastewater engineering: treatment and reuse**. 4 ed. Boston: McGraw Hill, 2003.
- MILLEDGE, J. J.; HEAVEN, S.. A review of the harvesting of micro-algae for biofuel production. **Reviews in Environmental Science and Biotechnology**, v.12, n.2, p.165-178, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11157-012-9301-z>
- NDIKUBWIMANA, T.; CHANG, J.; XIAO, Z.; SHAO, W.; ZENG, X.; NG, I.; LU, Y.. Flotation: A promising microalgae harvesting and dewatering technology for biofuels production. **Biotechnology Journal**, v.11, p.315-326, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1002/biot.201500175>
- NORVILL, Z. N.; SHILTON, A.; GUIEYSSE, B.. Emerging contaminant degradation and removal in algal wastewater treatment ponds: Identifying the research gaps. **Journal of Hazardous Materials**, v.313, p.291-309, 2016. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.03.085>
- PAHAZRI, N. F.; MOHAMED, R.; AL-GHEETHI, A. A.; MOHD, A. H.. Production and harvesting of microalgae biomass from wastewater: a critical review. **Environmental Technology Reviews**, v.5, n.1, p.39-56, 2016. DOI: <http://doi.org/10.1080/21622515.2016.1207713>
- PATEL, A.; GAMI, B.; PATEL, P.; PATEL, B.. Microalgae: Antiquity to era of integrated technology. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.71, p.535-547, 2017. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.081>
- PÉREZ, L.; SALGUEIRO, J. L.; MACEIRAS, R.; CANCELA, Á.; SÁNCHEZ, Á.. An effective method for harvesting of marine microalgae: pH induced flocculation. **Biomass and Bioenergy**, v.97, p.20-26, 2017. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.biombioe.2016.12.010>
- POSADAS, E.; MORALES, M.; GOMEZ, C.; ACIÉN, F. G.; MUÑOZ, R.. Influence of pH and CO<sub>2</sub> source on the performance of microalgae-based secondary domestic

wastewater treatment in outdoors pilot raceways. **Chemical Engineering Journal**, v.265, p.239-248, 2015. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.cej.2014.12.059>

POSTEN, C.; CHEN, S. F.. **Microalgae Biotechnology**. Berlin: Springer International Publishing, 2016.

RAKESH, S.; SAXENA, S.; DHAR, D. W.; PRASAMNA, R.; SAXENA, K. A.. Comparative evaluation of inorganic and organic amendments for their flocculation efficiency of selected microalgae. **Journal of Applied Phycology**, v.26, p.399-406, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10811-013-0114-4>

RAMSUNDAR, P.; GULDHE, A.; SINGH, P.; BUX, F.. Assessment of municipal wastewaters at various stages of treatment process as potential growth media for *Chlorella sorokiniana* under different modes of cultivation. **Bioresource Technology**, v.227, p.82-92, 2017. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.12.037>

RAVEN, J. A.; COCKELL, C. S.; LA ROCHA, C. L.. The evolution of inorganic carbon concentrating mechanisms in photosynthesis. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v.363, n.1504, p.2641-2650, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0020>

RAZZAK, S. A.; HOSSAIN, M. M.; LUCKY, R. A.; BASSI, A. S.; LASA, H.. Integrated CO<sub>2</sub> capture, wastewater treatment and biofuel production by microalgae culturing - A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.27, p.622-653, 2013. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.rser.2013.05.063>

RUAS, G.; SEREJO, M. L.; PAULO, P. L.; BONCZ, M. Á.. Evaluation of domestic wastewater treatment using microalgal-bacterial processes: effect of CO<sub>2</sub> addition on pathogen removal. **Journal of Applied Phycology**, v.30, n.2, p.921-929, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10811-017-1280-6>

RUBIO, J.; SOUZA, M. L.; SMITH, R. W.. Overview of flotation as a wastewater treatment technique. **Minerals engineering**, v.15, p.139-155, 2002. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0892-6875\(01\)00216-3](https://doi.org/10.1016/S0892-6875(01)00216-3)

SALIM, S.; KOSTERINK, N. R.; TCHETKOUA WACKA, N. D.; VERMUË, M. H.; WIJFFELS, R. H.. Mechanism behind autoflocculation of unicellular green microalgae *Ettlia texensis*. **Journal of Biotechnology**, v.174, p.34-38, 2014. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2014.01.026>

SÁNCHEZ, E.; BORJA, R.; TRAVIESO, L.; MARTÍN, A.; COLMENAREJO, M. F.. Effect of organic loading rate on the stability, operational parameters and performance of a secondary upflow anaerobic sludge bed reactor treating piggery waste. **Bioresource Technology**, v.96, n.3, p.335-344, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2004.04.003>

SANTOS, P. R.; DANIEL, L. A.. Dissolved air flotation as a potential treatment process to remove *Giardia* cysts from anaerobically treated sewage. **Environmental Technology**, v.38, n.19, p.2392-2399, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1080/09593330.2016.1262461>

SHCHEGOLKOVA, N.; SHURSHIN, K.; POGOSYAN, S.; VORONOVA, E.; MATORIN, D.; KARYAKIN, D.. Microalgae cultivation for wastewater treatment and biogas production at Moscow wastewater treatment plant. **Water Science and Technology**, v.78, n.1, p.1-12, 2018. DOI: <https://doi.org/10.2166/wst.2018.088%0A>

SHI, W.; ZHU, L.; CHEN, Q.; LU, J.; PAN, G.; HU, L.; YI, Q.. Synergy of flocculation and flotation for microalgae harvesting using aluminium electrolysis. **Bioresource**

**Technology**, v.233, p.127-133, 2017. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.02.084>

SINGH, B.; BAUDDH, K.; BUX, F.. **Algae and Environmental Sustainability**. Nova Delhi: Springer India, 2015.

SINGH, R. N.; SHARMA, S.. Development of suitable photobioreactor for algae production: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.16, n.4, p.2347-2353, 2012. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.rser.2012.01.026>

SINGH, S. P.; SINGH, P.. Effect of temperature and light on the growth of algae species: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.50, p.431-444, 2015. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.rser.2015.05.024>

SLADE, R.; BAUEN, A.. Micro-algae cultivation for biofuels: Cost, energy balance, environmental impacts and future prospects. **Biomass and Bioenergy**, v.53, p.29-38, 2013. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.biombioe.2012.12.019>

SOLOVCHENKO, A.; POGOSYAN, S.; CHIVKUNOVA, O.; SELYAKH, I.; SEMENOVA, L.; VORONOVA, E.; SCHERBAKOV, P.; KONYUKHOV, I.; CHEKANOV, K.; KIRPICHNIKOV, M.; LOBAKOVA, E.. Phycoremediation of alcohol distillery wastewater with a novel *Chlorella sorokiniana* strain cultivated in a photobioreactor monitored on-line via chlorophyll fluorescence. **Algal Research**, v.6, p.234-241, 2014. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.algal.2014.01.002>

SOUZA, W. G.. **Pós-secagem natural de lodos de estações de tratamento de Água e esgoto sanitários**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2012.

SUKENIK, A.; SHELEF, G.. Algal autoflocculation: verification and proposed mechanism. **Biotechnology and Bioengineering**, v.26, n.2, p.4-9, 1984. DOI: <https://doi.org/10.1002/bit.260260206>

UDAIYAPPAN, A. F.; ABU HASAN, H.; TAKRIFF, M. S.; SHEIKH ABDULLAH, S. R.. A review of the potentials, challenges and current status of microalgae biomass applications in industrial wastewater treatment. **Journal of Water Process Engineering**, v.20, p.8-21, 2017. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.jwpe.2017.09.006>

UMMALYMA, S. B.; GNANSOUNOU, E.; SUKUMARAN, R. K.; SINDHU, R.; PANDEY, A.; SAHOO, D.. Bioflocculation: An alternative strategy for harvesting of microalgae: An overview. **Bioresource Technology**, v.242, p.227-235, 2017. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.02.097>

UMMALYMA, S. B.; MATHEW, A. K.; PANDEY, A.; SUKUMARAN, R. K.. Harvesting of microalgal biomass: Efficient method for flocculation through pH modulation. **Bioresource Technology**, v.213, p.216-221, 2016. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.03.114>

VADLAMANI, A.; VIAMAJALA, S.; PENDYALA, B.; VARANASI, S.. Cultivation of microalgae at extreme alkaline pH conditions: A novel approach for biofuel production. **ACS Sustainable Chemistry and Engineering**, v.5, p.7284-7294, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.7b01534>

VANDAMME, D.; BEUCKELS, A.; VADELIUS, E.; DEPRAETERE, O.; NOPPE, W.; DUTTA, A.; FOUBERT, I.; LAURENS, L.; MUYLAERT, K.. Inhibition of alkaline flocculation by algal organic matter for *Chlorella vulgaris*. **Water Research**, v.88, p.301-307, 2016. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.watres.2015.10.032>

VANDAMME, D.; FOUBERT, I.; FRAEYE, I.; MEESCHAERT, B.; MUYLAERT, K.. Flocculation of *Chlorella vulgaris* induced by high pH: Role of magnesium and calcium and practical



implications. **Bioresource Technology**, v.105, p.114-119, 2012. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.11.105>

VANDAMME, D.; FOUBERT, I.; MUYLEAERT, K.. Flocculation as a low-cost method for harvesting microalgae for bulk biomass production. **Trends in Biotechnology**, v.31, n.4, p.233-239, 2013. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.tibtech.2012.12.005>

VON SPERLING, M.. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4 ed. Belo Horizonte: UFMG, 2014.

VON SPERLING, M.; FREIRE, V. H.; CHERNICHARO, C. A. L.. Performance evaluation of a UASB-activated sludge system treating municipal wastewater. **Water Science and Technology**, v.43, n.11, p.323-328, 2001. DOI: <https://doi.org/10.2166/wst.2001.0698%0A>

WANG, L.; LIU, J.; ZHAO, Q.; WEI, W.; SUN, Y.. Comparative study of wastewater treatment and nutrient recycle via activated sludge, microalgae and combination systems. **Bioresource Technology**, v.211, p.1-5, 2016a. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.03.048>

WANG, M.; YANG, Y.; CHEN, Z.; CHEN, Y.; WEN, Y.; CHEN, B.. Removal of nutrients from undiluted anaerobically treated piggery wastewater by improved microalgae. **Bioresource Technology**, v.222, p.130-138, 2016b. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.09.128>

WILEY, P. E.; BRENNEMAN, K. J.; JACOBSON, A. E.. Improved Algal Harvesting Using Suspended Air Flotation. **Water Environment Research**, v.81, n.7, p.702-708, 2009. DOI: <https://doi.org/10.2175/106143009X407474>

WU, Z.; ZHU, Y.; HUANG, W.; ZHANG, C.; LI, T.; ZHANG, Y.; LI, A.. Evaluation of flocculation induced by pH increase for harvesting microalgae and reuse of flocculated medium. **Bioresource Technology**, v.110, p.496-502, 2012. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.01.101>

WWAP. World Water Assessment Programme. **The United Nations World Water Development report 2017**. Wastewater: the untapped resource. The United Nations World Water Development Report. Paris: UNESCO, 2017.

YU, Z.; SONG, M.; PEI, H.; HAN, F.; JIANG, L.; HOU, Q.. The growth characteristics and biodiesel production of ten algae strains cultivated in anaerobically digested effluent from kitchen waste. **Algal Research**, v.24, p.265-275, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.algal.2017.04.010>

ZHANG, D.; YU, Y.; LI, C.; CHAI, C.; LIU, L.. Factors affecting microalgae harvesting efficiencies using electrocoagulation-flotation for lipid extraction. **RSC advance**, v.5, p.5795-5800, 2015. DOI: <http://doi.org/10.1039/c4ra09983d>

ZHANG, L.; CHENG, J.; PEI, H.; PAN, J.; JIANG, L.; HOU, Q.. Cultivation of microalgae using anaerobically digested effluent from kitchen waste as a nutrient source for biodiesel production. **Renewable Energy**, v.115, p.276-287, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.08.034>

ZHANG, L.; LEE, Y. W.; JAHNG, D.. Ammonia stripping for enhanced biomethanization of piggery wastewater. **Journal of Hazardous Materials**, v.199-200, p.36-42, 2012. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.10.049>

ZHANG, Q.; WANG, T.; HONG, Y.. Investigation of initial pH effects on growth of an oleaginous microalgae *Chlorella* sp. HQ for lipid production and nutrient uptake. **Water Science and Technology**, v.70, n.4, p.712-719, 2014. DOI: <https://doi.org/10.2166/wst.2014.285%0A>

ZHANG, X.; HEWSON, J. C.; AMENDOLA, P.; REYNOSO, M.; SOMMERFELD, M.; CHEN, Y.; HU, Q.. Critical evaluation and modeling of algal harvesting using dissolved air flotation. **Biotechnology and Bioengineering**, v.111, n.12, p.2477-2485, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1002/bit.25300>

A CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) detém os direitos materiais desta publicação. Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas sob coordenação da **Sustenere Publishing**, da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.