



Universidade Federal
de São João del-Rei

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI – UFSJ

Instituída pela Lei Nº 10.425 de 19/02/2002 – D.O.U. de 22/04/2002

CURSO DE ENGENHARIA DE BIOPROCESSOS

Campus Alto Paraopeba – Rod. MG 443, km 7, Caixa Postal 131. Ouro Branco, MG. CEP 3.420-000

ENGENHARIA DE BIOPROCESSOS

CAMPUS ALTO PARAPEBA/UFSJ

**A importância da Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia
para o avanço da Bioeconomia**

Aluna: Carolina Pimenta Garkauskas

Orientador: Gabriel de Castro Fonseca

Ouro Branco,

Dezembro de 2022



Universidade Federal
de São João del-Rei

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI – UFSJ

Instituída pela Lei Nº 10.425 de 19/02/2002 – D.O.U. de 22/04/2002

CURSO DE ENGENHARIA DE BIOPROCESSOS

Campus Alto Paraopeba – Rod. MG 443, km 7, Caixa Postal 131. Ouro Branco, MG. CEP 3.420-000

CAROLINA PIMENTA GARKAUSKAS

**A importância da Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia
para o avanço da Bioeconomia**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como requisito parcial para a obtenção do título
de bacharel em Engenharia de Bioprocessos,
pela Universidade Federal de São João Del Rei,
Campus Alto Paraopeba.

Aluna: Carolina Pimenta Garkauskas

Orientador: Professor Doutor Gabriel de Castro Fonseca

Ouro Branco

Dezembro 2022



Universidade Federal
de São João del-Rei

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI – UFSJ

Instituída pela Lei Nº 10.425 de 19/02/2002 – D.O.U. de 22/04/2002

CURSO DE ENGENHARIA DE BIOPROCESSOS

Campus Alto Paraopeba – Rod. MG 443, km 7, Caixa Postal 131. Ouro Branco, MG. CEP 3.420-000

A importância da Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia para o avanço da Bioeconomia

Carolina Pimenta Garkauskas

A Banca Examinadora, composta pelos membros abaixo, avaliou este TCC:

Prof. Gabriel Fonseca de Castro – Orientador

Prof. Igor José Boggione dos Santos - Examinador

Prof. Sandra de Cássia Dias - Examinadora

Ouro Branco, 23/12/2022



Universidade Federal
de São João del-Rei

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI – UFSJ

Instituída pela Lei Nº 10.425 de 19/02/2002 – D.O.U. de 22/04/2002

CURSO DE ENGENHARIA DE BIOPROCESSOS

Campus Alto Paraopeba – Rod. MG 443, km 7, Caixa Postal 131. Ouro Branco, MG. CEP 3.420-000

AGRADECIMENTOS

Após incontáveis provas de resiliência, consegui finalmente chegar até aqui. Agradeço aos meus mentores espirituais e a Deus por toda força para alcançar meus objetivos e poder concluir mais essa etapa da minha vida. Agradeço aos meus professores da graduação pelo incentivo, compreensão e por tanto conhecimento adquirido, principalmente conhecimentos que irão possibilitar mínimas contribuições para a melhorar sustentabilidade do planeta. Agradeço ao apoio do meu marido Túlio, da minha mãe Avani, meu pai Bruno, meus irmãos Bruno, Guilherme e Phillipe e minhas amigas de sempre, que nunca deixaram de acreditar em mim. E um agradecimento especial à minha companheira de vida dos últimos 10 anos, que sempre esteve ao meu lado em cada prova de resiliência, minha cachorra, minha filha: Nala Maria. Mesmo não estando presente em corpo físico, sei que continua cuidando de mim seja onde estiver.

“Lembre-se que as pessoas podem tirar tudo de você, menos o seu conhecimento.” – Albert Einstein.



Universidade Federal
de São João del-Rei

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI – UFSJ

Instituída pela Lei Nº 10.425 de 19/02/2002 – D.O.U. de 22/04/2002

CURSO DE ENGENHARIA DE BIOPROCESSOS

Campus Alto Paraopeba – Rod. MG 443, km 7, Caixa Postal 131. Ouro Branco, MG. CEP 3.420-000

RESUMO

Com o avanço dos impactos ambientais no planeta, é muito importante que o avanço da biotecnologia cada vez mais possa viabilizar formas efetivas de reduzir parte dos danos. Existem tratados, protocolos, acordos dentre cerca de 194 países em que pautas ambientais são prioridade. A partir desses acordos, surgiu a necessidade de um novo modelo econômico que esteja alinhado com expectativas ecológicas e sustentáveis, levando ao surgimento da Bioeconomia. A Bioeconomia necessita de algumas estratégias relacionadas a políticas governamentais, mercadológicas e socioeconômicas, alinhado com essas estratégias a Engenharia de Bioprocessos aparece como um viabilizador da produção de produtos biotecnológicos a partir de fontes renováveis de matéria-prima que corroboram com a redução da utilização de recursos não-renováveis. O presente trabalho visa apresentar uma pesquisa bibliográfica acerca de como a Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia pode auxiliar na consolidação e avanço de algumas estratégias da Bioeconomia.

Palavras-chave: Sustentabilidade, Bioeconomia Sustentável, Biotecnologia Industrial.



Universidade Federal
de São João del-Rei

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI – UFSJ

Instituída pela Lei Nº 10.425 de 19/02/2002 – D.O.U. de 22/04/2002

CURSO DE ENGENHARIA DE BIOPROCESSOS

Campus Alto Paraopeba – Rod. MG 443, km 7, Caixa Postal 131. Ouro Branco, MG. CEP 3.420-000

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Esquema de interação entre narrativas bioeconômicas.....	18
Figura 2: Estratégias Políticas da Alemanha para 2030.....	20
Figura 3: Mercado de atuação dos campos de conhecimento	21
Figura 4: Esquema Geral de um Bioprocesso.....	26
Figura 5: Matriz de conhecimentos do Engenheiro de Bioprocessos.....	29
Figura 6: Resumo da importância da Engenharia de Bioprocessos.....	30



Universidade Federal
de São João del-Rei

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI – UFSJ

Instituída pela Lei Nº 10.425 de 19/02/2002 – D.O.U. de 22/04/2002

CURSO DE ENGENHARIA DE BIOPROCESSOS

Campus Alto Paraopeba – Rod. MG 443, km 7, Caixa Postal 131. Ouro Branco, MG. CEP 3.420-000

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

OCDE - Organisation for Economic Co-operation and Development

GEE – Gases de Efeito Estufa

ECO-92 - Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas

COP - Conference of Parties

NDC/INDC - Contribuições Nacionalmente Determinadas Pretendidas

UNEP - Programa do Meio ambiente das Nações Unidas

CEBB - Centro Europeu de Biotecnologia e Bioeconomia

CNI – Confederação Nacional das Indústrias

EB – Engenharia de Bioprocessos

MEI – Mobilização Empresarial pela Inovação

PHA - polihidroxialcanoatos

MEC - Ministério da Educação

ESG - *Environmental, Social and Governance* (Sustentabilidade, Social e Governança)

KPIs – *Key Performance Indicators* (Indicadores de Performance)



Universidade Federal
de São João del-Rei

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI – UFSJ

Instituída pela Lei Nº 10.425 de 19/02/2002 – D.O.U. de 22/04/2002

CURSO DE ENGENHARIA DE BIOPROCESSOS

Campus Alto Paraopeba – Rod. MG 443, km 7, Caixa Postal 131. Ouro Branco, MG. CEP 3.420-000

SUMÁRIO

I.	INTRODUÇÃO	10
II.	OBJETIVOS	12
1.	Objetivo Geral	12
2.	Objetivos Específicos	12
III.	METODOLOGIA.....	12
IV.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
3.	Problema climático e o uso de recursos não-renováveis para obtenção de matéria-prima.....	13
i.	Contexto Histórico:.....	13
ii.	Uso de recursos não-renováveis:	14
4.	A Bioeconomia Sustentável como nova forma econômica.....	15
iii.	Conceituando a Bioeconomia	15
iv.	Principais aspectos da Economia Circular, Economia Verde e Bioeconomia:	16
v.	Implementação de Estratégias Políticas e Estratégias de Mercado	19
5.	A Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia como viabilizadora da Bioeconomia	24
vi.	Conceituando a Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia	24
vii.	O papel do engenheiro de bioprocessos como viabilizador da Bioeconomia	27
V.	CONCLUSÃO	33
VI.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34



Universidade Federal
de São João del-Rei

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI – UFSJ

Instituída pela Lei Nº 10.425 de 19/02/2002 – D.O.U. de 22/04/2002

CURSO DE ENGENHARIA DE BIOPROCESSOS

Campus Alto Paraopeba – Rod. MG 443, km 7, Caixa Postal 131. Ouro Branco, MG. CEP 3.420-000

I. INTRODUÇÃO

O desequilíbrio climático do planeta Terra, causado por emissões antropogênicas de gases estufa, tem causado cada vez mais preocupação (MENDONÇA, 2006). Quanto maior a população mundial, maiores são os desafios globais relacionados a problemas ambientais como poluição, mudanças climáticas, redução de recursos naturais e o descarte inadequado de resíduos (HOORNWEG *et al*, 2013). Como exemplo, tem-se a produção de combustíveis fósseis, produtos químicos e materiais sintéticos em que a maior consequência é a emissão de gases nocivos ao planeta terra, afetando o meio ambiente (CONSERVE ENERGIA FUTURE, 2020), o que pode levar dentre outros problemas, à diminuição da oferta de alimentos e colocar em risco a sobrevivência e saúde da população, aumentando tensões sociais e políticas (WREGE, 2001 citado por MORAES; JORDÃO, 2002).

Diante desse amplo espectro de desafios, existe a necessidade de avanço em direção à sustentabilidade global por meio de sistemas eficazes de enfrentamento (ROCKSTRÖM *et al*, 2009). A comunidade científica, política, cidadãos e líderes de empresas têm almejado uma transformação estrutural da economia que reduza o risco de escassez de recursos essenciais para a sobrevivência humana (LOISEAU *et al*, 2016).

Neste contexto, surge a Bioeconomia, que pode ser brevemente definida como um ramo das ciências sociais que integra biologia e economia a fim de criar soluções biotecnológicas para tentar mitigar o uso de recursos não-renováveis (MATEESCU *et al*, 2011). A Bioeconomia é uma área que contribui de maneira positiva com a reformulação do modelo econômico global, pois seus princípios estão ligados ao desenvolvimento sustentável (OCDE, p.22, 2009). A Bioeconomia vem sendo largamente difundida com diretrizes políticas e estratégicas envolvendo biotecnologia e fontes renováveis, utilizando a produção de biomassa de variadas



Universidade Federal
de São João del-Rei

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI – UFSJ

Instituída pela Lei Nº 10.425 de 19/02/2002 – D.O.U. de 22/04/2002

CURSO DE ENGENHARIA DE BIOPROCESSOS

Campus Alto Paraopeba – Rod. MG 443, km 7, Caixa Postal 131. Ouro Branco, MG. CEP 3.420-000

formas que são convertidas em energia e bens de consumo humano de alto valor agregado (LEWANDOWISKI, p.6, 2018).

Dessa forma, cada vez mais estão sendo realizados investimentos de forma prioritária em Bioeconomia, como por exemplo incentivos governamentais, parcerias e alianças instituições-indústrias, promovendo o aumento da competitividade de mercado e reduzindo a incidência de problemas socioambientais (DIAS, 2017). Segundo a OCDE, até 2030 a biotecnologia contribuirá globalmente com US\$ 1 trilhão/ano distribuídos entre os setores de produção primária, saúde e industrial.

Dentre as estratégias de desenvolvimento e implementação da Bioeconomia pode-se citar o Modelo Diamante de Porter. Com base neste modelo, que tem como objetivo aumentar a vantagem competitiva entre as nações, cinco principais fatores são relevantes para o contexto bioeconômico: condições naturais, recursos de trabalho, fonte de conhecimento, recursos financeiros e de infraestrutura (PORTER, 1990).

O primeiro termo retrata a importância de um ambiente com condições agroclimáticas favoráveis, aumentando o potencial de produção de biomassa para materiais de base biológica. O Brasil se encaixa perfeitamente nessas características, pois a biodiversidade brasileira é uma das maiores do mundo, muito rica em recursos renováveis e passível de exploração sustentável e bioprospecção para trazer soluções inovadoras (BARBA, 2020). Com relação aos recursos de trabalho, a qualificação da mão de obra tem um papel crucial neste cenário, pois alcançar os objetivos ambientalmente sustentáveis requer habilidades específicas.

Com isso, a Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia pode ser compreendida como a aplicação da Engenharia Química em processos que possuem catálise biológica, com ênfase em processos biotecnológicos (SHULER; KARGI, p.2, 2002), aparece como uma profissão de grande impacto no avanço e



Universidade Federal
de São João del-Rei

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI – UFSJ

Instituída pela Lei Nº 10.425 de 19/02/2002 – D.O.U. de 22/04/2002

CURSO DE ENGENHARIA DE BIOPROCESSOS

Campus Alto Paraopeba – Rod. MG 443, km 7, Caixa Postal 131. Ouro Branco, MG. CEP 3.420-000

implementação da Bioeconomia em larga escala, que pode contribuir com governos, indústrias e universidades/instituições de pesquisa na busca por tecnologias sustentáveis que influenciarão na modernização dos processos, no sentido de torná-los mais ambientalmente e economicamente favoráveis.

II. OBJETIVOS

1. Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é destacar a importância da Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia na consolidação e avanço da Bioeconomia, bem como suas formas de desenvolvimento e produção sustentáveis das quais implicam em um nicho de mercado de extrema importância ecológica.

2. Objetivos Específicos

Observar como o Engenheiro de Bioprocessos pode ser um viabilizador da Bioeconomia, por meio de políticas, incentivos fiscais e disponibilidade de mercado. Demonstrando a intersecção entre a economia de base sustentável e a estrutura de competências de um Engenheiro de Bioprocessos.

III. METODOLOGIA

Este trabalho acadêmico foi realizado na forma de Pesquisa Bibliográfica, de abordagem qualitativa, natureza básica com objetivos descritivos. Primeiro, foi realizada uma pesquisa sobre temáticas de impacto ambiental e acordos globais para mitigar esses impactos. Após essa etapa, realizou-se a busca por modelos econômicos de base ecológica e sustentável e pontos conceituais relevantes. Foi feito o levantamento de estratégias de implementação desses modelos econômicos e perspectivas de mercado. Por fim, fez-se um apanhado geral sobre a engenharia de bioprocessos e como ela se relaciona com as estratégias de implementação da Bioeconomia. O critério de seleção utilizado foi baseado em artigos científicos e livros relacionados através de ferramentas de busca consolidadas, levando em



Universidade Federal
de São João del-Rei

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI – UFSJ

Instituída pela Lei Nº 10.425 de 19/02/2002 – D.O.U. de 22/04/2002

CURSO DE ENGENHARIA DE BIOPROCESSOS

Campus Alto Paraopeba – Rod. MG 443, km 7, Caixa Postal 131. Ouro Branco, MG. CEP 3.420-000

consideração a atualidade e contemporaneidade da informação. Como exemplo das ferramentas utilizadas tem-se o Google Scholar, Elibrary, Acervo Biblioteca Virtual PUC Minas, sites governamentais como OCDE, Comissão Europeia, Ministério da Educação da Alemanha, Frente Parlamentar de Bioeconomia Brasileira.

IV. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3. Problema climático e o uso de recursos não-renováveis para obtenção de matéria-prima

i. Contexto Histórico:

Sabe-se que para a sobrevivência humana a interação com o meio ambiente é necessária a fim de se obter bens de consumo como vestuário, alimentação, higiene, habitação e outros. Essa interação foi aumentando ao longo dos séculos em virtude das transformações científicas, tecnológicas, políticas e sociais, o que levou cada vez mais à exploração e uso de recursos naturais, o que está diretamente relacionado com a degradação do meio ambiente levando à escassez de água, solos inférteis, poluição dentre tantos outros problemas em nosso planeta (BAPTISTA, 2010).

Dentre esses problemas, temos os Gases de Efeito Estufa (GEE) que são lançados na atmosfera em consequência da utilização de combustíveis fósseis. Esses gases são responsáveis pela elevação da temperatura do planeta, o que leva aos mais variados problemas ambientais. Com objetivo de mitigar e controlar o aquecimento global decorrente da utilização massiva de recursos não-renováveis, líderes mundiais se encontram anualmente na Conferência das Partes (*Conference of Parties*, COP) e por meio de protocolos, acordos, tratados e metas discutem pautas de grande relevância. Dentre esses eventos, pode-se destacar o Protocolo de Montreal em 1978, Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (ECO - 92) em 1992, Protocolo de *Kyoto* em 1997 e o Acordo de Paris em 2015 que é o sucessor do Protocolo de *Kyoto* (DALCIN, 2021).



Universidade Federal
de São João del-Rei

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI – UFSJ

Instituída pela Lei Nº 10.425 de 19/02/2002 – D.O.U. de 22/04/2002

CURSO DE ENGENHARIA DE BIOPROCESSOS

Campus Alto Paraopeba – Rod. MG 443, km 7, Caixa Postal 131. Ouro Branco, MG. CEP 3.420-000

O Acordo de Paris foi assinado na 21ª Edição da COP por cerca de 194 países. O acordo limita o aumento da temperatura do planeta em até 1,5°C por meio da redução expressiva de emissão dos Gases de Efeito Estufa e do uso de combustíveis de origem fóssil até o final do século XXI, levando como base as metas de cada país membro estabelecidas no documento de Contribuições Nacionalmente Determinadas Pretendidas (NDC/INDC), que é revisado pelas entidades a cada 5 anos (BARROS, 2017).

ii. Uso de recursos não-renováveis:

A partir de uma análise, foram identificados três desafios que precisaram ser considerados para o desenvolvimento das NDCs: Definição de Agenda, Coordenação Política, Conhecimento e Capacitação (HISAMOTO, 2022).

Na agenda brasileira está definida que a meta de redução de emissão proposta na NDC/INDC para 2030 é de 43%. Uma forma de chegar a esta meta é aumentar consideravelmente a produção e consumo de biocombustíveis em território brasileiro (MILANEZ *et al*, 2017).

Segundo o Documento Brasileiro de INDCs do Brasil de 2020, dentre as iniciativas podemos destacar:

- Monitoramento florestal;
- Sistemas de Manejo sustentável de florestas nativas;
- Promoção de novos padrões de tecnologias limpas aumentando a eficiência energética nas indústrias;
- Transição e expansão de geração de energia elétrica a partir da biomassa (bioenergia);
- Agricultura resiliente e de baixo carbono utilizando de tecnologias sustentáveis e escalonáveis.



Universidade Federal
de São João del-Rei

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI – UFSJ

Instituída pela Lei Nº 10.425 de 19/02/2002 – D.O.U. de 22/04/2002

CURSO DE ENGENHARIA DE BIOPROCESSOS

Campus Alto Paraopeba – Rod. MG 443, km 7, Caixa Postal 131. Ouro Branco, MG. CEP 3.420-000

Pensando a nível internacional, a partir do Acordo de Paris, os países desenvolvidos podem incentivar os países emergentes que têm interesse pela pauta ambiental, auxiliando no desenvolvimento de um sistema de obtenção de matérias primas que seja seguro e benéfico para o meio ambiente e sociedade.

Em suma, um dos pontos importantes para uma boa relação entre os países é o foco no desenvolvimento da Bioeconomia.

4. A Bioeconomia Sustentável como nova forma econômica

iii. Conceituando a Bioeconomia

Segundo BONAIUTI (2011), a palavra Bioeconomia foi citada pela primeira vez no final da década de 60 por Jirí Zeman da Academia da Tchecoslováquia, a fim de reconhecer a importância das atividades econômicas de base biológica. Porém, a figura mais conectada ao estudo da Bioeconomia foi o economista Nicholas Georgescu-Roegen, pioneiro em “Econômica Ecológica”, que teve como ponto chave de seus estudos a conexão entre as ciências da natureza e economia, enfatizando os limites biofísicos do crescimento econômico, ou em suas palavras: “o crescimento ilimitado não é compatível com as leis básicas da natureza”. A partir de suas epistemologias e pontos de vista, BONAIUTI uniu as Análises Socioantropológicas e Análises Biofísicas feitas por Nicholas para representar características essenciais da Bioeconomia.

O crescimento e desenvolvimento econômico pela perspectiva tradicional têm como objetivo o crescimento pelo crescimento, em que a lógica não é aumentar a produção para satisfazer necessidades e sim crescer indefinidamente com consumo ilimitado e a consequência disso é o aumento da poluição e resíduos, em suma a destruição do planeta (LATOUCHE, 2014).

A maioria das cadeias de produção não são ecologicamente sustentáveis, pois o processo econômico não é somente mecânico e reversível, ele também ocorre por influências entrópicas que estão em função do tempo. Nicholas admitiu na



Universidade Federal
de São João del-Rei

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI – UFSJ

Instituída pela Lei Nº 10.425 de 19/02/2002 – D.O.U. de 22/04/2002

CURSO DE ENGENHARIA DE BIOPROCESSOS

Campus Alto Paraopeba – Rod. MG 443, km 7, Caixa Postal 131. Ouro Branco, MG. CEP 3.420-000

economia a Lei de Entropia para distinguir as entradas e saídas dos recursos de valor e sem valor, chegando na conclusão de que não se pode utilizar a mesma energia indefinidamente, o que leva a escassez de recursos e isso impossibilita o crescimento econômico infinito em um planeta finito, justificando a substituição da ciência econômica tradicional pela Bioeconomia para gerir fontes de matéria prima (ROEGEN,1971).

iv. Principais aspectos da Economia Circular, Economia Verde e Bioeconomia:

A Economia Circular, Economia Verde e a Bioeconomia são conceitos econômicos com pautas de sustentabilidade dentro da política, pesquisas científicas, negócios e mercado. Cada uma delas oferece notáveis soluções sustentáveis, mas nenhuma delas possui um escopo completo de soluções separadamente. Todas elas trazem abordagens mais compreensivas e holísticas, estratégias, ações e ferramentas que abrangem o setor público e privado a nível regional, nacional ou internacional (Leach *et al.*, 2018).

A Economia Circular tem como definição ser um sistema fechado e circular de uso de recursos e resíduos, promovendo a manutenção da sustentabilidade no planeta (GHISELLINI; CIALANI; ULGIATI, 2016). Kopnina e Blewitt (2015, p. 21), disseram que "o modelo de economia circular utiliza o funcionamento dos ecossistemas como um exemplo para os processos industriais, enfatizando a mudança para produtos ecologicamente saudáveis e energias renováveis." Como principais estratégias de implementação podem-se destacar a coordenação de processos regulatórios, padrões e práticas voluntárias criando uma colaboração maior por parte das indústrias, apoio financeiro do setor público-privado ligado a estratégias de demanda de mercado, bem como o compartilhamento de produtos para reciclagem, remanufatura e reutilização (BROMAN & ROBÈRT, 2017). Para que o reaproveitamento seja eficiente, faz-se necessária a conscientização sobre a



Universidade Federal
de São João del-Rei

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI – UFSJ

Instituída pela Lei Nº 10.425 de 19/02/2002 – D.O.U. de 22/04/2002

CURSO DE ENGENHARIA DE BIOPROCESSOS

Campus Alto Paraopeba – Rod. MG 443, km 7, Caixa Postal 131. Ouro Branco, MG. CEP 3.420-000

classificação de componentes biológicos e inorgânicos dos resíduos (KIRCHHERR, 2017).

A Economia Verde introduzida por Pearce et al. (1989), diz que o conceito de economia e o meio ambiente são interdependentes. O Programa do Meio Ambiente das Nações Unidas (UNEP) define a Economia Verde como aquela que “melhora o bem-estar humano e a equidade social, ao mesmo tempo em que reduz significativamente os riscos ambientais e a escassez ecológica”, em que uma das estratégias é “reduzir as emissões de carbono e poluição, aumentar a eficiência energética, dos recursos e prevenir a perda da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos”. Tratando do bem-estar humano, emprego e redução da pobreza. Necessidade também de coordenação de processos regulatórios com ênfase em esquemas de mercado em que o poluidor paga por ações contrárias à sustentabilidade (BROMAN & ROBÈRT, 2017). Outra estratégia importante da Economia Verde é reduzir e/ou extinguir subsídios para combustíveis fósseis e práticas relacionadas, utilizando impostos e compensações para recursos naturais de taxa de carbono e água (BARBIER, 2012).

Por fim, a Bioeconomia é a transformação sustentável de recursos biológicos renováveis com base nas inovações das ciências da vida em produtos e processos que visam atender às expectativas públicas e privadas inseridas no bem-estar econômico, ambiental e social, levando em consideração inovação e competitividade (Maciejczak, *et al.*). Assim como a Economia Circular e Verde, também necessita de coordenação de processos regulatórios e iniciativas público-privadas com ênfase em pesquisas científicas e mercado sustentável (BROMAN & ROBÈRT, 2017). Portanto, a Bioeconomia é a viabilizadora de um mundo onde a biotecnologia contribui significativamente com a economia onde três aspectos são fundamentais para essa contribuição: o conhecimento em biotecnologia, biomassa



Universidade Federal
de São João del-Rei

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI – UFSJ

Instituída pela Lei Nº 10.425 de 19/02/2002 – D.O.U. de 22/04/2002

CURSO DE ENGENHARIA DE BIOPROCESSOS

Campus Alto Paraopeba – Rod. MG 443, km 7, Caixa Postal 131. Ouro Branco, MG. CEP 3.420-000

renovável e a interação aplicável entre conhecimento e disponibilidade de material (OCDE, p22, 2009).

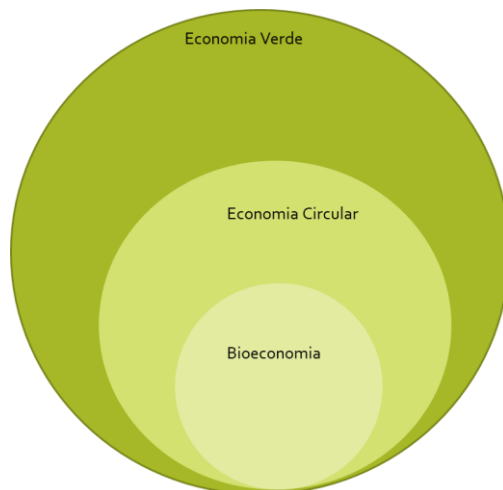
Em resumo D'AMATO & KORHONEN (2021), apontaram que:

“Em conjunto, a economia circular, a economia verde e a Bioeconomia mostram a necessidade de uma nova sociedade e economia globais baseadas em processos renováveis/reprodutivos, baseados na biodiversidade e benignos para a biodiversidade, proporcionando benefícios materiais e imateriais que atendam aos requisitos econômicos e sociais de todas as pessoas agora e no futuro.”

A Economia Verde tem uma longa história na literatura acadêmica, pode-se considerar que a Bioeconomia está contida dentro do escopo da Economia Verde (LEWANDOWISKI, 2018 p.26) e da Economia Circular, pois a Bioeconomia está alinhada com os princípios de manutenção, reparo, reutilização e reciclagem da Economia Circular por utilizar a biotecnologia em seus recursos biológicos (FARIA & PIRES, 2020). O esquema abaixo resume como funciona a interação entre os três conceitos:

Figura 1 - Esquema de interação entre narrativas bioeconômicas.

Fonte: Adaptado de LEWANDOWISKI, 2018.





Universidade Federal
de São João del-Rei

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI – UFSJ

Instituída pela Lei Nº 10.425 de 19/02/2002 – D.O.U. de 22/04/2002

CURSO DE ENGENHARIA DE BIOPROCESSOS

Campus Alto Paraopeba – Rod. MG 443, km 7, Caixa Postal 131. Ouro Branco, MG. CEP 3.420-000

v. *Implementação de Estratégias Políticas e Estratégias de Mercado*

Membros da Comissão Europeia foram os principais influenciadores do conceito de Bioeconomia. A União Europeia defende a utilização de um modelo econômico que auxilia no entendimento do complexo contexto em que os instrumentos políticos intervêm, adaptando um modelo existente em um novo modelo que englobe aspectos sociais e tecnológicos, explicitando os impactos que a inovação pode causar nos consumidores e em toda estrutura econômica. É preciso explorar todas as vantagens dos modelos de adaptação sem deixar de levar em consideração a Mudança Climática, Biodiversidade, uso circular de Biomassa, comportamento do consumidor de bioprodutos e inovação tecnológica. As demandas de biomassa e seu suprimento precisam estar alinhadas para obtenção de energia, produtos químicos de base biológica e outros. Esses são fatores que influenciam diretamente na transição e funcionamento da Bioeconomia (PYKA, *et al.* 2022).

A Comissão Europeia propôs em 2018 as seguintes estratégias de implementação:

“Ampliação e fortalecimento de setores de base biológica (por exemplo, promoção e desenvolvimento de padrões, rotulagem e aceitação no mercado de produtos de base biológica, como o rótulo ecológico da UE ou compras públicas verdes);

Implantação de Bioeconomias locais em toda a Europa (por exemplo, uma agenda de implantação estratégica para alimentos sustentáveis e sistemas agrícolas, silvicultura e produtos de base biológica);

Melhor compreensão dos limites ecológicos da Bioeconomia (por exemplo, implementação de um sistema de monitoramento em toda a UE para acompanhar o progresso rumo a uma Bioeconomia sustentável e circular).”



Universidade Federal
de São João del-Rei

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI – UFSJ

Instituída pela Lei Nº 10.425 de 19/02/2002 – D.O.U. de 22/04/2002

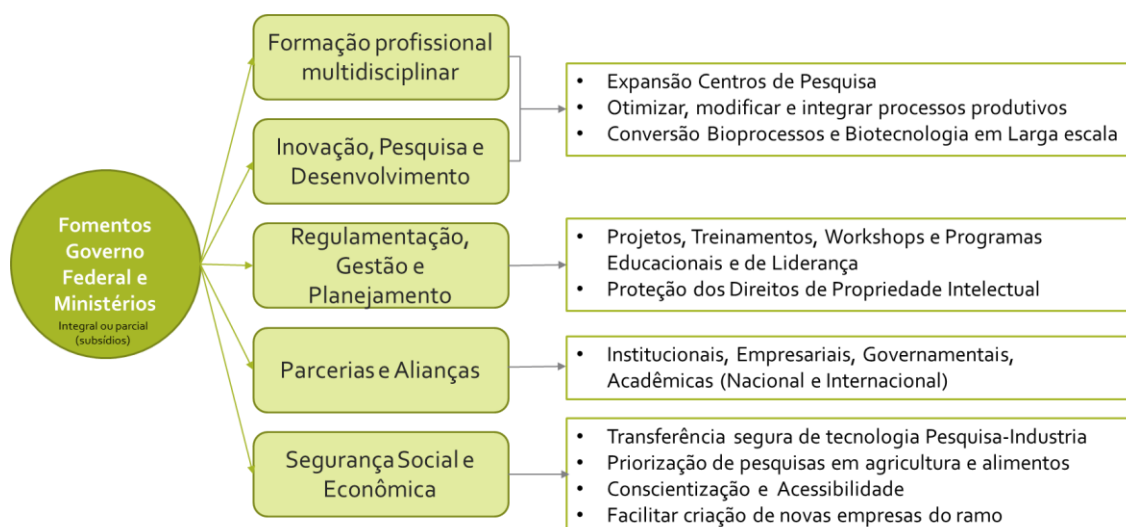
CURSO DE ENGENHARIA DE BIOPROCESSOS

Campus Alto Paraopeba – Rod. MG 443, km 7, Caixa Postal 131. Ouro Branco, MG. CEP 3.420-000

Dentro da União Europeia, a Alemanha é o país que está na frente das estratégias de desenvolvimento em Bioeconomia no mundo (OCDE, 2019). Abaixo é possível observar as principais estratégias políticas a serem implementadas até o ano de 2030:

Figura 2 - Estratégias Políticas da Alemanha para 2030.

Fonte: Adaptado de National Research Strategy BioEconomy 2030, 2011.



A Figura 2 mostra as principais estratégias políticas adotadas pelo Governo Federal e Ministérios da Alemanha, onde o desenvolvimento tecnológico é voltado para o uso de biomassa e biotecnologia molecular. As entidades interessadas (Institutos de Pesquisa, Indústrias, Empresas, Universidades etc.), com base em regulamentações sólidas, têm a possibilidade de realizar a requisição de auxílio ao Governo Federal em caso de não terem como arcar com os custos básicos de implementação dessas possíveis estratégias, esse auxílio é oferecido de forma individual ou em caso de parcerias entre elas. Existe também uma grande preocupação no que tange a conversão e o escalonamento das tecnologias desenvolvidas, que precisam além de tudo serem seguras e viáveis economicamente (Federal Ministry of Education and Research, 2011).



Universidade Federal
de São João del-Rei

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI – UFSJ

Instituída pela Lei Nº 10.425 de 19/02/2002 – D.O.U. de 22/04/2002

CURSO DE ENGENHARIA DE BIOPROCESSOS

Campus Alto Paraopeba – Rod. MG 443, km 7, Caixa Postal 131. Ouro Branco, MG. CEP 3.420-000

Em 2012 os Estados Unidos anunciaram por meio do “*National Bioeconomy Blueprint*” uma série de estratégias para alcançar o potencial bioeconômico no país. As principais estratégias são:

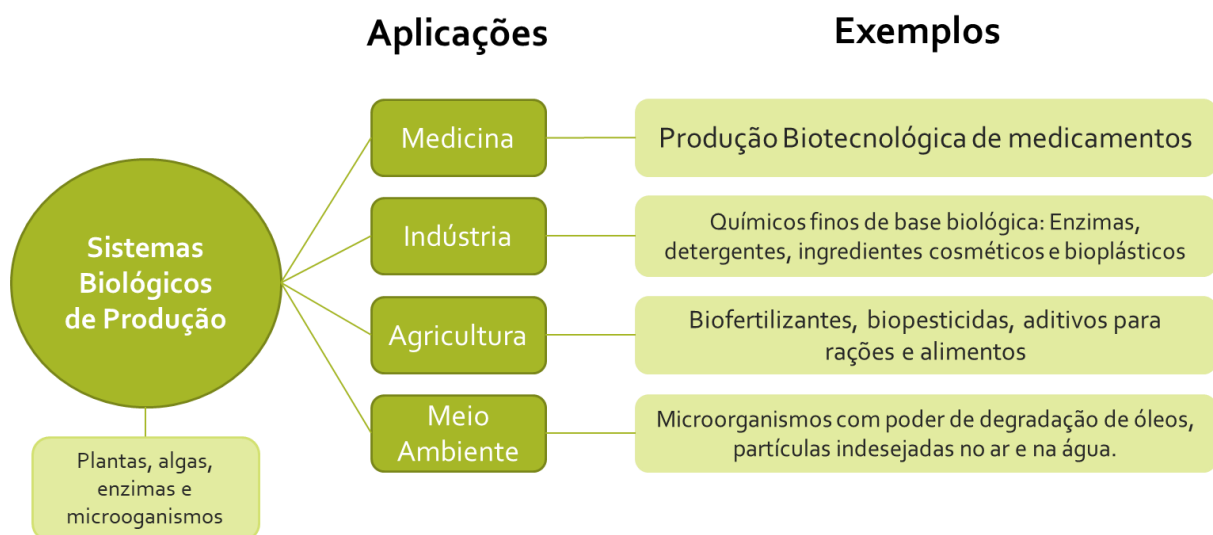
“Oportunidades de empreendedorismo e comércio;
Investimento em P&D focados em áreas base da Bioeconomia;
Redução de encargos e impedimentos desnecessários, protegendo a saúde e segurança;
Parcerias público-privadas para aceleração da inovação
Foco em desenvolvimento de mão de obra qualificada, preparando a próxima geração de cientistas e engenheiros para os empregos bioeconômicos.” (The White House, 2012)

Com todas as estratégias políticas apresentadas acima, a classificação dos campos de conhecimento é importante para que as inovações sejam implantadas visando a formação de alianças com empresas com o ideal bioeconômico (CHATZIS et al., 2018).

O esquema abaixo mostra exemplos e aplicações de alguns campos de conhecimento e atuação:

Figura 3 - Mercado de atuação dos campos de conhecimento.

Fonte: Adaptado de Estratégia Alemã de Bioeconomia 2030, 2011.





Universidade Federal
de São João del-Rei

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI – UFSJ

Instituída pela Lei Nº 10.425 de 19/02/2002 – D.O.U. de 22/04/2002

CURSO DE ENGENHARIA DE BIOPROCESSOS

Campus Alto Paraopeba – Rod. MG 443, km 7, Caixa Postal 131. Ouro Branco, MG. CEP 3.420-000

Segundo o Presidente do Centro Europeu de Biotecnologia e Bioeconomia (CEBB) Florent Allais (2022), a crise de energia e matérias-primas agravou a disparidade entre produtos de base fóssil e produtos de base biológica, com isso:

“o apoio a produtos de base biológica e tecnologias sustentáveis e a vontade de promover parcerias público-privadas nestas temáticas têm-se tornado cada vez mais proativos e significativos, tanto a nível nacional como europeu, até a nível de demonstração. No entanto, a transição para produtos de base biológica requer a implementação de regulamentações mais coerentes, tendo em conta a circularidade do carbono biogénico e favorecendo a compra destes produtos.” (CEBB, 2022)

Com o mercado global cada vez mais exigente com relação a ações voltadas para a preservação do meio ambiente, as medidas fiscais e tributárias adotadas pelos países e regiões também incentivam os negócios a serem sustentáveis favorecendo o ambiente competitivo entre as empresas e setores, corrigindo falhas de mercado. Um exemplo onde essas medidas são ditadas é no ESG (*environmental, social and governance*), que é um poderoso indicador de como as empresas honram e se comprometem às boas práticas ambientais, sociais e de governança. Esse indicador pode levar à atração de investimentos internacionais (MOTA; STEFANELO, 2022). Esses indicadores podem mensurar o desempenho sustentável empresarial visando gerar valor a longo prazo por meio de relatórios e prestação de contas que saem do escopo tradicional de demonstrações financeiras de uma empresa. Os indicadores de performance (KPIs) reportados têm relação com a missão, operação, cultura e estratégias da organização (BROKETT; REZAEI; 2012).

Segundo um estudo de mercado feito pela Reports And Data, a biotecnologia industrial com foco majoritariamente sustentável em 2030 terá o valor de mercado mundial estimado em US\$ 852,55 Bilhões com taxa de crescimento anual composto de 9,9% (Reports And Data, 2021).

O cenário do mercado brasileiro em relação à Bioeconomia apresenta a possibilidade de atingir um faturamento industrial adicional de aproximadamente



Universidade Federal
de São João del-Rei

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI – UFSJ

Instituída pela Lei Nº 10.425 de 19/02/2002 – D.O.U. de 22/04/2002

CURSO DE ENGENHARIA DE BIOPROCESSOS

Campus Alto Paraopeba – Rod. MG 443, km 7, Caixa Postal 131. Ouro Branco, MG. CEP 3.420-000

US\$392 Bilhões/ano por meio das inovações biotecnológicas. Em 2016 a contribuição da Bioeconomia para o Brasil rendeu o valor de US\$ 326 Bilhões, onde vale destacar que 53% foram absorvidos pelo setor agropecuário, 20% no setor alimentício (SILVA; PEREIRA; MARTINS, 2018). A ABBI prevê que até 2040 a biotecnologia poderá contribuir com US\$ 54 Bilhões no Produto Interno Bruto Brasileiro (CNI, 2021). Essas estimativas ocorrem pelo fato de que o Brasil é um berço de possibilidades biotecnológicas no setor sucroenergético, papel e celulose e disponibilidade de biomassa competitiva (para conversão em produtos energéticos e produtos de valor agregado) (ABBI, 2022).

Um importante projeto da Confederação Nacional da Indústria (CNI) em parceria com a Mobilização Empresarial pela Inovação (MEI) e universidades está sendo implantado, o projeto “Indústria 2027”. Este projeto avalia como 8 setores tecnológicos irão impactar 10 setores produtivos da economia brasileira, ajudando a descobrir como o país pode crescer e mitigar riscos ligados a inovações disruptivas. O projeto será desenvolvido em três etapas:

- “1. Análise das tendências e potenciais impactos da tecnologia sobre sistemas produtivos.
2. Avaliação dos efeitos das tecnologias nos sistemas produtivos, nos focos setoriais e na competitividade empresarial.
3. Reflexão sobre estratégias pública e privadas.” (CNI, 2022)

Dentre os 8 setores, está presente a Biotecnologia e Bioprocessos, que segundo a CNI:

“Envolve o emprego combinado de engenharia genética, biologia celular e ciência da computação. Por meio da manipulação de seres vivos ou de partes deles, é possível obter produtos e processos como, por exemplo, novas vacinas, novos medicamentos e terapias, plantas com maior resistência a pragas e a estresses climáticos, além de testes diagnósticos mais precisos e menos invasivos.” (CNI, 2022)

Esse projeto poderá influenciar diretamente no avanço da Bioeconomia nacional.



Universidade Federal
de São João del-Rei

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI – UFSJ

Instituída pela Lei Nº 10.425 de 19/02/2002 – D.O.U. de 22/04/2002

CURSO DE ENGENHARIA DE BIOPROCESSOS

Campus Alto Paraopeba – Rod. MG 443, km 7, Caixa Postal 131. Ouro Branco, MG. CEP 3.420-000

5. A Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia como viabilizadora da Bioeconomia

vi. Conceituando a Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia

A essência da Engenharia é a capacidade de criar e modificar as coisas, realizar transformações adequadas às necessidades do ser humano. A humanidade está convivendo com a Revolução Tecnológica há algum tempo, onde o engenheiro tem papel fundamental na classificação e previsão de fenômenos naturais e não naturais em processos de pequena e larga escala, utilizando conhecimentos técnicos e científicos. Existem várias vertentes da engenharia, como por exemplo a Engenharia Química, que utiliza a combinação de variadas competências técnicas relacionadas a matemática, física, química e biologia (CREMASCO, 2010).

A Engenharia de Bioprocessos (EB) é uma vertente recente da Engenharia Química. Quando se pensa em um Bioprocessos há uma associação imediata com a produção por fermentação. Quando se fala em aumento de escala de produtos de base biológica, cálculos e técnicas específicas precisam ser adotados para que o objetivo seja alcançado de forma segura e rentável. Muitos avanços ocorreram para a ciência alcançar o nível biotecnológico que é utilizado hoje, e a EB tem papel crucial na manipulação de células a nível molecular e sua transformação comercial. A realização dessas transformações é complexa, mas muito bem construída, sempre levando em consideração a combinação biológica e os fenômenos matemáticos, físicos e químicos da natureza (SHULER; KARGI, 2002).

A células e as enzimas são os protagonistas dos bioprocessos. No caso da célula, cujo objetivo primário é se multiplicar e se manter viva, ocorre uma série de reações bioquímicas, as chamadas vias metabólicas (SCHMIDELL, 2021, p18). Pode-se classificar a obtenção do produto de interesse por esses protagonistas por Biotransformação Enzimática e Bioconversão metabólica. Em que na primeira



Universidade Federal
de São João del-Rei

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI – UFSJ

Instituída pela Lei Nº 10.425 de 19/02/2002 – D.O.U. de 22/04/2002

CURSO DE ENGENHARIA DE BIOPROCESSOS

Campus Alto Paraopeba – Rod. MG 443, km 7, Caixa Postal 131. Ouro Branco, MG. CEP 3.420-000

ocorrem poucas ou uma reação específica. E na segunda necessita da célula inteira, em funcionamento.

“Biotransformação Enzimática: As enzimas são proteínas com uma estrutura tridimensional única capaz de se ligar a um substrato, geralmente, mas nem sempre, uma pequena molécula, e catalisar uma reação específica, semelhante à catálise química, mas sob condições amenas de temperatura e pressão. A enzima forma um complexo em seu sítio ativo com o substrato, que é convertido por meio de um complexo enzima-produto para produzir produto e enzima livre. As enzimas são classificadas em seis grupos de acordo com a reação química que catalisam: (i) óxido-redutases, (ii) transferases, (iii) hidrolases, (iv) liases, (v) isomerases, (vi) ligases.

Bioconversão metabólica usando cultivo de células: Teoricamente, espécies de qualquer classe ou partes delas podem ser usadas como biocatalisadores. Tradicionalmente, bactérias procarióticas e fungos eucarióticos têm sido usados. No entanto, há bioprocessos que utilizam culturas mistas indefinidas usadas em biotecnologia ambiental para diversas aplicações, como tratamento de águas residuais e lixiviação mineral.” (HEINZLE, p.13,2006)

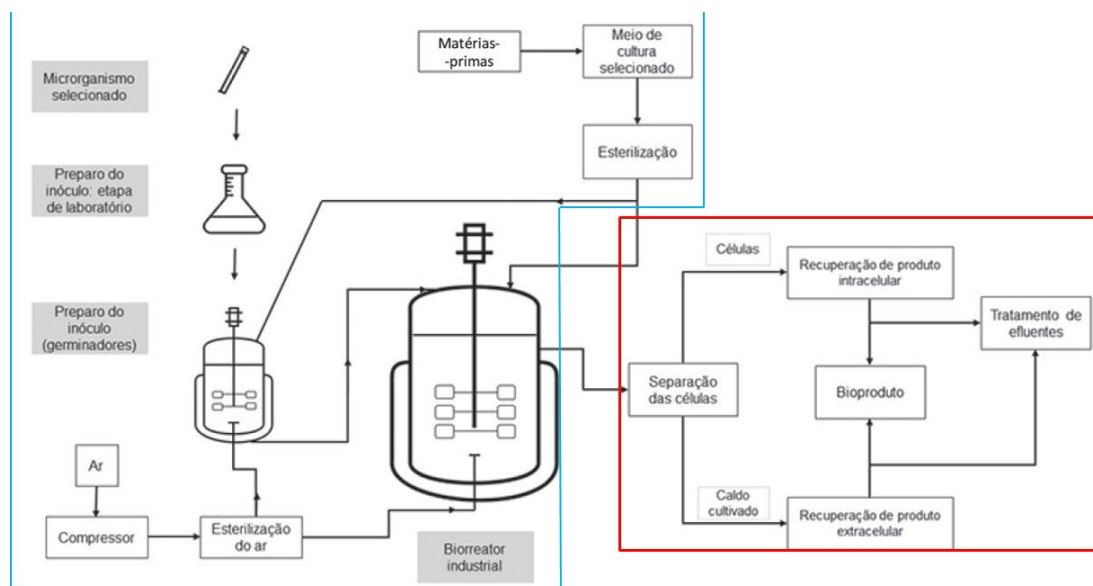
Um bioprocesso pode ser dividido em três macro-etapas: Processo de *Upstream*, Biorreação e *Downstream*. A macro-etapa de *Upstream* contém todas as operações unitárias, como o preparo do meio de cultura, esterilização de matéria-prima, fermentação, reação enzimática etc. Ou seja, as etapas que serão executadas antes da transferência para o biorreator.

No biorreator, além da escolha correta do seu tipo, algumas parametrizações precisam ser definidas, padronizadas e acompanhadas: agitação, aeração, transferência de calor, controle de espuma e ajuste de pH (BLANCH, 1996).

O *Downstream* é a separação e purificação do produto de interesse, a escolha da técnica depende de propriedades físicas e químicas dos componentes. Os principais métodos de separação são a centrifugação, sedimentação, microfiltração, ultrafiltração, diferentes tipos de cromatografias, adsorção, extração, destilação etc. E então, a última etapa do *Downstream* é o preparo final do produto, que pode ser feito por meio de cristalização, estabilização, secagem e outros

(HARRISON, 2003). Um esquema geral de como funciona um bioprocesso e seus elementos essenciais está ilustrado abaixo:

Figura 4 - Esquema Geral de um Bioprocesso. Delinado de azul: *Upstream*; delineado de vermelho: *Downstream*. Fonte: Adaptado de SCHMIDELL, p.22, 2021.



Quando um bioprocesso está sendo desenvolvido, é necessário ter a previsão de como será todo o processo da forma mais detalhada possível para que se tenha a dimensão das limitações e do que precisará ser melhorado e modificado. Essa visualização pode ser feita por meio da modelagem do processo. Quanto mais avançado for esse modelo, mais fiel será o escopo do processo, auxiliando para uma tomada de decisão sólida (HEINZLE, A., 1997).

O objetivo da modelagem precisa ser definido logo no início, bem como especificar o tamanho da planta, a via de obtenção, os limites, condições de processo, pureza necessária do produto etc. E então, com base em literaturas e no próprio experimento, é necessário realizar o levantamento de dados e estimar os parâmetros relacionados às reações químicas das células: tempo de fermentação, concentração obtidos por meio de cálculos estequiométricos, cinética de reações.



Universidade Federal
de São João del-Rei

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI – UFSJ

Instituída pela Lei Nº 10.425 de 19/02/2002 – D.O.U. de 22/04/2002

CURSO DE ENGENHARIA DE BIOPROCESSOS

Campus Alto Paraopeba – Rod. MG 443, km 7, Caixa Postal 131. Ouro Branco, MG. CEP 3.420-000

A próxima etapa é a elaboração de um Diagrama de Processos e Operações Unitárias, onde cada operação unitária e seus parâmetros devem ser transcritos no modelo (HEINZLE, p 64-66, 2006). Portanto, os cálculos de modelagem podem ser bastante singulares, necessitando do conhecimento especializado do Engenheiro de Bioprocessos (BAILEY *et al*, 1986).

Os benefícios da biotecnologia não poderiam ser realizados sem a EB, pois a EB coloca a biotecnologia para funcionar (NRC, 1992). Projetar elementos industriais como tanques, impulsores, bombas, compressores, colunas, tubulações e válvula tudo isso envolvendo microrganismos e métodos de recuperação e purificação são cruciais para a disponibilização de produtos biotecnológicos no mercado (LADISCH, 2001).

vii. O papel do engenheiro de bioprocessos como viabilizador da Bioeconomia

Como visto na Seção v.2 deste trabalho, uma das estratégias de implementação da Bioeconomia é a formação e qualificação da mão de obra interdisciplinar em parceria com os governos locais.

Hoje no Brasil existem 13 cursos de graduação em Engenharia de Bioprocessos em universidades públicas, são elas:

1. Universidade Federal de São João Del Rei (UFSJ)
2. Universidade Federal do Pará (UFPA)
3. Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)
4. Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI)
5. Instituto de Ensino Superior Fucapi (CESF)
6. Universidade do Estado da Bahia (UNEB)
7. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP)



Universidade Federal
de São João del-Rei

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI – UFSJ

Instituída pela Lei Nº 10.425 de 19/02/2002 – D.O.U. de 22/04/2002

CURSO DE ENGENHARIA DE BIOPROCESSOS

Campus Alto Paraopeba – Rod. MG 443, km 7, Caixa Postal 131. Ouro Branco, MG. CEP 3.420-000

8. Universidade Federal do Paraná (UFPR)
9. Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)
10. Universidade Estadual do Rio Grande do Sul (UERGS)
11. Fundação Universidade Federal do Tocantins (UFT)
12. Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)
13. Universidade Federal do Ceará (UFC) (Guia da Carreira, 2022).

A título de exemplo, em 2008 a Universidade Federal de São João Del Rei (UFSJ) fundou o *Campus* Alto Paraopeba e junto a ele 5 engenharias, dentre elas a EB. Segundo o projeto pedagógico disponibilizado pela instituição, a justificativa do curso está relacionada com o avanço da biotecnologia em diversos segmentos e com ela a crescente necessidade de profissionais qualificados para a demanda de mercado no Brasil, com foco na capacitação de futuros pesquisadores contribuindo para a otimização de processos biotecnológicos. A oferta do curso está em consonância com o cenário nacional, a preocupação socioambiental e o desenvolvimento de soluções biotecnológicas (UFSJ, 2022).



Universidade Federal
de São João del-Rei

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI – UFSJ

Instituída pela Lei Nº 10.425 de 19/02/2002 – D.O.U. de 22/04/2002

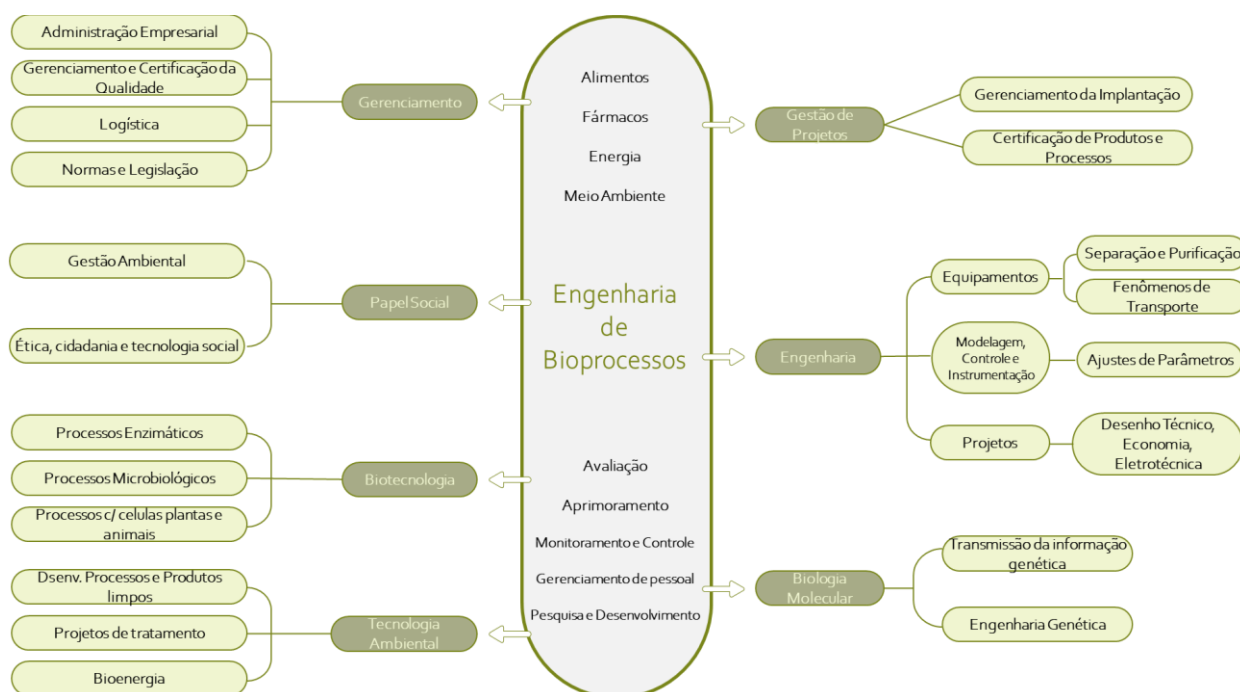
CURSO DE ENGENHARIA DE BIOPROCESSOS

Campus Alto Paraopeba – Rod. MG 443, km 7, Caixa Postal 131. Ouro Branco, MG. CEP 3.420-000

A Figura 5 demonstra um resumo da matriz de conhecimento do Engenheiro de Bioprocessos:

Figura 5 - Matriz de conhecimentos do Engenheiro de Bioprocessos.

Fonte: Adaptado de UFSJ, 2010.



Segundo o Ministério da Educação (MEC), o curso de Engenharia de Bioprocessos é definido como:

“O Bacharel em Engenharia de Bioprocessos ou Engenheiro de Bioprocessos atua no desenvolvimento de tecnologias e processos nos quais as transformações são feitas usando células animais, vegetais ou micro-organismos, ou suas partes. Em sua atividade, utiliza organismos naturais ou geneticamente modificados para a produção, em escala industrial, nas áreas de: alimentos e bebidas, fertilizantes, micro-organismos inoculantes para agricultura e para uso industrial, enzimas para a indústria química e farmacêutica, vacinas, antibióticos, proteínas bioativas e outros fármacos, kits de diagnóstico, aditivos para a indústria de alimentos, biopolímeros, meio ambiente, biomassa e seus derivados, e bioenergia. Desenvolve tecnologias limpas, processos de reciclagem e aproveitamento dos resíduos da indústria química, agroindústria e outros. Coordena e supervisiona equipes de trabalho; realiza pesquisa científica e tecnológica e estudos de viabilidade técnico-econômica; executa e fiscaliza obras e serviços técnicos; efetua vistorias, perícias e avaliações, emitindo laudos e pareceres. Em sua atuação, considera a ética, a segurança e os impactos socioambientais.” (MEC, 2010)



Universidade Federal
de São João del-Rei

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI – UFSJ

Instituída pela Lei Nº 10.425 de 19/02/2002 – D.O.U. de 22/04/2002

CURSO DE ENGENHARIA DE BIOPROCESSOS

Campus Alto Paraopeba – Rod. MG 443, km 7, Caixa Postal 131. Ouro Branco, MG. CEP 3.420-000

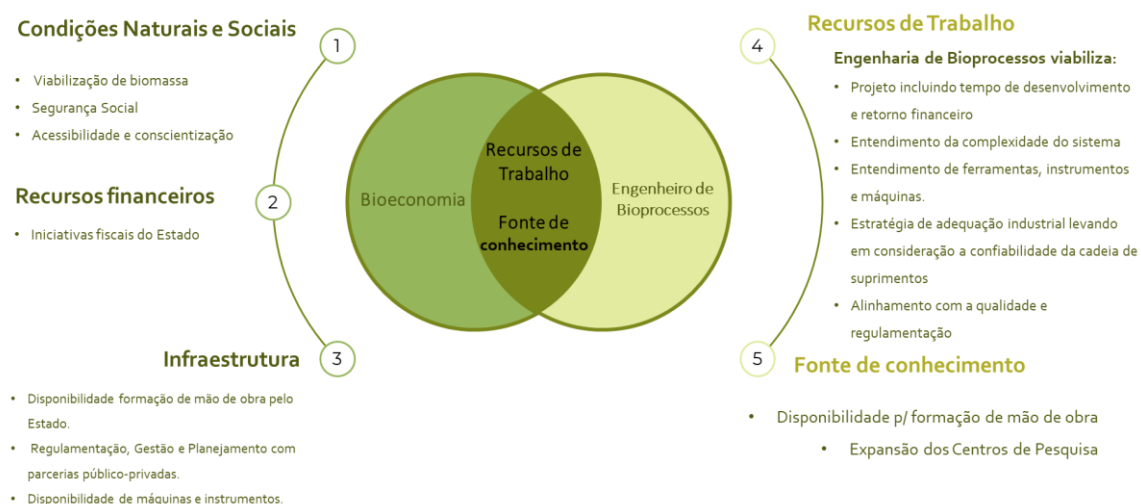
Também de acordo com o MEC, as competências são voltadas não só para os itens citados anteriormente, mas também em:

“Áreas administrativas e comerciais como engenheiro de produto e de processo; empresas e laboratórios de pesquisa científica e tecnológica. Podendo atuar também de forma autônoma, em empresa própria ou prestando consultoria.” (MEC, 2010).

Em resumo, a principal intersecção entre a Bioeconomia e Engenharia de Bioprocessos são relacionados aos recursos de trabalho e fonte de conhecimento observe o Diagrama abaixo:

Figura 6 – Resumo da importância da Engenharia de Bioprocessos para a Bioeconomia.

Fonte: Autoria própria.



Alguns exemplos de tecnologias emergentes que destacam a contribuição da Engenharia de Bioprocessos no avanço da Bioeconomia serão discutidos adiante:

- **Biocombustíveis:**

Os biocombustíveis são classificados de acordo com sua geração. Biocombustíveis de Primeira Geração (1G) são de baixa sofisticação biotecnológica, produzidos a partir de culturas de agrícolas em terras aráveis, competindo com a produção de alimentos.



Universidade Federal
de São João del-Rei

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI – UFSJ

Instituída pela Lei Nº 10.425 de 19/02/2002 – D.O.U. de 22/04/2002

CURSO DE ENGENHARIA DE BIOPROCESSOS

Campus Alto Paraopeba – Rod. MG 443, km 7, Caixa Postal 131. Ouro Branco, MG. CEP 3.420-000

Biocombustíveis de Segunda Geração são obtidos a partir de resíduos de culturas agrícolas. Um exemplo é o Etanol de Segunda Geração (2G): produzido de biomassa de base lignocelulósica, que tem como principais etapas de produção o pré-tratamento da matéria prima, a hidrólise enzimática, a fermentação dos açúcares, processo de separação, destilação e purificação. As principais fontes de obtenção são resíduos agroindustriais como bagaço de cana, palha de milho e do setor de papel e celulose, capim-elefante, sorgo-sacarino (PRADELLA et al, 2009).

Biocombustíveis de Terceira Geração (3G): são biocombustíveis obtidos a partir de biomassa de algas, gerando biocombustíveis a base de óleo, como o biodiesel (NIGAM; SINGH, 2011).

Finalmente, os Biocombustíveis de Quarta Geração (4G): utilizam os princípios dos biocombustíveis de 2G e 3G, porém envolvem técnicas de Engenharia Genética afim de alterar genes do metabolismo celular de microorganismos, aumentando o rendimento da produção (POGAKU, 2019).

- **Biologia Sintética:**

O setor de carnes é um dos mais nocivos ao meio ambiente, fazendo com que as companhias desenvolvessem alternativas e assim, as ditas “carnes sintéticas” foram desenvolvidas e já estão no mercado. Elas têm textura, cheiro, cor e gosto de carne animal, o que é possível em decorrência de processos biotecnológicos. Por exemplo, a empresa “Impossible Foods” desenvolveu uma carne sintética que tem componentes que dão cor ao sangue proveniente de uma levedura, a *Phichia pastoris* que foi modificada geneticamente para produzir este componente através da soja. Foi um avanço viabilizado pela engenharia metabólica que permitiu transferir uma via de fonte natural para um hospedeiro de produção, bem como métodos para identificar e modificar enzimas para realizar a modificação de toda cadeia metabólica para obtenção do composto. É um produto que em sua produção requer 96% menos terra e gera 89% menos gases de efeito estufa (VOIGT, 2020).



Universidade Federal
de São João del-Rei

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI – UFSJ

Instituída pela Lei Nº 10.425 de 19/02/2002 – D.O.U. de 22/04/2002

CURSO DE ENGENHARIA DE BIOPROCESSOS

Campus Alto Paraopeba – Rod. MG 443, km 7, Caixa Postal 131. Ouro Branco, MG. CEP 3.420-000

- **Biopolímeros:**

Os biopolímeros biodegradáveis são plásticos derivados de material renovável. Uma das formas mais comuns são os polihidroxialcanoatos (PHA) que são acumulados por diversas bactérias que contenham a enzima PHA sintase. Esses polímeros podem ser produzidos por fermentação a partir de resíduos plásticos (DU et al, 2012). Os biopolímeros são atóxicos, biodegradáveis podem substituir plásticos provenientes petróleo (DEVADAS et al, 2021). A reutilização de resíduos usando bioprocessos para produzir PHA impacta diretamente nas questões ambientais, viabilizando cada vez mais a proximidade com a economia de baixo carbono (GHYSELS et al, 2018).



Universidade Federal
de São João del-Rei

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI – UFSJ

Instituída pela Lei Nº 10.425 de 19/02/2002 – D.O.U. de 22/04/2002

CURSO DE ENGENHARIA DE BIOPROCESSOS

Campus Alto Paraopeba – Rod. MG 443, km 7, Caixa Postal 131. Ouro Branco, MG. CEP 3.420-000

V. CONCLUSÃO

Os problemas climáticos existentes na atualidade levam à preocupação global acerca da disponibilidade de recursos naturais. E por meio de acordos ambientais entre os países, busca-se mitigar esses impactos. As Contribuições Determinadas Pretendidas (NDC) brasileira tem dentre suas iniciativas a promoção de novos padrões de tecnologias limpas. A Bioeconomia é um modelo econômico internacionalmente conhecido que busca difundir iniciativas para viabilizar economicamente e auxiliar nos avanços requeridos nos acordos. Modelos econômicos sustentáveis como a Economia Circular, a Economia Verde e a Bioeconomia têm dentro de suas diretrizes a implementação de políticas que envolvem conscientização e aceitação da sociedade sobre os aspectos do modelo, parcerias de desenvolvimentos regionais de base nacional. Essas e outras estratégias são demonstradas na seção 4.v que estão em consonância com a infraestrutura técnica com inovações tecnológicas focadas nas pesquisas que levam em consideração a produção sustentável para que então possa ser realizada a adequação industrial. Essa adequação leva em consideração vários fatores importantes como tempo de implementação e retorno financeiro. É por meio de cálculos e estratégias de engenharia relacionadas às manipulações e modelagens voltadas para a biocatálise, que o Engenheiro de Bioprocessos demonstra competência e importância para viabilizar essa nova forma econômica sustentável.



Universidade Federal
de São João del-Rei

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI – UFSJ

Instituída pela Lei Nº 10.425 de 19/02/2002 – D.O.U. de 22/04/2002

CURSO DE ENGENHARIA DE BIOPROCESSOS

Campus Alto Paraopeba – Rod. MG 443, km 7, Caixa Postal 131. Ouro Branco, MG. CEP 3.420-000

VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Bioinovação, **Identificação das Oportunidades e o Potencial do Impacto da Bioeconomia para a Descarbonização do Brasil**, 2022.

BARBA, R.; SANTOS, N. **A BIOECONOMIA NO SÉCULO XXI: REFLEXÕES SOBRE BIOTECNOLOGIA E SUSTENTABILIDADE NO BRASIL**. Revista de Direito e Sustentabilidade, vol. 6, n.2, p.26-42, Jul/Dez. 2020.

BARBIER, E. **The green economy Post Rio+20**. Science 338, p.887–888, 2012.

BAPTISTA, V. **A relação entre o consumo e a escassez dos recursos naturais: Uma abordagem histórica**, Revista Saúde e Ambiente, vol.5, n. 1, p.8-14, 2010.

BARROS, A. **MEIO AMBIENTE – O ACORDO DE PARIS**, Centro Universitário Uninter, Projeto de Graduação, p.5-6, 2017.

BAILEY, J. E.; OLLIS, D F. **Biochemical engineering fundamentals**. New York: McGraw-Hill Book Company, 1986.

BONAIUTI, M. **From Bioeconomics to Degrowth: Georgescu-Roegen’s ‘New Economics’ in Eight Essays**, London, New York: Routledge, 2011.

Blanch, H., Clark, D.: **Biochemical engineering**. Dekker, New York, 1996.

BROMAN, G.I., Robèrt, K.H., **A framework for strategic sustainable development**, J.Clean. Prod. 140, p.17–31, 2017.

CONSERVE ENERGY FUTURE. **Top 25 Environmental Concerns**, 2020. Disponível em: <https://www.conserve-energy-future.com/top-25-environmental-concerns.php> . Acesso em dez 2022.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA, CNI. **Indústria 2027**, Disponível em: <<https://www.portaldaindustria.com.br/cni/canais/industria-2027/>> Acesso em 18/12/2022.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA, CNI. **Por que a Bioeconomia tem tudo para ser o futuro do desenvolvimento do Brasil**. Disponível em: <<https://noticias.portaldaindustria.com.br/especiais/por-que-a-Bioeconomia-tem-tudo-para-ser-ofuturo-do-desenvolvimento-do-brasil/>>. Acesso em 13 set. 2021.

Chatzis, S.P., Siakoulis, V., Petropoulos, A., Stavroulakis, E., Vlachogiannakis, N., 2018. **Forecasting stock market crisis events using deep and statistical machine learning techniques**. Expert Syst. Appl. 112, p.353–371, 2018.



Universidade Federal
de São João del-Rei

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI – UFSJ

Instituída pela Lei Nº 10.425 de 19/02/2002 – D.O.U. de 22/04/2002

CURSO DE ENGENHARIA DE BIOPROCESSOS

Campus Alto Paraopeba – Rod. MG 443, km 7, Caixa Postal 131. Ouro Branco, MG. CEP 3.420-000

CREMASCO.M; **Vale a pena estudar Engenharia Química**, Editora Bluncher, 2ª edição, p. 93, 2010.

D’Amato, D.; Korhonen, J. **Integrating the green economy, circular economy and bioeconomy in a strategic sustainability framework**, 2021.

DALCIN. G, et al. **QUÍMICA AMBIENTAL E O IMPACTO AMBIENTAL RELACIONADO AOS GASES DE EFEITO ESTUFA**, Caderno Intersaberes, Curitiba, v. 10, n. 27, p. 117-134, 2021.

DALHAMMAR, C. et al. **Circular Economy – Sustainable Materials Management**, The International Institute for Industrial Environmental Economics (IIIEE) at Lund University., p.29-29, 74-76. 2020.

Devadas, VV.; Khoo, KS.; Chia, WY.; Chew, KW.; Munawaroh, HSH.; Lam, M-K.; Lim, J-W.; Ho, Y-C.; Lee, KT.; Show PL. **Algae biopolymer towards sustainable circular economy**. Bioresour Technol, p. 325, 2021.

DIAS, R. **Bioeconomia no Brasil e no Mundo: Panorama Atual e Perspectivas**. Revista Virtual de Química, v.9, n. 1, p.418, 2017.

DIÁZ, M.; HERRERO, M. QUIRÓS, C. cap2.71 - **Flow Cytometry: A High-Throughput Technique for Microbial Bioprocess Characterization**, Comprehensive Biotechnology - 2 ed, vol 2, University of Oviedo, Spain, p.968, 2011.

DU, C.; Sabirova J.; Soetaert, W.; Ki. C. ; Lin, S. **Polyhydroxyalkanoates production from low-cost sustainable raw materials**. Curr Chem Biol, vol. 6, n. 1, p.14–25, 2012.

European Commission, **Directorate-General for Research and Innovation, Bioeconomy : the European way to use our natural resources - action plan 2018**, Publications Office, 2019. <https://data.europa.eu/doi/10.2777/79401>

Federal Ministry Of Education And Research, **National Research Strategy Bioeconomy 2030**, our Route towards a biobased economy, Alemanha, 2011.

FARIA, E. ; PIRES, A. **ECONOMIA CIRCULAR E BIOECONOMIA: UM NOVO CAMINHO PARA A SUSTENTABILIDADE?** , SINERGIA REVISTA DO INSTITUTO DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS, ADMINISTRATIVAS E CONTÁBEIS (ICEAC), 2020.

GHYSELS, S.; Mozumder, MSI. ; De Wever, H.; Volcke, EIP.; Garcia-Gonzalez, L. **Targeted poly(3-hydroxybutyrate-co-3- ydroxyvalerate) bioplastic production from carbon dioxide**. Bioresour Technol, 249:858–68, 2018.



Universidade Federal
de São João del-Rei

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI – UFSJ

Instituída pela Lei Nº 10.425 de 19/02/2002 – D.O.U. de 22/04/2002

CURSO DE ENGENHARIA DE BIOPROCESSOS

Campus Alto Paraopeba – Rod. MG 443, km 7, Caixa Postal 131. Ouro Branco, MG. CEP 3.420-000

GHISELLINI, P.; CIALANI, C. ; ULGIATI, S. **A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems**, *Journal of Cleaner Production*, 2016.

GUIA DA CARREIRA, Saiba tudo sobre o curso de Engenharia de Bioprocessos, 2022. Disponível em: <https://www.guiadacarreira.com.br/blog/engenharia-de-bioprocessos> . Acesso em dez/2022.

Harrison, R., Todd, P., Rudge, S., Petrides, D. : **Bioseparations science and engineering**. Oxford University. Press, New York, 2003.

HEINZLE, A., Hungerbühler, K. **Integrated process development: The key to future production of chemicals**. *Chimia*, **51**, p.176–183, 1997.

HEINZLE, E. ; BIWER, A.; COONEY, C. **Development of sustainable bioprocesses: Modeling and Assessment**, John Wiley & Sons, Ltd, p.283, 2006.

HISAMOTO, B. **A ambição climática sob o Acordo de Paris: As contribuições nacionalmente determinadas (NDCs) e a governança híbrida**, Programa de pós-graduação em relações internacionais, USP, São Paulo, p. 143, 2022.

HOORNWEG, D.; BHADA-TATA, P.; KENNEDY, C. **Environment: Waste production must peak this century**, *Nature*, 502(7473), p. 615-617, 2013.

IL Bieconomista, an exclusive interview with Florent Allais, President of CEBB. “**The transition to bio-based products requires the implementation of more coherent regulations**”, dez, 2022. Disponível em: <https://ilbieconomista.com/2022/12/05/an-exclusive-interview-with-florent-allais-president-of-cebb-the-transition-to-bio-based-products-requires-the-implementation-of-more-coherent-regulations/#more-7356>> Acesso em 09/12/2022.

KOPNINA, H.; BLEWITT, J, **Sustainable business: key issues**. Routledge, Oxon, 2015.

KORHONEN, J.; NUUR, C.; FELDMANN, A.; BIRKIE, S.E. **Circular economy as an essentially contested concept**, *Journal of Cleaner Production*, p. 175, 2018.

LADISCH, M.R. **Bioseparations Engineering: Principles, Practice, and Economics**. New York: John Wiley and Sons, 2001.

LATOUCHE. S – **Foreword to Mauro Bonaiuti The Great Transition**, London, New York: Routledge, 2014.



Universidade Federal
de São João del-Rei

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI – UFSJ

Instituída pela Lei Nº 10.425 de 19/02/2002 – D.O.U. de 22/04/2002

CURSO DE ENGENHARIA DE BIOPROCESSOS

Campus Alto Paraopeba – Rod. MG 443, km 7, Caixa Postal 131. Ouro Branco, MG. CEP 3.420-000

LEWANDOWSKI, I. et al. **Bioeconomy: Shaping the Transition to a Sustainable, Biobased Economy**, Springer Nature, 1ed, Stuttgart - Germany, p.356, 2018.

LEACH, M.; Meyers, B.; Bai, X. et al, **Equity and Sustainability in the Anthropocene: a social–ecological systems perspective on their intertwined futures**. Glob. Sustain, 2018.

LOISEAU, E.; Saikku, L.; Antikainen, R.; Droste, N.; Hansjürgens, B.; Pitkänen, K.; Leskinen, P.; Kuikman, P.; Thomsen, M. **Greeneconomy and related concepts: An overview**. Journal of Cleaner Production, vol.139, p.361–371, 2016.

Maciejczak, M.; Hofreiter, K. **HOW TO DEFINE BIOECONOMY?**, Warsaw University of Life Sciences – SGGW, Poland, Technische Universitaet Muenchen, Germany.

MARTINEZ-LOPEZ, **The Role of Bioprocess Engineering in Biotechnology, The Bridge-Linking Engineering and Society**, National Academy of Engineering of the Nacional Academies, vol. 34, n.3 p26-27, 2004.

MATEESCU, I. et al. **Bioinformatics Department, National Institute of Research and Development for Biological Sciences**, Studia Universitatis, Vietnã, Vol. 21, n2, p.451-456, 2011.

MENDONÇA, F. **Aquecimento global e suas manifestações regionais e locais: alguns Indicadores da região sul**, Revista Brasileira de Climatologia, Curitiba, vol. 2, p. 71-86, dez. 2006. Disponível em: <<http://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/25388/17013>>. Acesso em: 12 dez. 2021.

MILANEZ, A.; MANCUSO, R. et al, **O ACORDO DE PARIS E A TRANSIÇÃO PARA O SETOR DE TRANSPORTES DE BAIXO CARBONO: O PAPEL DA PLATAFORMA PARA O BIOFUTURO**, Biocombutíveis BNDES Setorial, Vol. 45, p.285-340, 2017.

MORAES, D.; JORDÃO B. **Degradação de recursos hídricos e seus efeitos sobre a saúde humana**, Revista Saúde Pública, Londrina - PR, vol.36, n3, p. 370-374, 2002.

MOTA, D.; STEFANELO.F.; **Incentivos fiscais para empresas e os critérios ESG**, 2022.
<<https://www.conjur.com.br/2022-ago-09/motae-stefanelo-incentivos-fiscais-criterios-esg>> Acesso em: 14/12/22.

NIGAM, P. S., & Singh, A. **Production of liquid biofuels from renewable resources**, Progress in Energy and Combustion Science, vol. 37, p.52–68, 2011.



Universidade Federal
de São João del-Rei

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI – UFSJ

Instituída pela Lei Nº 10.425 de 19/02/2002 – D.O.U. de 22/04/2002

CURSO DE ENGENHARIA DE BIOPROCESSOS

Campus Alto Paraopeba – Rod. MG 443, km 7, Caixa Postal 131. Ouro Branco, MG. CEP 3.420-000

NRC. **Designing an Agricultural Genome Project**. Washington, D.C.: National Academy Press, 1998.

OCDE – Organisation for Economic Co-operation and Development. **THE BIOECONOMY TO 2030: DESIGNING A POLICY AGENDA**, p.326, 2009.

OCDE - Organisation for Economic Co-operation and Development. **BIO-ECONOMY AND THE SUSTAINABILITY OF THE AGRICULTURE AND FOOD SYSTEM: OPPORTUNITIES AND POLICY CHALLENGES, TRADE AND AGRICULTURE DIRECTORATE ENVIRONMENT DIRECTORATE**, p.98, 2019.

POGAKY, R. **Horizons In Bioprocess Engineering**, Springer, p.1-353, 2019.

PORTER, M. **New Global Strategies for Competitive Advantage. Strategy & Leadership**, Vol.18, n3, p. 4 – 14. 1990.

PRADELLA, J.; ROSSEL, V.; BONOMI, A. et al. **Estudo preliminar do Custo de produção in house de Celulases na Biorrefinaria de Etanol de Segunda Geração**, Simpósio Nacional de Bioprocessos, UFRN, Natal – RN, p.1-6, 2009.

PYKA, A., G. Cardellini b, H. van Meijl c,d, P.J. Verkerk e , **Modelling the bioeconomy: Emerging approaches to address policy needs**, Journal of Cleaner Production, 330, 2022.

REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL, **Pretendida Contribuição Nacionalmente Determinada** – Convenção-Quadro das Nações Unidas Sobre Mudança do Clima, p. 10, 2020.

Reports And Data - **Industrial Biotechnology Market Size, Share, Trends, By Type (Biofuel, Biochemical, Biomaterial, Bioproduct), By Raw Materials (Grains and Starch Crops, Agricultural Residues, Food Waste), By Application (Food and Feed, Pharmaceuticals, Pulp and Paper, Textile, Bio Energy, Others) and By Region Forecast to 2030**. Disponível em: <<https://www.reportsanddata.com/report-detail/industrial-biotechnology-market>> Acesso em dez/2022.

ROCKSTRÖM, J., et al. **Planetary boundaries: exploring the safe operating space for humanity**, Ecology and Society, vol.14, n2, p. 33, 2009. Disponível em: <http://www.ecologyandsociety.org/vol14/iss2/art32/>. Acesso em dez 2022.

ROEGEN, G. **The Entropy Law and the Economic Process**, Cambridge, MA: Harvard University Press, 1971.



Universidade Federal
de São João del-Rei

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI – UFSJ

Instituída pela Lei Nº 10.425 de 19/02/2002 – D.O.U. de 22/04/2002

CURSO DE ENGENHARIA DE BIOPROCESSOS

Campus Alto Paraopeba – Rod. MG 443, km 7, Caixa Postal 131. Ouro Branco, MG. CEP 3.420-000

SILVA, M.; PEREIRA, F.; MARTINS, J. **A Bioeconomia brasileira em números**, 2018. Disponível em: <<https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/15383>> Acesso em Dez 2022.

SHULER, M.; KARGI, F. **Bioprocess Engineering – Basic Concepts** 2ed. p.2-506, 2002.

The White House – President Barack Obama, **Building a 21st Century Bioeconomy**. 2011. Disponível em: <<https://obamawhitehouse.archives.gov/blog/2011/10/12/building-bioeconomy>> Acesso em 12/12/22.

The White House, **National Bioeconomy Blueprint**, p.48, Washington USA, 2012.

UNEP. **Towards a Green Economy: Pathways to Sustainable Development and Poverty Eradication**, Nairobi. Available online: <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/126GER_synthesis_en.pdf> Acesso em dez/2022.

UFSJ, **Projeto Pedagógico de Curso – Engenharia de Bioprocessos**, p. 216, 2022.

UFSJ, **Mapa Conceitual – Engenharia de Bioprocessos**, 2010.

VOIGT, C. **Synthetic biology 2020–2030: six commercially-available products that are changing our world**, Nature Communications, 2020.