

4º WORKSHOP DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOCOMBUSTÍVEIS UFVJM-UFU

A atuação dos microrganismos na produção dos biocombustíveis: uma revisão

Maria Clara Souza Santos^a, Juliana Veira de Paiva^b, Witter Duarte Guerra^b

^aGraduanda do curso de Biomedicina Faculdade Anhanguera – Campus Vinhedos, Uberlândia -MG.
E-mail: souzamariaclara1302@gmail.com

^bDocente do Departamento de Saúde da Faculdade Anhanguera – Campus Vinhedos, Uberlândia -
MG. E-mail: julianavieiradepaiva@gmail.com

^bDocente do Departamento de Saúde da Faculdade Anhanguera – Campus Vinhedos, Uberlândia -
MG. E-mail: witter_guerra@yahoo.com.br

Resumo: Os microrganismos são seres vivos microscópicos invisíveis a olho nu presentes no ar, solo, água e plantas que constituem a maior parte da biomassa do planeta. Diante da preocupação com a emissão de gases poluentes e escassez decorrentes do uso dos combustíveis fósseis, evidenciou-se a maior busca por biocombustíveis para a obtenção de energia renovável. As bactérias, fungos, leveduras e micro-algas são exemplos de microrganismos que podem ser utilizados como matéria-prima para produção do biogás, bioetanol e biodiesel. Através de processos metabólicos e por tecnologias provenientes da engenharia genética eles convertem biomassa em produtos químicos essenciais para a produção dos biocombustíveis. Diante disso, esse estudo descreve a utilização de microrganismos na produção de biocombustíveis levando em consideração suas condições para desenvolvimento e possíveis modificações genéticas que podem aperfeiçoar sua ação diante da obtenção de bioprodutos para a produção de combustível renovável, contribuindo para o desenvolvimento de processos benéficos ao meio ambiente.

Palavras-chave: *microrganismos, biocombustíveis, bioprocessos, genética.*

1 - Introdução

Preocupações crescentes com a utilização e dependência dos combustíveis fósseis, juntamente a diminuição de sua disponibilidade e a emissão de gases prejudiciais que causam alterações climáticas instigaram muitos países a adotarem uma política a fim de atenuar as implicações negativas que tais recursos causam (IEA, 2021). O uso de energias renováveis para amenizar os impactos ambientais se torna uma boa opção para alcançar tais metas ao passo que, o uso de biocombustíveis para a produção de energia acarreta não só vantagens ambientais, mas também político-econômicas.

Os biocombustíveis são renováveis, uma vez que são produzidos a partir de produtos agrícolas, tais como cana-de-açúcar, plantas oleaginosas, biomassa florestal e outras fontes de matéria orgânica (LORA; VENTURINI, 2012). Dentre as fontes alternativas, destaca-se a biomassa que, embora seja considerada uma fonte primitiva, vem ganhando destaque no cenário energético (MANTOVANI, 2022).

A biomassa vegetal é uma fonte abundante e renovável de energia rica em hidratos de carbono que pode ser eficientemente convertida por microrganismos em biocombustíveis (ANTUNES; SILVA, 2011). Podendo ser utilizada de várias formas, o uso energético da biomassa, além de envolver a contribuição orgânica de resíduos sólidos urbanos, também engloba os

4º WORKSHOP DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOCOMBUSTÍVEIS UFVJM-UFU

biocombustíveis sólidos, líquidos e gasosos (MANTOVANI, 2022).

Os biocombustíveis de segunda geração utilizam a biomassa lignocelulósica como matéria-prima, tendo como principais responsáveis o bioetanol e o biodiesel. Neste processo é aproveitado as biomoléculas presentes na biomassa. Para a eficiência desta técnica é necessário a utilização de métodos para degradação da parede celular, a fim de liberar moléculas de açúcares fermentáveis, para tanto uma das metodologias utilizadas é a hidrólise enzimática, uma vez que, devido à especificidade das enzimas por seus substratos, o processo torna-se efetivamente produtivo e sustentável, assim como não serem gerados subprodutos indesejáveis durante a reação (DUTTA; DAVEREY; LIN, 2014). Já os biocombustíveis de terceira geração são combustíveis alternativos derivados de microrganismos fotossintéticos, como por exemplo, microalgas, que vem conquistando espaço em consequência das taxas de crescimento rápido e elevado teor de óleo (ORTIZ-MARTÍNEZ, et al., 2019). Ainda que atualmente os únicos biocombustíveis produzidos em grande escala sejam o etanol e o biodiesel, diferentes classes de moléculas possuem propriedades desejáveis para este fim e algumas são passíveis de produção por via microbiana. Outras, embora não sejam normalmente sintetizadas por microrganismos, podem vir a sê-lo através do uso de ferramentas biotecnológicas (PALUDO, 2014).

Com isso, existem diversos estudos e pesquisas com o intuito de aprimorar o uso de

microrganismos como matéria-prima. O objetivo deste trabalho foi realizar uma revisão de literatura sobre a atuação dos microrganismos na produção dos biocombustíveis.

2 - Material e Métodos

Este estudo tem como objetivo realizar uma revisão bibliográfica sistemática, por meio de uma pesquisa detalhada da literatura existente sobre o uso de microrganismos na produção de biocombustíveis. O estudo foi baseado nos conhecimentos biotecnológicos e microbiológicos com o foco nas vantagens que os microrganismos fornecem para o setor energético.

Os estudos científicos foram buscados em bases de dados pertinentes, incluindo Google Acadêmico, Portal de Periódicos da CAPES, Scopus, PubMed, SciElo, ResearchGate e Agência Internacional de Energia (IEA). Utilizou-se como critério de relevância artigos que apresentavam correlação com o tema em análise e que apresentavam mais resultados a cada palavra-chave. Os temas explorados englobam a contextualização, as condições atuais e as aplicações vinculadas ao estudo. Foram considerados estudos científicos originais e outras publicações que exploram a utilização dos microrganismos na produção dos biocombustíveis, correlacionando a seus processos metabólicos e otimização genética.

As buscas pela temática abordada incluíram tópicos como: biotecnologia de microrga-

nismos, biocombustíveis e microrganismos, leveduras e bactérias na produção de biocombustíveis, microrganismos geneticamente modificados para biocombustíveis, entre outros.

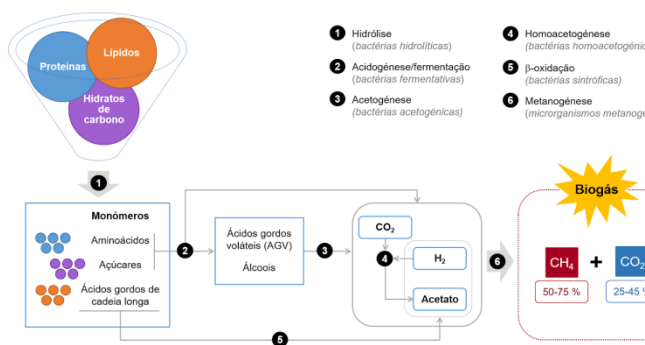
Os aspectos estudados neste trabalho foram baseados em critérios como data de publicação, adequação ao tema da pesquisa e relevância aos assuntos tratados, obtidos através da escolha minuciosa de artigos e dissertações.

3 - Resultados e Discussão

1. Digestão Anaeróbia

A biomassa, matéria-prima utilizada na produção dos biocombustíveis, é o resultado da decomposição de qualquer material, realizada por meio da ação biológica. Resulta da massa total acumulada em um determinado espaço, gerado por matéria orgânica. Ela contém três fontes básicas: resíduos orgânicos, vegetais lenhosos e vegetais não lenhosos (CENBIO, 2013). Pode ser aproveitada de inúmeras formas, podendo ser por meio de digestão anaeróbia ou fermentação, como mostra a Figura 1.

Figura 1 - Esquema geral do processo de digestão anaeróbia.



Fonte: CAVALEIRO, A. J.; ALVES, M. M. (2020).

A digestão anaeróbia é realizada por uma comunidade diversa de microrganismos que interagem de forma complexa ao longo de uma série de etapas interdependentes, em que os produtos da etapa anterior servem como substrato para o passo seguinte (CAVALEIRO; ALVES, 2020). Este processo possibilita a obtenção de biogás, composto por metano (CH_4), gás carbônico (CO_2) e o gás sulfídrico (H_2S), utilizado para acionar motores de absorção de calor conectados a geradores, muito empregado pelos países europeus (MANTOVANI; LEITE; SIMÕES; GONÇALVES; NEVES; RIBEIRO, 2022).

Na degradação anaeróbia de resíduos complexos, cada grupo de compostos orgânicos (proteínas, carboidratos e lipídeos) requer seu próprio grupo característico de organismos. A maioria dos microrganismos não pode ser estudada através de métodos dependentes de cultivo, pois ainda não são conhecidos de forma que grande parte das pesquisas sobre diversidade microbiana atualmente são realizadas através de técnicas independentes, como a análise de genes específicos. Essas técnicas foram significativamente favorecidas com o desenvolvimento das tecnologias de sequenciamento de DNA, as quais possibilitaram o estudo em larga escala da microbiota em um determinado ambiente (SHOKRALLA; SPALL; GIBSON; HAJIBABAEI, 2012).

A técnica de PCR permite a amplificação de genes específicos a partir de

4º WORKSHOP DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOCOMBUSTÍVEIS UFVJM-UFU

bactérias isoladas ou de bactérias não cultivadas para sequenciamento e avaliação filogenética. Pode-se obter a amplificação de sequências alvo mesmo em uma amostra com grande diversidade de sequências, permitindo a detecção de organismos específicos em misturas heterogêneas (SAIKI et al. 1985, WARD; WELLER; BATESON, 1990; MISSAGIA, 2010).

1.1 - Fatores de influência no processo de digestão anaeróbia

Por se tratar de um processo bioquímico realizado por milhares de bactérias, a eficiência da digestão anaeróbia pode ser seriamente afetada por fatores que estão relacionados com o meio ideal para sua atuação (ARAÚJO, 2017).

1.1.1 - pH: acidez ou alcalinidade

As bactérias que fazem parte do processo de digestão anaeróbia são muito sensíveis à variações de pH, e este ainda pode afetar suas características originais, com a alteração de suas estruturas. Existem grupos distintos que possuem faixas de pH ótimo semelhantes, todavia, outros grupos possuem crescimento ótimo e degradação anaeróbia em faixas de pH específicos (RESENDE, 2013). A maioria das bactérias não são susceptíveis a pH acima de 9,5 ou abaixo de 4,0, possuindo uma faixa ótima entre 6,5 e 7,5 para o crescimento bacteriano (LIMA, 2015).

1.1.2 – Temperatura

Cada bactéria possui uma temperatura ótima, a qual permite uma maior velocidade de

crescimento, em condições ideais (LIMA, 2015). Os microrganismos decompositores estão divididos em três grupos, conforme sua temperatura ideal para seu desenvolvimento. Estes são os psicrófilos, onde as melhores temperaturas para atuarem se encontram em faixas inferiores a 25°C, os mesófilos que se desenvolvem melhor com temperaturas entre 37 e 42°C e onde estão presentes grande parte das bactérias geradoras de metano e, os termófilos que trabalham melhor com faixas entre 50 e 60°C (PATERSON, 2010).

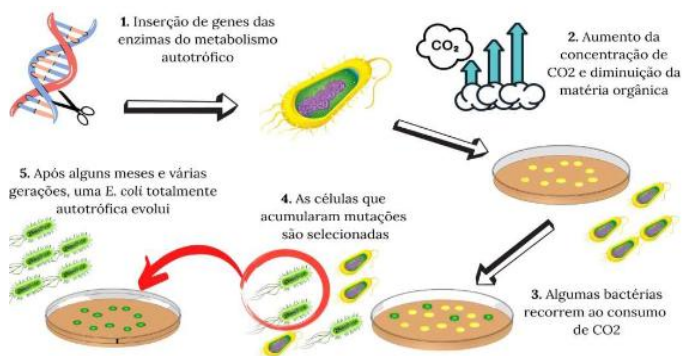
2. Modificação e melhoramento genético de microrganismos

Os microrganismos geneticamente modificados são capazes de converter, além dos açúcares simples como glicose ou sacarose, os demais açúcares da biomassa lignocelulósica em compostos de interesse. Essa modificação genética baseia-se na introdução de genes para que os microrganismos passem a expressar características específicas que antes não eram capazes com o objetivo de aumentar a produtividade de tal composto de interesse (ANTUNES; SILVA, 2011; PALUDO, 2014). A *Escherichia coli* e *Saccharomyces cerevisiae* são as espécies mais utilizadas para modificações genéticas e quando são geneticamente modificados devem ter alta taxa de produtividade e não perder o seu desempenho durante o processo de produção (ANTUNES; SILVA, 2011; FÁVARO, 2012).

A bactéria *Escherichia Coli* se destaca como material utilizado para fins de

4º WORKSHOP DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOCOMBUSTÍVEIS UFVJM-UFU

desenvolvimento de tecnologias. Isso se dá devido sua facilidade de cultivo, sua alta taxa de crescimento e pelo amplo acervo de ferramentas genéticas disponíveis (JAJESNIAK; ALI; WONG, 2014). Essa bactéria prefere crescer em açúcares como a glicose e libera CO₂ como resíduo, no entanto, pesquisadores do *Weizmann Institute of Science in Rehovot*, de Israel, criaram, por meio de engenharia genética, uma variedade dessa bactéria que cresce consumindo CO₂ em vez de açúcares. Essas mudanças se deram por meio de alterações em onze genes (CALLAWAY, 2019) e necessitou de um ano para ocorrer e produzir autotrofia a partir da heterotrofia, o que é muito rápido, destacando a enorme plasticidade do metabolismo central de carbono de *E. coli* e levanta a questão de qual o número mínimo de mutações para realizar esse processo salientam que as “estratégias para reforçar a fixação heterotrófica de CO₂ focam no aumento direto da carboxilação nativa e na criação de autótrofos artificiais”. Desta forma ela se torna útil para diminuir o CO₂ presente na atmosfera auxiliando na diminuição de concentração de gases do efeito estufa (ERB; KELLER; VORHOLT, 2019; HU et al. 2021) como mostra na Figura 2.



Fonte: MEDRADES (2020).

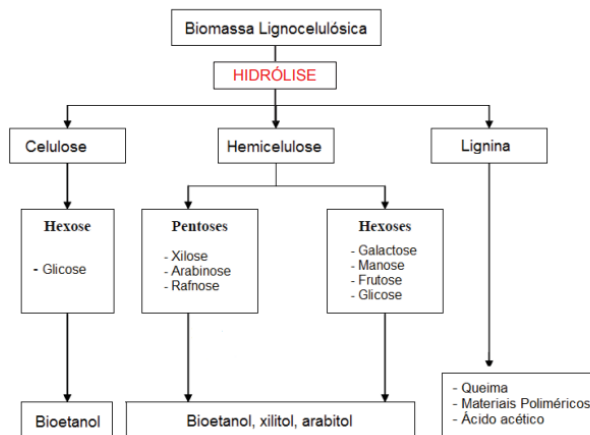
A levedura *Saccharomyces cerevisiae* é um fungo unicelular, eucarionte, heterótrofo e pertencente ao filo *Ascomycota*. Sua reprodução normalmente é assexuada, mais especificamente por brotamento. Possui alto grau de organização celular, contendo núcleo celular com envoltório (envelope nuclear) e organelas (MADIGAN; MARTINKO; STAHL; CLARK, 2000). As muitas propriedades da levedura *Saccharomyces cerevisiae*, sendo a principal delas a alta tolerância ao etanol e a compostos inibidores presentes no hidrolisado, a faz ser altamente desejada no processo industrial de produção de etanol lignocelulósico (LOPES, 2016). Além disso, apresentam melhor capacidade de tolerância às condições adversas geradas durante a fermentação (da SILVA-FILHO; SANTOS; RESENDE; de MORAIS; de MORAIS Jr; SIMÕES, 2005).

O material lignocelulósico é composto principalmente por estrutura aromática denominada lignina e polímeros de carboidratos, homopolissacarídeo denominado celulose, e heteropolissacarídeos denominado hemicelulose (SANTIAGO; RODRIGUES, 2017) como mostra a Figura 3.

Figura 2 - Processo de autotrofia em bactéria espécie *E. Coli*.

4º WORKSHOP DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOCOMBUSTÍVEIS UFVJM-UFU

Figura 3 - Esquema ilustrativo dos compostos resultantes da hidrólise da biomassa lignocelulósica.



Fonte: Neves et al., (2007).

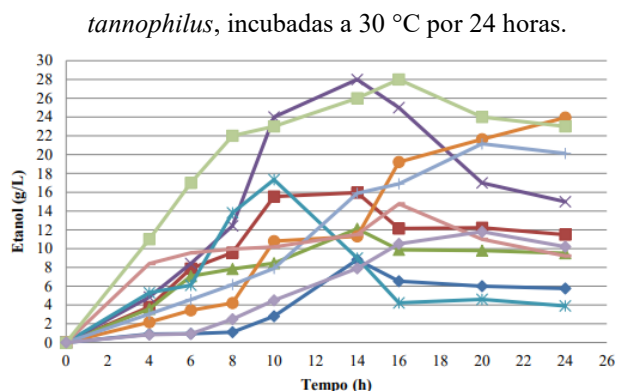
Durante a fermentação industrial, vários fatores de estresse são impostos à levedura, promovendo efeitos deletérios sobre a mesma, afetando o seu metabolismo e crescimento. Tais fatores incluem: alta concentração de açúcares, presença de sais no mosto, altas temperaturas, alta concentração de etanol, baixo pH extracelular, contaminação bacteriana, deficiência de nutrientes. Além disso, neste processo a biomassa de levedura é reaproveitada em várias fermentações diariamente, o que pode contribuir para a diminuição significativa da viabilidade celular (BASSO; ROCHA, 2011). Tem sido proposto que o uso de aminoácidos para a suplementação do mosto (líquido açucarado que pode ser fermentado para produzir etanol) de fermentação pode promover maior tolerância e crescimento das células de levedura frente a diferentes condições de estresse, como por exemplo, o alto teor alcoólico e o estresse osmótico promovido pelas

altas concentrações de açúcares no meio (THOMAS; INGLEDEW, 1990).

Contudo, a *S. cerevisiae* não utiliza todos os açúcares obtidos pela hidrólise da estrutura lignocelulósica, pois, não apresenta eficiência em assimilar a xilose que é liberada durante o processo de hidrólise da biomassa. Na literatura são apresentadas duas alternativas para o melhor aproveitamento dos açúcares fermentescíveis (hexoses e pentoses) liberados na hidrólise da biomassa lignocelulósica. A primeira utiliza micro-organismos geneticamente modificados, com o objetivo de fermentar tanto a glicose quanto a xilose. E a segunda utiliza dois micro-organismos simultaneamente em um único sistema reacional, definido como “co-cultura” (Figura 4). A *Pachysolen tannophilus* é uma levedura que tem capacidade natural de utilizar glicose e, na ausência desta, pode utilizar xilose para a produção de etanol. Deste modo, foi possível formar uma co-cultura (consórcio) entre as leveduras *Saccharomyces cerevisiae* ATCC 26602 e a *Pachysolen tannophilus* CCT 1891 (SILVA, 2022).

Figura 4 - Produção de etanol por meio do consórcio das leveduras *Saccharomyces cerevisiae* e *Pachysolen*

4º WORKSHOP DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOCOMBUSTÍVEIS UFVJM-UFU



Fonte: SILVA, M. D. R. et al. (2022).

A presença de diversos fatores e alterações no meio fermentativo pode comprometer a sobrevivência celular e impedir seu desenvolvimento em pleno potencial, entretanto as técnicas de engenharia genética utilizada demonstram eficiência quanto a otimização da viabilidade celular das leveduras, potencializando sua utilização para produção de bioetanol.

Mais recentemente, tem-se sugerido aplicar alguma das vantagens das cianobactérias, como o seu rápido crescimento e nos mais variados meios ambientais, a habilidade de fixar vários compostos, a sua flexibilidade genética e a realização de fotossíntese, como uma alternativa de criar na produção de biocombustíveis (NOZZI; OLIVER; ATSUMI, 2013). Os autores introduziram estratégias reguladoras metabólicas eficientes e valiosas para cianobactérias fotossintéticas usando pequenos RNAs artificiais em cepas de *Synechocystis* sp, tais cianobactérias são caracterizadas por serem procariontes unicelulares, cujas células se dividem por fissão binária, são fotoautotróficas

obrigatórias e habitam ecossistemas de água doce, com faixa de temperatura mesófila ou moderada e com a capacidade de sobreviver com poucos nutrientes (WATERBURY, 1986).

O modelo de cianobactéria, *Synechococcus elongatus* PCC 7942 foi projetado para produzir ácidos graxos livres (AGL), potenciais precursores de biodiesel, por nocaute genético da acil-ACP sintetase de reciclagem de AGL e expressão de uma tioesterase para liberação do AGL (RUFFING; JONES, 2012). Diante disso, a regulação do metabolismo de ácidos graxos nesse organismo pode auxiliar no desenvolvimento de linhas de cianobactérias superprodutoras de biocombustíveis (GERHARDT, 2015).

4 - Conclusões

Devido ao alto consumo energético mundial associado a política de redução de recursos fósseis, em virtude de sua baixa disponibilidade e alto teor de degradação ambiental, torna-se existente uma alta demanda pelo desenvolvimento de novas tecnologias renováveis e sustentáveis. Neste contexto, os microrganismos oferecem inúmeras características para qualificá-los como matéria-prima alternativa para diversas práticas biotecnológicas, incluindo modificações genéticas que potencializam suas aplicações. A atuação dos microrganismos na indústria energética se dá principalmente por conta de produção de enzimas e seus processos metabólicos que, apesar de serem complexos e

4º WORKSHOP DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOCOMBUSTÍVEIS UFVJM-UFU

necessitar de fatores específicos para o desenvolvimento correto, através da engenharia genética podem se adequar de acordo com interesses específicos sinérgicos entre indústrias. Em síntese, o emprego dos microrganismos possui um amplo potencial proporcionando variadas abordagens tecnológicas integrados a processos bioquímicos e químicos.

5 - Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Faculdade Anhaguera – Campus Vinhedos. Uberlândia – MG.

6 - Referências

ANTUNES, R.; SILVA, I. C. **O Papel dos Microrganismos no Futuro dos Biocombustíveis**. Instituto nacional da propriedade industrial, p. 05-11, 2011.

ARAÚJO, A. P. C. **Produção de biogás a partir de resíduos orgânicos utilizando biodigestor anaeróbico**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, p. 15, 2017.

BASSO, L.C.; BASSO, T.O.; ROCHA, S.N. Ethanol production in Brazil: the industrial process and its impact on yeast fermentation. In: SANTOS BERNARDES, M.A. (Ed.). **Biofuel Production - Recent Developments and Prospects**. InTech, p. 85- 100, 2011.

CALLAWAY, E.. **Carbon dioxide-eating bacteria offer hope for green production**. *Nature*, v. 576, p. 19, 2019.

CAVALEIRO, A. J.; ALVES, M. M.. Digestão anaeróbia. *Revista de Ciência Elementar*, v. 8, n. 1, p. 09, 2020. Disponível em:

<http://doi.org/10.24927/rce2020.009>. Acesso em: 21 mar. 2025.

CENBIO – **Centro Nacional de Referência em Biomassa. Fontes de biomassa**. 2013. Disponível em: <http://cenbio.iee.usp.br/saibamais/fontes.htm>. Acesso em: 21 mar. 2025.

da SILVA-FILHO, E. A.; SANTOS, S. K. B.; RESENDE, A. M.; de MORAIS, J. O. F.; de MORAIS Jr, M. A.; SIMÕES, D. A. **Yeast population dynamics of industrial fuel-ethanol fermentation process assessed by PCR fingerprinting**. *Antonie van Leeuwenhoek*, v. 88, p. 13-23, 2005.

DUTTA, K.; DAVEREY, A.; LIN, G. J. **Evolution retrospective for alternative fuels: First to fourth generation**. *Renewable energy*, v. 69, p. 114-122, 2014.

ERB, T. J; KELLER, P; VORHOLT, J. A. **Escherichia coli in Auto(trophic) Mode**. *Cell*, v. 179, p. 1244-1245, 2019.

HU, G.; LI, Z.; MA, D.; YE, C.; ZHANG, L.; GAO, C.; LIU, L.; CHEN, X. **Light-driven CO2 sequestration in Escherichia coli to achieve theoretical yield of chemicals**. *Nature Catalysis*, v. 4, p. 395-406, 2021.

FÁVARO, L. C. L. Melhoramento genético de microrganismos para produção de biocombustíveis e químicos renováveis: integração de abordagens de biologia molecular, biologia sistêmica, biologia sintética e engenharia metabólica. *Agroenergia em Revista*, n. 5, p. 4, 2012.

GERHARDT, E. C. M. **Identificação e Estudo in Vitro da Interação entre Proteínas PII e Proteínas Alvo**. 2015. 120 f. Tese (Doutorado em Ciências - Bioquímica) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, p. 39-40, 2015.

JAJESNIAK, P; ALI, H. E. M. O; WONG, T. S. Carbon Dioxide Capture and Utilization using Biological Systems: Opportunities and Challenges. *Journal of Bioprocessing & Biotechniques*, v. 4, n. 3, 2014.

4º WORKSHOP DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOCOMBUSTÍVEIS UFVJM-UFU

- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY.** *Net zero by 2050.* Disponível em: <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>. Acesso em: 21 mar. 2025.
- LIMA, N. C. **Análise de tipos e concentrações de inóculos para potencializar a geração de biogás na digestão anaeróbia da fração orgânica dos resíduos sólidos domiciliares do bairro Planalto Pici, Fortaleza – CE.** 139f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Fortaleza, p. 27, 2015.
- LOPES, D. D. **Estudos fenotípicos e genotípicos do mecanismo de transporte de xilose em leveduras selvagens para a produção de etanol de segunda geração.** Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil, p. 9-10, 2016.
- LORA, E.; VENTURINI, O. **Biocombustíveis.** 1. ed. Rio de Janeiro: Interciência, v. 1, p. 05, 2012. E-book. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 21 mar. 2025.
- MADIGAN, M.T.; MARTINKO, J.M.; STAHL, D.; CLARK, D.P. Eukaryotic cell biology and eukaryotic microorganisms. In: MADIGAN, M.T.; MARTINKO, J.M.; STAHL, D.; CLARK, D.P. (Eds.). **Brock Biology of Microorganisms.** Benjamin Cummings, p. 584-612, 2000 .
- MANTOVANI, L. P.; LEITE, A. R.; MANTOVANI, J. P. M.; SIMÕES, B. N. S.; GONÇALVES, E. S. S.; NEVES, F. P.; RIBEIRO, V. G. Biomassa e energia. **Revista Agronomia Brasileira**, v. 6, p. 01, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.29372/rab202221>. Acesso em: 21 mar. 2025.
- MISSAGIA, B. **Estudo das comunidades bacterianas em Filtros Biológicos Percoladores utilizados para o pós-tratamento de efluentes de um reator UASB.** Tese (Doutorado). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, p. 44, 2010. Disponível em: <http://www.smarh.eng.ufmg.br/defesas/530D.PDF>. Acesso em: 21 mar. 2025.
- NOZZI, N. E. OLIVER, J. W. K. & ATSUMI, S.. Cyanobacteria as a platform for biofuel production. *Front. Bioeng. Biotechnol.*, v. 1, p. 1-6, 2013.
- ORTIZ-MARTÍNEZ, V. M., ANDREOMARTÍNEZ, P., GARCÍA-MARTÍNEZ, N., RIOS, A. P. D. L., HERNÁNDEZ-FERNÁNDEZ, F. J., QUESADA-MEDINA, J. Approach to biodiesel production from microalgae under supercritical conditions by the PRISMA method. **Fuel processing technology**, p. 61, 2019.
- PALUDO, G. B. Microrganismos geneticamente modificados e sua relação com o aumento na produção de biocombustíveis. **Enciclopédia Biosfera**, v. 10, n. 18, p. 2209-2225, 2014.
- PATERSON, M. Guide to Biogas. From production to use. 5 th, Gülzow de. Published by the Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR) with support of the Federal Ministry of Food, **Agriculture and Consumer Protection. German Federal Parliament**, p. 21-22, 2010.
- RESENDE, J. A. **Avaliação da diversidade microbiana e do risco clínico-microbiológico de sistemas de biorreatores para a produção de biogás e biofertilizante a partir dejetos da pecuária leiteira.** Juiz de Fora: UFJF, p. 28-29, 2013.
- RUFFING, A. M.; JONES, H. D. T. Physiological effects of free fatty acid production in genetically engineered *Synechococcus elongatus* PCC 7942. **Biotechnology and Bioengineering**, Hoboken, v. 109, n. 9, p. 2190-2199, 2012.
- SAIKI, R. K.; SCHARF, S.; FALOONA, F.; MULLIS, K. B.; HORN, G. T.; ERLICH, H. A.; ARNHEIM, N. Enzymatic amplification of beta-globin genomic sequences and restriction site analysis for diagnosis of sickle cell anemia, **Science**, v. 230, n. 4732, p. 1350-1354, 1985.

**4º WORKSHOP DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOCOMBUSTÍVEIS
UFVJM-UFU**

SANTIAGO, B. L. S.; RODRIGUES, F. A. Processamento de biomassa lignocelulósica para produção de etanol: Uma revisão. **The Journal of Engineering and Exact Sciences** - JCEC, v. 03, n. 07, p. 1011-1022, 2017.

SHOKRALLA, S.; SPALL J. L.; GIBSON, J. F.; HAJIBABAEI, M. Next-generation sequencing technologies for environmental DNA research. **Molecular Ecology**, v. 21, n. 8, p. 1794-1805, 2012.

SILVA, M. D. **Produção De Etanol De Segunda Geração Por Co-Cultura De Saccharomyces Cerevisiae ATCC 26602 E Pachysohlen Tannophilus CCT 1891 A Partir Da Hidrólise ácida De Sabugo De Milho, Sisal E Resíduos De Mandioca Utilizados Como Substratos.** 106 f. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência de Alimentos) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", São José do Rio Preto, p. 19, 2022.

THOMAS, K.C.; INGLEDEW, W.M. Fuel alcohol production: effects of free amino nitrogen on fermentation of very-high-gravity wheat mashes. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 57, n. 7, p. 2046-2050, 1990.

UNITED NATIONS Framework Convention on Climate Change. **The Paris Agreement.** Disponível em: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement>. Acesso em: 21 mar. 2025.

WARD, D. M.; WELLER, R.; BATESON, M. M. **16S rRNA sequences reveal numerous uncultured microorganisms in a natural community.** *Nature*, v. 345, n. 6270, p. 63, 1990.

WATERBURY, B. **Biological and ecological characterization of the marine unicellular Cyanobacterium Synechococcus, Photosynthetic picoplankton Canadian Bulletin of Fisheries Aquatic Sciences**, v. 214, p. 71-120, 1986.