

OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL



OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL



Foto: Alexandre Matthiensen

COMUNICADO
TÉCNICO

601

Concórdia, SC
Dezembro, 2022

Embrapa

Produção de microalgas em sistema semiaberto: estrutura e funcionamento de tanques semicirculares (*raceway tanks*)

Alexandre Matthiensen
William Michelon

Produção de microalgas em sistema semiaberto: estrutura e funcionamento de tanques semicirculares (*raceway tanks*)¹

¹ Alexandre Matthiensen, Oceanólogo, doutor em Ciências Biológicas, pesquisador da Embrapa Suínos e Aves, Concórdia, SC. William Michelon, Engenheiro Sanitarista e Ambiental, doutor em Engenharia Química, professor na Universidade do Contestado, Concórdia, SC.

Introdução

Microalgas

As microalgas são organismos unicelulares, procarióticos ou eucarióticos, fotossintéticos, encontrados em vários ambientes aquáticos (água doce, salobra, salgada e águas residuais). Geralmente possuem forma esférica e diâmetros de 5 μm a 10 μm , podendo crescer em consórcios com outras espécies de microalgas. Além da fotossíntese, esses microrganismos possuem necessidades nutricionais extremamente simples, como macronutrientes (carbono, nitrogênio e fósforo) e micronutrientes (potássio, magnésio, cálcio, ferro) (Michelon et al., 2021). Boa parte da biomassa de microalgas produzida durante a fotossíntese é armazenada na forma de carboidratos, como reserva energética disponível, tornando-a uma fonte de insumo/aditivo muito atraente e versátil. Portanto, devido à sua

composição (compostos bioativos, aminoácidos e vitaminas), possui diferentes aplicações industriais, especialmente nos setores de alimentos, nutrição e farmacêutico, além de potencial produção de biocombustíveis (Brasil et al., 2017).

Potencial de uso da biomassa microalgal

As microalgas apresentam vantagens de cultivo em relação às plantas convencionais, visto que não competem com as culturas agrícolas para produção de alimentos, podendo ser cultivadas sobre terras não aráveis, além de terem rápido crescimento e elevado rendimento por unidade de área (Zeng et al., 2015). Esses organismos também podem ser usados como tecnologia para tratamento de efluentes, reduzindo as concentrações de nitrogênio, fósforo e outros contaminantes. Nesse caso, elas são cultivadas em efluentes de processos produtivos agropecuários e/ou

industriais (Nagarajan et al., 2019), também conhecido como ficorremediação.

Dependendo da finalidade, as microalgas podem ser produzidas de forma controlada em sistemas relativamente simples, utilizando meios de cultura sintéticos. A biomassa resultante do processo e/ou cultivo é considerada uma matéria-prima sustentável, podendo ser utilizada como componente na produção de uma ampla gama de produtos farmacêuticos, nutracêuticos, cosméticos, corantes, nutrição humana, animal (aquicultura, aditivos para rações) e vegetal (fertilizantes, bioestimulantes para o crescimento das plantas) (Michalak; Chojnacka, 2018).

Sistemas de produção de microalgas

Os sistemas para produção de microalgas são chamados de fotobiorreatores (FBRs) e se dividem em sistemas fechados e abertos (também chamados de tanques ou lagoas de produção). Os sistemas de produção em regime fechado possuem uma grande variação de formas e modelos, mas são sempre caracterizados por apresentarem circulação interna do meio de cultivo sem contato com o ar externo. A redução do risco de contaminação, tanto por espécies invasoras quanto por predadores, perda mínima de CO₂ e evaporação do meio de cultivo, além da possibilidade de controles hidráulicos e térmicos maiores (Rocha, 2016), são vantagens desse tipo de sistema. De maneira

geral, podem ser considerados mais eficientes, em termos de produtividade, que os sistemas abertos, porém são sempre mais onerosos, tanto em termos de manutenção quanto do ponto de vista operacional (Huang et al., 2015).

Os modelos abertos para produção de biomassa de microalgas são mais comuns, e também podem apresentar várias configurações de tanques e/ou lagoas, conformações e tamanhos variados. Esses sistemas podem compor desde estruturas simples e estáticas (sem nenhum tipo de circulação do meio de cultivo) até sistemas com mistura completa, com estruturas mecânicas para realizar a homogeneização do meio líquido e a otimização do processo de crescimento. Os sistemas abertos mais comuns possuem formato semicircular e movimentação mecânica, conhecidos como *raceway system*, e serão especificados em mais detalhes no subtópico “Estruturas”. Esses sistemas possuem um custo menor do que os sistemas fechados, porém estão mais expostos às intempéries do clima e, também, ao risco de contaminação da produção por organismos indesejados, podendo comprometer a batelada ou o lote de produção de microalgas.

Objetivo

O objetivo dessa publicação é descrever um sistema de produção de microalgas (estrutura e rotina de operação) considerado “semiaberto”. O modelo abordado utiliza tanques

semicirculares instalados dentro de uma estrutura fechada (casa de vegetação ou estufa agrícola), que confere maior controle dos parâmetros ambientais e climáticos e, conseqüentemente, do processo produtivo. Este resultado faz parte das ações do projeto da Embrapa “Desenvolvimento de sistemas de produção de microalgas para viabilização do uso da biomassa algal em biorrefinarias de produção de fertilizantes agrícolas, ração para peixes e biogás - AlgaTec” (20.18.03.032.00.00).

Público-alvo

Essa publicação visa a disseminação de conhecimento para técnicos, produtores, acadêmicos e interessados no assunto sobre as instalações necessárias e a rotina de trabalho de um sistema de produção semiaberto de microalgas.

Contribuição com os objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS) e suas metas

A biomassa de microalgas pode vir a ser matéria-prima para diversos produtos, incluindo potenciais insumos alimentares ricos em proteínas, carboidratos e lipídeos, e outros compostos de interesse agropecuário. Assim, os resultados apresentados contribuem para a melhoria dos indicadores da Meta 2.4

Até 2030, garantir sistemas sustentáveis de produção de alimentos e implementar práticas agrícolas resilientes, que aumentem a produtividade e a produção, que ajudem a manter os ecossistemas, que fortaleçam a capacidade de adaptação às mudanças climáticas, às condições meteorológicas extremas, secas, inundações e outros desastres, e que melhorem progressivamente a qualidade da terra e do solo, do ODS 2 - Fome Zero e Agricultura Sustentável.

Quando a produção de microalgas é direcionada à fitorremediação de efluentes (Matthiensen et al.², no prelo), os resultados contribuem também para a Meta 6.3 Até 2030, melhorar a qualidade da água, reduzindo a poluição, eliminando despejo e minimizando a liberação de produtos químicos e materiais perigosos, reduzindo à metade a proporção de águas residuais não tratadas e aumentando substancialmente a reciclagem e reutilização segura globalmente, do ODS 6 - Água Potável e Saneamento.

Estruturas

A estrutura para produção de biomassa de microalgas em sistema semiaberto consiste em dois componentes principais:

- *tanques/raceway*;
- casa de vegetação/estufa agrí-

2 MATTHIENSEN, A.; ALVES, J.; MICHELON, W. (no prelo). Fitorremediação de efluentes da suinocultura. Capítulo de livro. In: Nicoloso e Oliveira. Meio Ambiente e Suinocultura. Vol. II. Gestão e Tratamento de Dejetos na Suinocultura

cola, além de algumas estruturas de apoio, as quais serão também abordadas nesta publicação.

Tanques de produção (*raceway ponds*)

Os biorreatores *raceways* (em tradução livre, “pistas de corrida”) são assim chamados pois lembram o formato dos circuitos semicirculares dos antigos hipódromos. São reservatórios de circulação contínua (como esquematizado na Figura 1), onde o meio de cultivo é mantido em movimento e as microalgas completam seu ciclo de crescimento até atingir a densidade adequada para sua colheita.

A estrutura de um *raceway system* pode ser construída com diversos materiais: alvenaria, placas de cimento, chapas metálicas ou materiais poliméricos, como policloreto de vinila (PVC), poliuretano (PU) ou fibra de vidro. O *raceway* consiste em um tanque aberto, retangular e com um separador central, que o divide em dois canais unidos nas

extremidades, resultando em uma “pista” semicircular; normalmente apresentam profundidades entre 10 cm e 30 cm e áreas de superfície variadas.

Os tanques de produção de microalgas utilizados na Embrapa Suínos e Aves são feitos em fibra de vidro, com paredes de cerca de 1 cm de espessura e revestimento branco (*gel coat*). Possuem comprimento de 12 m, largura de 2,8 m e altura de 40 cm, perfazendo uma área de 30,5 m² e capacidade total de 12,76 m³ (Figura 1). Além do separador central, possui também dois defletores internos com raio de 70 cm. A circulação do meio de cultura com as microalgas é feita por meio de um sistema de pás giratórias (*paddle wheels*) em inox, acopladas a um eixo rotacional movido por um motor elétrico (WEG W22, 2CV e 1.750 RPM) com redutor de velocidade de rotação dos acionadores do tipo “rosca sem fim” (Macopema MR8, redução 1:100). O sistema de controle do moto-redutor conta ainda com um inversor de frequência (WEG CFW500, 2CV) para ajuste de velocidades variáveis e programação de rotinas de trabalho/

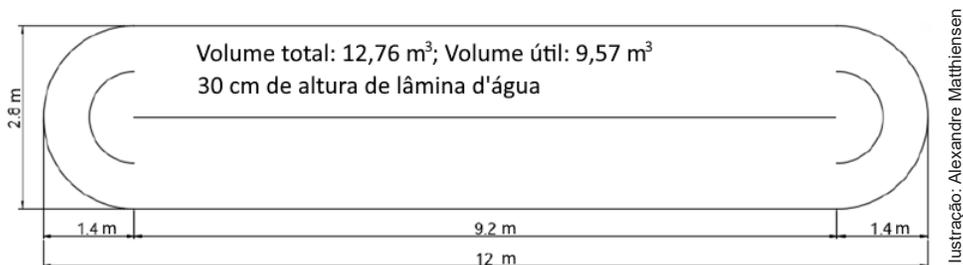


Figura 1. Desenho esquematizado em vista vertical de um *raceway* com as dimensões utilizadas na Embrapa Suínos e Aves.

repouso. Na Embrapa Suínos e Aves foram instalados dois tanques *raceway* em paralelo e o moto-reductor entre os tanques. O posicionamento do conjunto de moto-redução foi estratégico, permitindo desta forma que a propulsão para a circulação de ambos os tanques seja realizada pelo mesmo sistema (Figura 2).

Cada *raceway tank* possui dimensões que permitem trabalhar com uma profundidade de 30 cm e volume útil de 9,57 m³ do meio de cultivo.

A Figura 3 apresenta, como componentes da estrutura de um *raceway tank*, a parede divisória central, separando as duas “pistas”, e um par de defletores de fluxo nas duas

extremidades curvas, sendo esses usados para diminuir as zonas mortas de fluxo e, conseqüentemente, minimizar a sedimentação (Moreira, 2019). A Figura 3 também apresenta o moto-reductor, o eixo rotacional e as pás de movimentação do meio de cultivo.



Foto: Alexandre Matthiensen

Figura 2. Sistema de *raceway tanks* pronto para entrar em operação.

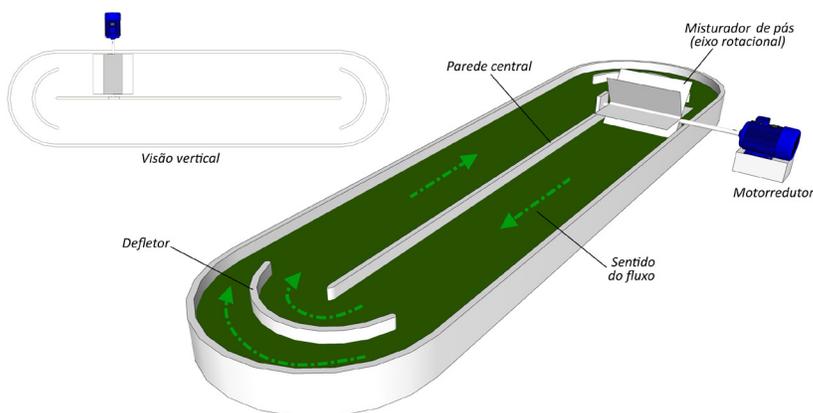


Figura 3. Esquema em vista vertical e oblíqua de um *raceway* padrão e seus componentes.

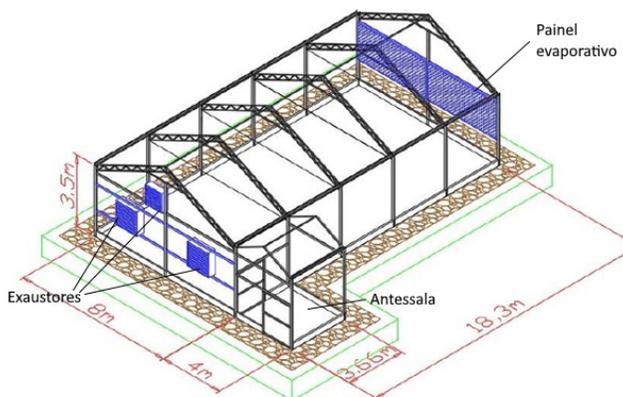
Ilustração: William Michelson

Casa de vegetação ou estufa agrícola

Os *raceway tanks* foram instalados em uma casa de vegetação estufa agrícola, com controle de temperatura e umidade, em estrutura metálica com revestimento em policarbonato (paredes e co-

bertura) e dimensões de 8,0 m x 18,3 m (Figuras 4 e 5). A casa possui sistema de sombreamento, composto por “mantas de sombrite” para o controle da entrada de luz, e sistema de resfriamento, realizado por três exaustores em uma parede e painel evaporativo Celdek™ de 8,0 m x 1,2 m e 150 mm de espessura na parede oposta.

é alimentado por uma bomba (Famac) e caixa d’água de 1.000 L. Os exaustores possuem palhetas que se fecham quando não estão em uso. Todos os sistemas (iluminação, resfriamento e agitadores) são acessados e/ou programados por um painel de controle colocado na antessala da entrada da casa de vegetação (Figura 6).



Fonte: Adaptado de Zanatta Estufas Agrícolas.

Figura 4. Croqui da casa de vegetação, com indicação de três exaustores na parede frontal, painel evaporativo na parede oposta e antessala (local de instalação do painel de controle).

Foto: Alexandre Matthiensen



Figura 5. Casa de vegetação com revestimento em policarbonato.

Foto: Alexandre Matthiensen



Figura 6. Painel de controle dos sistemas de resfriamento, iluminação e pás dos *raceways* instalado na antessala da casa de vegetação.

Os *raceways* foram instalados sobre uma estrutura de madeira tratada que consiste em 32 cepos de 0,4 m de comprimento e 25 cm de diâmetro, unidos por caibros de 5 cm x 6 cm, para cada tanque (Figura 7). A disposição dos cepos levou em conta a distribuição do peso do tanque cheio e a resistência do material, de acordo com a orientação do fabricante. A elevação dos tanques para uma altura de cerca de 80 cm do chão (borda do tanque) facilita os processos de cultivo, monitoramento, colheita, deságue e lavagem.

A estrutura existente no sistema de produção de microalgas da Embrapa Suínos e Aves foi adquirida em diferentes projetos e executada em várias fases, com alguns lapsos temporais entre suas etapas. Dessa forma, para dar sequência ao projeto, foi necessário desmontar uma das paredes da casa de vegetação para a inserção e instalação dos tanques de produção, quando esses foram adquiridos posteriormente.



Foto: Alexandre Matthiensen

Figura 7. Estrutura de madeira para suporte dos tanques de produção de microalgas (*raceways*).

A Figura 8 ilustra a operação de instalação dos tanques, que contou com dois caminhões com guindaste articulado (*munck*).



Fotos: Alexandre Matthiensen

Figura 8. Instalação dos tanques de produção (*raceways*) dentro da casa de vegetação.

Após a colocação dos tanques na casa de vegetação, foram instaladas as estruturas de suporte do eixo rotacional, rodas de pás (*paddle wheels*) e o moto-reductor (Figura 9). Após, os componentes elétricos foram instalados.



Figura 9. Instalação do eixo rotatório, pás e moto-reductor.

Na sequência, os tanques foram preenchidos com água para avaliação de possíveis vazamentos (Figura 2). Nesta etapa, a estrutura física do sistema de produção de microalgas se encontra completa e pronta para o início da produção.

Estruturas de apoio

É importante destacar que, para o funcionamento pleno do sistema de produção de microalgas, são necessárias algumas estruturas complementares, nominadas aqui de “estruturas de apoio”, as quais são fundamentais para o perfeito andamento das etapas pré e pós-cultivo das microalgas. As estruturas são as seguintes:

- **Sala de pesagem e preparo dos meios de cultivo:** local para preparo do meio de cultivo a ser usado nas diferentes escalas da produção.



Fotos: William Michelon

- **Sala ou estufa para manutenção do inóculo:** pode ser um equipamento do tipo BOD com fotoperíodo ou uma sala climatizada. Neste local os inóculos das microalgas ficam armazenados em frascos de vidro contendo meio de cultivo líquido. Essa manutenção necessita, basicamente, dos meios de cultivo com nutrientes, controle adequado de temperatura, iluminação, agitação e aeração, dependendo das exigências nutricionais e ambientais da(s) microalga(s). É a partir desse inóculo que se inicia o escalonamento do cultivo das microalgas até chegar aos tanques

de produção. Ele também serve de *backup* para uma eventual necessidade de reiniciar a ativação da cultura, caso ocorra algum problema com o crescimento e/ou desenvolvimento do cultivo.

- **Sala de escalonamento do inóculo:** ambiente climatizado, com iluminação e aeração adequados. É neste local onde é iniciado o escalonamento do cultivo a partir do inóculo da microalga. Um exemplo das etapas de escalonamento está ilustrado na Figura 10.

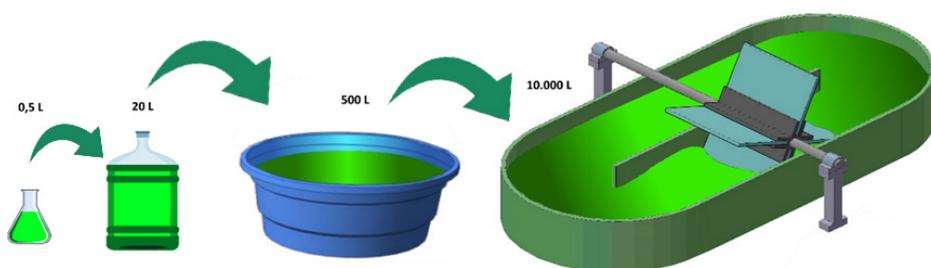


Ilustração: William Michelon

Figura 10. Esquema de escalonamento do cultivo de microalga, desde a produção da cultura starter (inóculo) até o cultivo em *raceway tank* (as figuras não estão em escala real).

- **Estrutura de monitoramento do crescimento celular:** amostras do cultivo devem ser coletadas, em intervalos de tempo definidos, para a determinação da curva e da cinética de crescimento da microalga. A construção e acompanhamento da curva de crescimento pode ser baseada em diferentes parâme-

tros de controle, de acordo com a metodologia adotada (contagem do número de células, densidade óptica, leitura da absorbância via espectrofotômetro ($\lambda = 600$ a 800 nm), estimativa de concentração de clorofila- α , etc.).

- **Equipamento/metodologia de colheita, concentração e secagem da biomassa microalgal:** o processo de colheita da microalga normalmente é trabalhoso e pode variar de metodologia, de acordo com as características das micro-

algas que estão sendo cultivadas. Alguns sistemas de produção podem contar com tanques de sedimentação ou de flotação, que concentram a maior parte da biomassa das microalgas em um estrato da camada líquida, facilitando sua remoção com menor volume de água possível. Na Embrapa Su-

ínos e Aves a colheita é realizada mediante o uso de uma centrífuga de fluxo contínuo (Evodos Dynamic Settlers®, Netherlands), com capacidade para processamento de até 750 L h^{-1} , que facilita o processo de deságue do meio de cultura contendo a biomassa (Figura 11). Na sequência, a biomassa continua em processo de desidratação (secagem), onde podem ser empregadas metodologias diversas, como secagem artificial (calor seco em estufa, congelamento/sublimação (liofilização), entre outros) ou secagem natural (ao ar-livre), de acordo

com o protocolo definido para a finalidade da biomassa.

- **Local de armazenamento da biomassa microalgal pós-colheita:** a biomassa seca pode ser armazenada, por alguns dias, em local sem umidade. Caso não haja a previsão de utilização em breve, a mesma deve ser mantida em congelador/freezer.
- **Setor de manutenção:** um sistema complexo, com inúmeras etapas e envolvendo vários detalhes, são propícios a sofrerem interrupções por problemas, normalmente de simples resolução, porém que necessitam de conhecimento especializado em alguns setores. Assim, é recomendável ter por perto profissionais que possam ser acionados em situações de emergência, principalmente nos setores de hidráulica, elétrica e mecânica.

Foto: Alexandre Matthiensen



Figura 11. Centrífuga de fluxo contínuo para colheita e concentração (deságue) da biomassa de microalgas.

Rotinas de trabalho

Manufatura do meio de cultivo

O meio de cultivo de uma microalga é a matriz líquida onde ela crescerá e se desenvolverá, e é específico para cada espécie, dependendo da necessidade de nutrientes da mesma. Dessa forma, a escolha da melhor composição nutricional do meio de cultivo é fundamental para toda a sequência de trabalho. Em laboratório, muitas culturas de microalgas são mantidas em meios de cultivo,

cuja(s) composição(ões) já está(ão) bem definida(s) na literatura. A opção do meio de manutenção dos inóculos de microalgas cultivadas na Embrapa Suínos e Aves foi o BG11 (Stanier et al., 1971), cuja composição encontra-se descrita na Tabela 1. Por ser formulado com reagentes grau PA (Para Análise), torna-se um meio caro caso haja a pretensão de utilizá-lo em grandes volumes de cultivo. Assim, quando se realiza a ampliação da escala de produção (aumento sucessivo dos volumes do cultivo), o meio BG11 é substituído por uma formulação mais acessível economicamente. Nesse caso, são utilizados insumos comerciais, os quais podem ser adquiridos em

Tabela 1. Composição química do meio BG11 e quantidades das soluções estoque para uso.

Composto		Solução estoque (g L ⁻¹)	Uso (mL L ⁻¹ H ₂ O)
Nitrato de sódio	NaNO ₃	150	10
Fosfato monopotássico	K ₂ HPO ₄	40	1
Sulfato de Magnésio hepta-hidratado	MgSO ₄ ·7H ₂ O	75	1
Cloreto de Cálcio di-hidratado	CaCl ₂ ·2H ₂ O	36	1
Carbonato de sódio	Na ₂ CO ₃	20	1
Ácido cítrico	C ₆ H ₈ O ₇	6	1
Sulfato ferroso hepta-hidratado	FeSO ₄ ·7H ₂ O	6	1
Ácido etilenodiamino tetra-acético dissódico	EDTA Na ₂	1	1
Elementos-traços - A5	-	-	1
Elementos-traço - A5			
Ácido bórico	H ₃ BO ₃	2,68	-
Cloreto de Manganês tetra-hidratado	MnCl ₂ ·4H ₂ O	1,81	-
Sulfato de zinco hepta-hidratado	ZnSO ₄ ·7H ₂ O	0,222	-
Molibdato de sódio di-hidratado	Na ₂ MoO ₄ ·2H ₂ O	0,39	-
Sulfato de cobre penta-hidratado	CuSO ₄ ·5H ₂ O	0,079	-
Nitrato de cobalto hexa-hidratado	Co(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O	0,049	-

estabelecimentos agropecuários ou fornecedores de fertilizantes para hidropônia que ofereçam um bom crescimento para as microalgas.

Manutenção do inóculo de microalgas e escalonamentos

O inóculo da microalga é mantido em meio líquido específico, em condições controladas e deve ser repicado (ou seja, parcialmente reinoculado em novo volume do mesmo meio de cultivo) para sua manutenção ao longo do tempo. Se a operação de manutenção do inóculo for realizada de forma correta, e não houver nenhuma intercorrência, como, por exemplo, contaminação por outra microalga ou microrganismo, ele pode ser mantido indefinidamente. Para a manutenção da *Chlorella* sp., por exemplo, a repicagem do inóculo é realizada, aproximadamente, a cada 30 dias, com um volume de 50 mL da cultura antiga em Erlenmeyer contendo 200 mL de meio de cultivo.

Os escalonamentos de produção, similar ao ilustrado na Figura 10, consistem na inoculação de um volume pequeno de uma cultura densa de microalgas em um volume cada vez maior de meio de cultivo. Como exemplo, primeiramente o inóculo da microalga é cultivado em meio sintético BG11 em Erlenmeyer de 250 mL ou 500 mL, sob condições estéreis, em uma incubadora

com intensidade de luz, fotoperíodo e temperatura controlados (para o cultivo de *Chlorella* sp., por exemplo, usamos luz LED de $30 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, fotoperíodo de 12 h/12 h e temperatura de $25 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$). O crescimento da microalga é monitorado por microscopia óptica ou espectrofotometria.

Após o adensamento da cultura nos Erlenmeyers, um volume de 5% a 10% ($v v^{-1}$) é inoculado em novo volume de meio de cultivo, podendo ser um meio de cultivo “alternativo”, ou seja, com formulação diferenciada e menos onerosa. No exemplo da Figura 10, a próxima etapa de transferência de escala acontece em recipientes de 20 L, aumentando-se em 80 vezes o volume da produção. Após o novo crescimento e adensamento da cultura de microalgas, um novo volume de 5% a 10% ($v v^{-1}$) serve como inóculo em um volume maior (no exemplo da Figura 10, foi usado um reservatório circular de 500 L), onde as condições de cultivo podem ser alteradas, utilizando-se luz natural e temperatura ambiente. Esse reservatório também deve ser mantido sob agitação contínua, normalmente pela introdução de um sistema de aeração no fundo do reator (reservatório), o que pode ser feito por meio de um aerador do tipo usado em aquários. Seguindo o exemplo hipotético da Figura 10, o próximo passo é a inoculação de volume de percentual similar às etapas anteriores nos tanques de produção, ou *raceway tanks*.

Condições de cultivo

Assim como a composição do meio, as condições de cultivo também são parâmetros extremamente importantes e, via de regra, definem a velocidade de crescimento e reprodução das microalgas. É importante lembrar que essas condições de cultivo também são espécie-específica, ou mesmo linhagem-específica. Ou seja, cada cepa de microalga possui condições consideradas “ótimas” para seu crescimento, em termos de temperatura do meio de cultivo, luminosidade, fotoperíodo, agitação ou aeração, faixa de pH, etc. As microalgas só vão apresentar crescimento satisfatório se todas as condições para seu cultivo forem atendidas. Assim, é fundamental planejar antecipadamente cada etapa do processo de escalonamento e certificar-se de que estão disponíveis tanto as estruturas quanto a capacidade de oferecer e satisfazer as exigências desses microrganismos.

Colheita e processamento da biomassa

O processo de colheita e processamento da biomassa microalgal pode ser a etapa mais trabalhosa de todo o cultivo e a que provavelmente vai necessitar de mais mão de obra. Cada metodologia de colheita e processamento vai apresentar vantagens ou dificuldades, não existindo uma metodologia única, mas várias técnicas conhecidas que são adaptadas de

acordo com a capacidade do sistema de produção e a necessidade do produtor.

Basicamente, a colheita envolve a etapa de concentração da biomassa, ou seja, a separação das células de microalgas do cultivo da parte líquida. Dependendo do processo utilizado, o volume de biomassa concentrado de microalgas pode resultar em um líquido mais denso, ou até em uma biomassa de consistência líquido-pastosa. Esse concentrado é, então, processado em etapas posteriores, por exemplo, por secagem ou liofilização, onde vão reduzir mais ainda a quantidade de água presente, até o mínimo possível. A biomassa desidratada é a forma mais estável de armazenamento por mais tempo, sem que as condições bioquímicas e/ou nutricionais do extrato microalgal se altere. A Figura 12 apresenta um volume de biomassa microalgal já processado e seco, pronto para o armazenamento.

Potencial de interação da produção de microalgas para as demais cadeias agropecuárias

Para se contextualizar, de forma breve, o potencial de interação do processo de produção de microalgas de interesse nas cadeias agropecuárias, como as de suinocultura e avicultura, é importante separar a produção de microalgas em dois tipos:



Figura 12. Biomassa microalgal após colheita e processamento (deságue e secagem).

1) produção em meio de cultivo sintético para uso da biomassa como insumo;

2) produção em meio de cultivo complexo, reaproveitado de outro processo agropecuário/industrial, com fins de fitorremediação do efluente.

Ambos tipos de meios de produção possuem imenso potencial para agregar valor às cadeias agropecuárias, dependendo da microalga cultivada (do seu conteúdo nutricional/nutracêutico/farmacológico) ou do efluente a ser tratado.

A produção de microalgas em meio sintético, de forma mais “controlada”, permite a reprodutibilidade de todo o processo, conferindo padronização da biomassa e podendo resultar em um novo insumo para se agregar valor. Atualmente, pesquisas exploram a

biomassa de microalgas em diversos setores alimentícios (Becker, 2004), rações para peixes, suplemento alimentar para aves e suínos (Tavernari et al., 2018), probióticos e fontes de extração de compostos de alto valor comercial, como pigmentos e carotenoides, bem como compostos bioativos para a busca de novos antibióticos frente a cepas bacterianas multirresistentes (Ramos et al., 2015).

O uso da produção de microalgas para a fitorremediação busca trazer uma

nova rota tecnológica para tratamento de dejetos, particularmente suínos, com conseqüente diminuição da carga poluente (remoção de N e P) antes de descarte em corpo receptor, além de poder incorporar CO₂ proveniente de outro processo industrial, como fonte de carbono para o crescimento das microalgas. Ainda, esse processo pode ser adaptado para a recuperação e reciclagem de nutrientes, no contexto de economia circular, através do uso da biomassa microalgal como insumo para biofertilizantes. Particularmente na suinocultura, algumas microalgas se mostram bastante promissoras na codigestão anaeróbica e produção de biogás, em biodigestores tendo como base dejetos suínos (Prandini et al., 2016; Wang et al., 2017; Dinnebier et al., 2021).

Referências

- BECKER, E. W. Microalgal in human and animal nutrition. In: RICHMOND, A. (ed) **Handbook of microalgal culture: biotechnology and applied phyecology**. London: Blackwell Science, 2004. p. 312-351.
- BRASIL, B. S. A.; SILVA, F. C. P.; SIQUEIRA, F. G. Microalgae biorefineries: the brazilian scenario in perspective. **New Biotechnology**, v. 39, p. 90-98, 2017.
- DINNEBIER, H. C. F.; MATTHIENSEN, A.; MICHELON, W.; TÁPPARO, D. C.; FONSECA, T. G.; FAVRETTO, R.; STEINMETZ, R. L. R.; TREICHEL, H.; ANTES, F. G.; KUNTZ, A. Phycoremediation and biomass production from high strong swine wastewater for biogas generation improvement: An integrated bioprocess. **Bioresource Technology**, v. 332, p. 125111, 2021.
- HUANG, J.; QU, X.; WAN, M.; YING, J.; LI, Y.; ZHU, F.; WANG, J.; SHEN, G.; CHEN, J.; LI, W. Investigation on the performance of raceway ponds with internal structures by the menans of CED simulations and experiments. **Algal Research**, v. 10, p. 64-71. 2015. Doi: <https://doi.org/10.1016/J.ALGAL.2015.04.012>
- MICHALAK, I.; CHOJNACKA, K. Introduction: toward algae-based products. In: CHOJNACKA, K.; WIECZOREK, P. P.; SCHROEDER, G.; MICHALAK, I. (ed.) **Algae biomass: characteristics and applications**. Springer, 2018. (Developments in applied phyecology, 8). p. 1-5.
- MICHELON, W.; VIANCELLI, A.; BREDA, M.; NONNENMACHER, J. L.; ROMAN, S. S.; MATTHIENSEN, A. (2021). Mouse Bioassay Acute and Subchronic Safety Assessment of Biomass from Swine Wastewater Phycoremediation. **Waste and Biomass Valorization**, v. 12, n. 12, p. 6811-6822, 2021.
- MOREIRA, R. J. M. **Projeto de uma roda de pás energeticamente eficiente para o cultivo de macroalgas**. 2019. 62 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, Portugal.
- NAGARAJAN, D.; KUSMAYADI, A.; YEN, H-W.; DONG, C-D.; LEE, D-J.; CHANG, J-S. Current advances in biological swine wastewater treatment using microalgae-based processes. **Bioresource Technology**, v. 289, p. 121718, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.121718>
- PRANDINI, J. M.; DA SILVA, M. L. B.; MEZZARI, M. P.; PIROLLI, M.; MICHELON, W.; SOARES, H. M. Enhancement of nutrient removal from swine wastewater digestate coupled to biogas purification by microalgae *Scenedesmus* spp. **Bioresource Technology**, v. 202, p. 7-75, 2016.
- RAMOS, D. F.; MATTHIENSEN, A.; COLVARA, W.; VOTTO, A. P. S. de; TRINDADE, G. S.; SILVA, P. E. A. de; YUNES, J. S. Antimycobacterial and cytotoxicity activity of microcystins. **Journal of Venomous Animals and Toxins including Tropical Diseases**, v. 21, n. 9, 2015. Doi: [10.1186/s40409-015-0009-8](https://doi.org/10.1186/s40409-015-0009-8).
- ROCHA, C. A. L. **Cultivo de microalgas: dimensionamento de uma instalação do tipo raceway pond**. 2016. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia Mecânica, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto, Portugal. 97 p.
- STANIER, R. Y.; KUNISAWA, R.; MANDEL, R.; COHEN-BAZIRE, G. Purification and properties of unicellular blue-green algae (order Chroococcales). **Bacteriological Reviews**, v. 35, n. 2, p. 171-205, 1971.
- TAVERNARI, F. de C.; ROZA, L. da F.; SUREK, D.; SORDI, C.; SILVA, M. L. B. da; ALBINO, L. F. T.; MIGLIORINI, M. J.; PAIANO, D.; BOIAGO, M. M. Apparent metabolisable energy and amino acid digestibility of microalgae *Spirulina platensis* as an ingredient in broiler chicken diets. **British Poultry Science**, v. 59, n. 5, p. 562-567, 2018. Doi: <https://doi.org/10.1080/00071668.2018.1496401>
- WANG, Y.; HO, S-H.; CHENG, C-L.; NAGARAJAN, D.; GUO, W-Q.; LIN, C.; LI, S.; REN, N.; CHANG, J-S. Nutrients and COD removal of swine wastewater with an isolated microalgal strain *Neochloris aquatica* CL-M1 accumulating high carbohydrate content used for biobutanol production. **Bioresource Technology**, v. 242, p. 7-14, oct. 2017. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.03.122>

ZENG, X.; GUO, X.; SU, G.; DANQUAH, M. K.; ZHANG, S.; LU, Y.; SUN, Y.; LIN, L. Bioprocess considerations for microalgal-based wastewater treatment and biomass production. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 42, p. 1385–1392, 2015.

Exemplares desta edição podem ser adquiridos na:

Embrapa Suínos e Aves
Rodovia BR 153 - Km 110
Caixa Postal 321
89.715-899, Concórdia, SC
Fone: (49) 3441 0400
Fax: (49) 3441 0497
www.embrapa.br
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

1ª edição

Versão eletrônica (2022)



MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO



Comitê Local de Publicações da Embrapa Suínos e Aves

Presidente

Franco Muller Martins

Secretária-Executiva

Tânia Maria Biavatti Celant

Membros

Clarissa Silveira Luiz Vaz, Cláudia Antunez Arrieche, Gerson Neudi Scheuermann, Jane de Oliveira Peixoto, Rodrigo da Silveira Nicoloso e Sara Pimentel

Suplentes

Estela de Oliveira Nunes

Fernando de Castro Tavernari

Supervisão editorial

Tânia Maria Biavatti Celant

Revisão técnica

Cicero Juliano Monticelli

Estela de Oliveira Nunes

Revisão de texto

Jean Carlos Porto Vilas Boas Souza

Normalização bibliográfica

Claudia Antunes Arrieche

Projeto gráfico da coleção

Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Editoração eletrônica

Vivian Fracasso