

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
CENTRO DE ESTUDOS E PESQUISAS EM AGRONEGÓCIOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONEGÓCIOS**

ANA JÚLIA MOREIRA REBOLHO

**DIMENSÕES PARA A PRODUÇÃO DE ALIMENTOS DERIVADOS DA BIOLOGIA
SINTÉTICA E O PAPEL DA CONVERGÊNCIA TECNOLÓGICA**

PORTO ALEGRE

2023

ANA JÚLIA MOREIRA REBOLHO

**DIMENSÕES PARA A PRODUÇÃO DE ALIMENTOS DERIVADOS DA BIOLOGIA
SINTÉTICA E O PAPEL DA CONVERGÊNCIA TECNOLÓGICA**

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronegócios da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para obtenção do título de Doutora em Agronegócios.

Orientadora: Profa. Dra. Kelly Lissandra Bruch

PORTO ALEGRE

2023

CIP - Catalogação na Publicação

Moreira Rebolho, Ana Júlia
DIMENSÕES PARA A PRODUÇÃO DE ALIMENTOS DERIVADOS DA
BIOLOGIA SINTÉTICA E O PAPEL DA CONVERGÊNCIA
TECNOLÓGICA / Ana Júlia Moreira Rebolho. -- 2023.
140 f.
Orientador: Kelly Lisandra Bruch.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio
Grande do Sul, Centro de Estudos e Pesquisas em
Agronegócios, Programa de Pós-Graduação em
Agronegócios, Porto Alegre, BR-RS, 2023.

1. Alimentos derivados da Biologia Sintética. 2.
Ecossistema de Empeendedorismo. 3. Convergência
Tecnológica . 4. Agricultura Celular. 5. Cultura de
Células. I. Lisandra Bruch, Kelly, orient. II.
Título.

ANA JÚLIA MOREIRA REBOLHO

**DIMENSÕES PARA A PRODUÇÃO DE ALIMENTOS DERIVADOS DA BIOLOGIA
SINTÉTICA E O PAPEL DA CONVERGÊNCIA TECNOLÓGICA**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronegócios do Centro de Estudos e Pesquisas em Agronegócios da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito para a obtenção do título de Doutora em Agronegócios.

Aprovada: 02/08/2023.

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Dr.^a Giandra Volpato
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul – IFRS

Prof. Dr. Claudio Vinicius Silva Farias
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul – IFRS
Programa de Pós-Graduação em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para
Inovação

Prof.^a Dr.^a Daniela Francisco Brauner – UFRGS
Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS
Programa de Pós-Graduação em Administração

Prof. Dr. Dr. Heinrich Hasenack – UFRGS
Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS
Programa de Pós-Graduação em Agronegócios

Prof.^a Dra. Kelly Lissandra Bruch (Orientadora)
Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS
Programa de Pós-Graduação em Agronegócios
Presidente da Banca

Aos meus pais, Ana Lúcia e Clóvis

Pelo amor, carinho e apoio na realização dos meus sonhos

“Eu gostaria de lhe agradecer pelas inúmeras vezes que ele me enxergou melhor do que eu sou. Pela sua capacidade de me olhar devagar, já que nessa vida muita gente me olhou depressa demais.”

Padre Fábio de Mello

AGRADECIMENTOS

Nos últimos quase seis anos, isso mesmo, seis anos, muita coisa aconteceu. Enquanto me desenvolvia academicamente, tive muitas experiências que também me proporcionaram um imenso crescimento profissional e pessoal. Nesses últimos anos, li, escrevi, lecionei, participei de congressos. Eu me mudei de cidade duas vezes, virei mãe da Bela, fiz novas e importantes amizades. Enfim, foram muitos aprendizados.

Nem sempre tudo foi fácil, mas somente foi possível porque a minha rede de apoio é sensacional. Tenho muita gratidão por todas as pessoas, oportunidades e benefícios que tenho. Sou grato pela minha família unida e dedicada. Agradeço o apoio incondicional nas minhas decisões e a compreensão nas minhas ausências. Sou grata à UFRGS e aos professores por todos os ensinamentos que recebi ao longo do doutorado.

Agradeço a todos os meus familiares, colegas, amigos e professores que me ajudaram a chegar até aqui e me deram forças para concluir esta etapa importante, principalmente minha filha Bela, meu esposo Diego, minha mãe Ana Lúcia, meu Pai Clóvis, meus irmãos, Guilherme e Juliana e a minha orientadora Kelly. Por fim, agradeço a todos aqueles que de alguma forma colaboraram com esse processo de doutoramento

Agradeço o apoio financeiro concedido pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

“Nós devemos escapar do absurdo do cultivo de frangos para comer seu coração ou sua asa, cultivando essas partes separadamente sob um meio adequado”

Winston Churchill (1931)

RESUMO

O crescimento da população mundial, as mudanças climáticas, a complexidade do abastecimento das cadeias alimentares são alguns dos principais fatores que afetam a produção de alimentos e a segurança alimentar. Para ser exequível alimentar a população mundial, projetada para 9 bilhões de pessoas em 2050, outras formas de produção de alimentos devem ser consideradas. É essencial, portanto, investigar métodos alternativos para complementar as fontes alimentares atuais. A Biologia Sintética (BS), sob a ótica da produção de alimentos, é uma tecnologia que pode proporcionar soluções eficazes para esta nova era em que a demanda por produção de alimentos aumentará em pelo menos 70%. A produção de Alimentos Derivados da Biologia Sintética (ADBS) é dotada de ambivalência e tem estimulado debates morais e éticos em diferentes áreas de conhecimento. Nesta perspectiva a indústria dos ADBS possui diferentes perspectivas, reconhecendo que este processo envolve um sistema dinâmico, com múltiplos agentes, elementos sociais, técnicos, tecnológicos e culturais. Diante desse cenário, a pesquisa realizada teve como objetivo central compreender quais são as dimensões para a produção de alimentos derivados da biologia sintética e o papel da convergência tecnológica. Para tal, foram elaborados três artigos e como *locus* as *startups de ADBS* a nível global, totalizando uma amostra de 68. Para a consecução, foram realizadas pesquisas descritivas e exploratórias de natureza quantitativa e qualitativa. No primeiro e segundo artigo, os dados foram coletados em três etapas. Na primeira, empregou-se a técnica *Snowball* (bola de neve), na segunda e terceira etapas, foram utilizados dados abertos. Estes dados foram analisados com o auxílio do software *Qlik Sense*. Após, no terceiro artigo utilizou-se da lógica multidisciplinar, indutiva e teórica, capaz de congrega significados desempenhados por um conjunto de atores em torno de diferentes dimensões. Foi desenvolvido e proposto um modelo com as dimensões para a produção de ADBS e quatro fases. Além disso, foi argumentado que cada fase exige diferentes estratégias de coordenação. Os dados demonstram que a maioria das *startups* de ADBS estão sediadas na América do Norte, na Ásia e na Europa. O país que sedia predominantemente as *startups* deste ecossistema são os Estados Unidos e o alimento mais produzido são as carnes bio sintéticas. As principais tecnologias, que foram identificadas por meio do mapeamento de ambiente, como convergentes no desenvolvimento dos ADBS, incluem: aprendizado de máquina, inteligência artificial, engenharias aplicadas à biologia e bioinformática. Por fim, os resultados demonstram três dimensões que se constituem de forma interacionais, sendo elas, Cultura, Aspectos Sociotécnicos do Mercado e Estratégia. Além disso, os processos são multidimensionais e variam de acordo com a maturidade das dimensões. Nesta perspectiva, classificamos estas dimensões em quatro fases: início, lançamento, crescimento e maturidade. Inicialmente, as redes são mais simples e, por conseguinte, as estratégias menos complexas. No entanto, à medida que as dimensões evoluem, a complexidade das redes aumenta e estratégias mais complexas são necessárias. Por fim, sugere-se que o amadurecimento da tecnologia e das dimensões que englobam o ecossistema de *startups* de ADBS será lento e complexo. Este novo setor agroalimentar enfrentará desafios em torno da, indústria, falta de naturalidade, financiamento e propriedade intelectual. No entanto, quanto mais técnica e economicamente viável for o desenvolvimento de ADBS, mais robustas serão as discussões e debates, incluindo moralidade e aspectos éticos.

Palavras-chaves: Cultura de Células; Alimentos Acelulares; Agricultura Celular; Ecossistemas de Empreendedorismo; Convergência Tecnológica.

ABSTRACT

The growth of the world population, climate change, the complexity of supplying food chains and the COVID-19 pandemic are some of the main factors that have caused food production and food security. To be feasible to feed the world population, projected for 9 billion people in 2050, other forms of food production must be considered. It is essential, therefore, to investigate alternative methods to complement current food sources. Synthetic Biology (BS), from the perspective of food production, is a technology that can provide effective solutions for this new era in which the demand for food production will increase by at least 70%. The production of Food Derived from Synthetic Biology (ADBS) is endowed with ambivalence and has stimulated moral and ethical debates in different areas of knowledge. In this perspective, the ADBS industry has different perspectives, recognizing that this process involves a dynamic system, with multiple agents, social, technical, technological and cultural elements. Given this scenario, the main objective of the research carried out was to understand what are the dimensions for the production of foods derived from synthetic biology and the role of technological convergence. To this end, three articles were prepared and as locus the ADBS startups globally, totaling a sample of 68. To achieve this, descriptive and exploratory research of a quantitative and qualitative nature were carried out. In the first and second articles, data were collected in three stages. In the first, the Snowball technique was used, in the second and third stages, open data were used. These data were analyzed using the Qlik Sense software. Afterwards, in the third article, multidisciplinary, inductive and theoretical logic was used, capable of gathering meanings executed by a set of actors around different dimensions. A model with the dimensions for the production of ADBS and four phases was developed and proposed. Furthermore, it was argued that each phase requires different coordination strategies. Data shows that most ADBS startups are based in North America, Asia and Europe. The country that predominantly hosts the startups of this ecosystem is the United States and the most produced food is biosynthetic meat. The main technologies, which were identified through environment mapping, as convergent in the development of ADBS, include: machine learning, artificial intelligence, engineering applied to biology and bioinformatics. Finally, the results showed three dimensions that are constituted in an interactional way, namely, Culture, Sociotechnical Aspects of the Market and Strategy. Furthermore, the processes are multidimensional and vary according to the maturity of the dimensions. In this perspective, we classify these dimensions in four phases: beginning, launch, growth and maturity. Initially, the networks are simpler and, therefore, the strategies less complex. However, as dimensions evolve, the complexity of networks increases and more complex strategies are required. Finally, it is suggested that the maturation of the technology and the dimensions that comprise the ADBS startup ecosystem will be slow and complex. This new agri-food sector will face challenges around the industry, unnaturalness, financing and intellectual property. However, the more technically and economically feasible for the development of ADBS, the more robust the discussions and debates will be, including morality and ethical aspects.

Keywords: Cell Culture; Acellular Foods; Cellular Agriculture; Entrepreneurship Ecosystems; Technological Convergence.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO II - ABORDAGEM TEÓRICA

Figura 1. Uma linha do tempo de eventos significativos da ciência da Biologia Sintética.....	26
Figura 2. Dinâmica epistemológica da Biologia Sintética	27
Figura 3. O que é a biologia sintética?.....	30
Figura 4. Áreas de conhecimento para a construção da ciência da Biologia Sintética.....	31
Figura 5. Uma linha do tempo de eventos significativos para que seja possível à comercialização da de alimentos derivados da Biologia Sintética.....	34
Figura 6. Biologia sintética e os seus potenciais benefícios ambientais na produção de alimentos.....	37
Figura 7. Possibilidades de aplicações da biologia sintética e seus potenciais benefícios na produção de alimentos.....	38
Figura 8. Processo de produção de carnes baseadas em células.....	40
Figura 9. Processo de desenvolvimento de um produto acelular.....	42
Figura 10. Processo de desenvolvimento de produtos acelulares com a bioinformática.....	43

CAPÍTULO III - ARTIGO I: The Science puts the Table: Emergence of an Entrepreneurship Ecosystem of Food Derived from Synthetic Biology

Figura 1. Timeline of significant events for the commercialization of foods derived from Synthetic Biology.....	52
Figura 2. Number of Accelerators, Venture Capital and Startups by Foundation Year from 2002 to 2022.....	60
Figura 3. Map of concentration of ADBS startups by country and by city.....	61
Figura 4. Country map of accelerators, incubators, and venture capital firms related to startup count.....	63
Figura 5. Type of food produced by startup and the Value contributed in each type of food.....	64

Figura 6. Relationship of GDP per capita with University per capita and Human Development Index (HDI) by country.....	67
--	-----------

CAPÍTULO IV - ARTIGO II: Convergência tecnológica na indústria de alimentos biossintéticos: uma análise baseada no mapeamento do ambiente

Figura 1. Dispersão e concentração geográfica das <i>startups</i> de ADBS entre os anos de 2013 a 2022.....	86
--	-----------

Figura 2. Os tipos de alimentos derivados da biologia sintética desenvolvidos por startups localizadas globalmente.....	87
--	-----------

Figura 3. Processos utilizados para a produção dos alimentos derivados da biologia sintética das <i>startups</i> de ADBS mapeadas neste estudo.....	88
--	-----------

Figura 4. Tecnologias além da Biologia Sintética relacionadas à produção de ADBS das <i>startups</i> mapeadas neste estudo.....	89
--	-----------

Figura 5. Patentes relacionadas a produção de ADBS a nível global das <i>startups</i> mapeadas neste estudo no período 2013 a 2022.....	91
--	-----------

Figura 6. Concentração Geográfica do país das <i>startups</i> que possuem patentes.....	92
--	-----------

CAPÍTULO V - ARTIGO III: Dimensões para a produção de Alimentos Derivados da Biologia Sintética

Figura 1. Biologia sintética e os seus potenciais benefícios ambientais na produção de alimentos.....	107
--	------------

Figura 2. Dimensões propostas para a produção de ADBS.....	110
---	------------

Figura 3. Estratégias de coordenação para as dimensões propostas para o desenvolvimento dos ADBS.....	112
--	------------

LISTA DE QUADROS

CAPÍTULO II - ABORDAGEM TEÓRICA

Quadro 1. Descrição das abordagens que englobam a Dinâmica epistemológica da Biologia Sintética28

Quadro 2 - Categorias dos ADBS.....36

CAPÍTULO IV - ARTIGO II: Convergência tecnológica na indústria de alimentos biossintéticos: uma análise baseada no mapeamento do ambiente

Quadro 1. Síntese das opções metodológicas adotada em cada uma das três etapas da coleta de dados, incluindo informações como: técnica objeto, onde os dados foram coletados, período e o tipo de coleta de dados84

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO II - ABORDAGEM TEÓRICA

Tabela 1. Objetivo geral e objetivos relacionados a cada um dos artigos que compõem esta tese.....	23
---	-----------

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADBS	Alimentos derivados da biologia sintética
AST	Aspectos sociotécnicos (AST)
BI	<i>Business Intelligence</i>
BS	Biologia Sintética
CO₂eq	Equivalência em dióxido de carbono
CT	Convergência Tecnológica
DNA	Ácido Desoxirribonucleico
EE	Ecosistema de Empreendedorismo
FAO	<i>Food and Agriculture Organization of the United Nations</i>
FDA	<i>O Food and Drug Administration</i>
FMI	Fundo Monetário Internacional
GHG	<i>GreenHouse Gases</i>
PIB	Produto Interno Bruto

SUMÁRIO

1. CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO GERAL	15
1.2 OBJETIVOS	18
1.2.1 Objetivo Geral	18
1.2.2 Objetivos Específicos	18
1.3 JUSTIFICATIVA	19
1.4 ESTRUTURA DA TESE	21
1.5 ALINHAMENTO DOS ARTIGOS	22
2. CAPÍTULO II - ABORDAGEM TEÓRICA	23
2.1 BIOLOGIA SINTÉTICA.....	24
2.2 BIOLOGIA SINTÉTICA E ALIMENTOS.....	32
2.2.1 Carnes baseadas em células (alimentos celulares)	39
2.2.2 Alimentos acelulares	41
2.3 CONSUMIDOR E ALIMENTOS DERIVADOS DA BIOLOGIA SINTÉTICA.....	44
2.4 LEGISLAÇÕES RELACIONADAS A ALIMENTOS DERIVADOS DA BIOLOGIA SINTÉTICA.....	45
3. CAPÍTULO III - ARTIGO I: The Science puts the Table: Emergence of an Entrepreneurship Ecosystem of Food Derived from Synthetic Biology	48
ABSTRACT	49
1. INTRODUCTION	50
2. LITERATURE REVIEW	52
2.1 SYNTHETIC BIOLOGY AND FOOD PRODUCTION.....	52
2.2 EMERGENCE OF ENTREPRENEURSHIP ECOSYSTEMS.....	55
3. METHOD	56
4. DATA ANALYSIS	58
4.1 PERIOD OF EMERGENCE OF STARTUPS, INCUBATORS, ACCELERATORS AND VENTURE CAPITAL COMPANIES.....	59
4.2 LOCATION OF ADBS STARTUPS.....	61
4.3 FOOD PRODUCED BY ADBS STARTUPS AND CONTRIBUTED VALUES.....	64
4.4 INFLUENCE OF ECONOMIC CONDITIONS ON THE EMERGENCE OF ADBS STARTUPS.....	66
5. CONCLUSION	68
REFERENCES	70

4. CAPÍTULO IV - ARTIGO II: Convergência tecnológica na indústria de alimentos biossintéticos: uma análise baseada no mapeamento do ambiente.....	76
RESUMO.....	77
1. INTRODUÇÃO.....	78
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	80
2.1 BIOLOGIA SINTÉTICA E A PRODUÇÃO DE ALIMENTOS.....	79
2.2 CONVERGÊNCIA TECNOLÓGICA.....	82
3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	83
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	85
4.1 MAPEAMENTO DO AMBIENTE DAS <i>STARTUPS</i> EM ADBS.....	85
4.2 MAPEAMENTO DO AMBIENTE TECNOLÓGICO DAS <i>STARTUPS</i> ADBS.....	89
5. CONCLUSÃO.....	93
REFERÊNCIAS.....	96
5. CAPÍTULO V - ARTIGO III: Dimensões para a produção de Alimentos Derivados da Biologia Sintética.....	102
RESUMO.....	103
1. INTRODUÇÃO.....	104
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	106
2.1 BIOLOGIA SINTÉTICA E A PRODUÇÃO DE ALIMENTOS.....	106
3. DIMENSÕES E OS CAMINHOS MAIS RELEVANTES DA TECNOLOGIA ADBS.....	110
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	114
REFERÊNCIAS.....	116
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	120
REFERÊNCIAS.....	124

1. INTRODUÇÃO

Na última década o mercado de alimentos caracteriza-se por uma fase turbulenta, e os conflitos encontram-se em ascensão, relacionados principalmente à produção de alimentos e à segurança alimentar. Tendências emergentes e problemas no mundo moderno, como, pandemias, mudanças climáticas, superpopulação, urbanização, poluição ambiental, criação intensiva de animais, complexidade no abastecimento das cadeias alimentares, aumento dos custos de alimentos (ADAY e ADAY, 2020; KATZ *et al.*, 2018; POORE e NEMECEK, 2018; HOFFMAN, 2016; STEINFELD *et al.*, 2006; THORNTON, 2010).

Para que haja segurança alimentar, para uma população cada vez mais crescente, é preciso modernizar a cadeia produtiva e estabelecer novas alternativas para a produção de alimentos (BRYAN *et al.* 2019). A demanda mundial por alimentos em paralelo com as preocupações ambientais é um paradigma para a competitividade das indústrias agroalimentares (FAUSTMAN *et al.*, 2020).

Existe um crescimento contínuo da população mundial que implica e implicará cada vez mais em uma demanda global maior por alimentos (WILLETT *et al.*, 2019; FAO, 2018). Os atuais métodos de produção, incluindo o sistema convencional de produção de grãos e produção de animais exigem uma grande quantidade de energia, água e terra (CHRIKI e HOCQUETTE, 2020).

O setor é o que mais gera gases do efeito estufa entre as cadeias produtivas de alimentos, além de responder por 14,5% de todas as emissões antropogênicas. Atualmente, 75% da área arável do planeta é utilizada para a criação de bovinos (CHANDINI *et al.*, 2019; POORE e NEMECEK, 2018; FAO, 2018).

Parte para pastagem e parte para cultivo de grãos para a alimentação dos animais (CHANDINI *et al.*, 2019; POORE e NEMECEK, 2018; FAO, 2018). Os métodos agrícolas atuais são intensivos em recursos e nosso atual processo de abastecimento de alimentos gera quase 14 bilhões de toneladas de dióxido de carbono (CO₂ eq) ou 26% das emissões antropogênicas (CHANDINI *et al.*, 2019; POORE e NEMECEK, 2018).

Outros fatores também contribuíram pela demanda de alimentos de fontes alternativas, como a preocupação com o bem-estar animal e a crescente conscientização sobre dietas saudáveis em sociedades ricas, levando o consumidor a evitar certos tipos de alimentos. Outro problema é que a maior parte do crescimento populacional previsto ocorrerá em partes do

mundo onde a segurança alimentar já está comprometida, levando a um número ainda maior de pessoas subalimentadas. (CHRIKI e HOCQUETTE, 2020).

Além disso, por duas décadas, a demanda global por alimentos aumentou de forma constante, juntamente com o crescimento mundial da população (FAO, 2018). E nas próximas décadas, iremos enfrentar o desafio de alimentar bilhões de pessoas subnutridas, a contar de hoje. Para ser exequível alimentar a população projetada para 9 bilhões de pessoas em 2050, outras tecnologias e formas para aumento de produção de alimentos devem ser consideradas (WILLETT *et al.*, 2019; FAO, 2018; BONNY *et al.*, 2017).

As novas tecnologias podem possibilitar novas formas de produção de alimentos e mais chances de sobrevivência e adaptação às transformações desta “nova indústria”. Sobreviver às constantes transformações não constitui uma tarefa fácil, é necessário um efetivo desempenho para acompanhar esse acelerado ritmo (ALVARES *et al.*, 2012).

Com as novas tecnologias, emergem os novos contextos de mudança, e a compreensão da mudança tecnológica também evolui. Esta evolução é impulsionada por concepções alternativas sobre elementos essenciais do processo de inovação, o papel percebido do nível de mercado e do governo, e o foco para a mudança social através da reconhecida importância da sociedade, incluindo a aceitação e a democratização de novas tecnologias (SMITS *et al.*, 1995).

Nesta revolução tecnológica, uma das principais tecnologias que irão acelerar as transformações globais (AMIN *et al.*, 2011) é a da Biologia Sintética (BS). A Biologia Sintética é uma das áreas do conhecimento relacionadas à Biologia e em potencial ascensão, podendo contribuir para a resolução de problemas globais emergentes (BIOLOGIA MOLECULAR SYSTEMS, 2007) e de grande complexidade (PUNGÊNCIA, LEE e SEUL, 2017).

Além disso, leva a concepção de sistemas vivos complexos e fornece uma trajetória para um desenvolvimento futuro. A BS demonstra grande potencial em gerar benefícios para a humanidade (SACHSENMEIER, 2016), à medida em que pode proporcionar soluções eficazes (TYAGIE *et al.*, 2014) para um mundo mais sustentável.

Neste estudo, compreende-se BS como uma ciência que busca a construção de novas estruturas, componentes biológicos, dispositivos e sistemas que não estão presentes na natureza, ou que não seriam desenvolvidos, de forma natural (TYAGIE *et al.*, 2014). As suas principais contribuições residem no seu potencial em soluções sociais, ambientais e comerciais (LORENZO DANCHIN, 2008), incluindo a produção de alimentos.

Os alimentos derivados da Biologia Sintética (ADBS) são uma inovação emergente com um grande potencial científico e de mercado. Alguns promotores desta tecnologia sugerem que estes alimentos terão efeitos colaterais benéficos, que vão desde o bem-estar animal, até a

melhoria da saúde humana. Dentre os benefícios para a saúde humana, pode-se incluir taxas reduzidas de obesidade e doenças cardiovasculares (porque a quantidade e o tipo de gordura adicionada à carne cultivada podem ser controlados) (MATTICK, 2018).

Para desenvolver os ADBS, são aplicados os princípios da Agricultura Celular, que é uma tecnologia emergente que pode dar origem a produtos celulares e acelulares. Estes, podem ser a base do cultivo de culturas de células de origem animal ou fermentação de bactérias e leveduras que darão origem a produtos acelulares (KADIM *et. al.*, 2015; WASCHULIN e SPECHT, 2018).

Os alimentos celulares são desenvolvidos com técnicas da engenharia de tecidos e com células vivas, e originam carnes sintéticas (frango, bonino, frutos do mar, suína) (SAAVOSS, 2019). A produção de carne à base de células envolve novas tecnologias, e é produzido somente as partes dos animais que as pessoas desejam consumir (HALLMAN E HALLMAN, 2020).

No entanto, os alimentos acelulares são desenvolvidos por meio de moléculas orgânicas e técnicas de fermentação, não contém material celular (mesmo livres de células alguns destes alimentos são obtidos por organismos celulares). Por este processo podem ser produzidos leite, clara de ovo, queijo dentre outros produtos lácteos (SAAVOSS, 2019). São utilizados métodos da engenharia de proteínas e engenharia genética e o processo busca modificar as leveduras, fungos e bactérias durante a fermentação (WASCHULIN e SPECHT, 2018).

Neste sentido, a agricultura celular pode ser uma opção viável para atender a demanda na produção de ADBS é sustentável e pode contribuir para reduzir os problemas ambientais (efeito estufa, menor consumo de água, menor uso da terra, etc.) (BRYAN *et al.* 2019). Além disso, os ADBS estão alinhados com os objetivos de desenvolvimento sustentável da ONU de 2030. Sendo eles: objetivo 2 de fome zero, objetivo 3 de saúde e bem-estar e objetivo 13 relacionado à diminuição dos impactos da ação climática (FAO, 2023; HALLMAN e HALLMAN, 2020).

Frente a este cenário, ora colocado em pauta como gerador de impactos sociais e ambientais, se faz necessária a intensificação de pesquisa sobre o tema, a partir de diferentes óticas, de modo a compreender esta tecnologia emergente. A temática tem despertado interesse de muitos países como forma de competitividade, diferenciação e segurança alimentar. Assim justifica-se a importância de pesquisas que permitam compreender a dinâmica dos ADBS por ser uma tecnologia emergente, com poucas pesquisas, dados e informações, deixando em aberto lacunas (POST *et.al.*, 2020).

Nesta perspectiva, tecnologias que gerem alternativas alimentares, dentre elas, os ADBS, recomenda-se ser explorado. Embora, em estágio inicial, ainda são necessárias

pesquisas para enfrentar os desafios relacionados à viabilidade técnica e econômica da produção em larga escala dos Alimentos Derivados da Biologia Sintética (STEPHENS *et al.* 2018). As *startups* e/ou empresas foram criadas apenas nos últimos anos e resultaram rapidamente em um ambiente muito competitivo (WASCHULIN e SPECHT, 2018).

Não obstante, verifica-se que não há unanimidade na literatura sobre a temática (ADAY e ADAY, 2020), falta consenso do conhecimento científico em relação a esta nova tecnologia (HOCQUETE, 2016), os debates tornam o tema ainda mais polêmico (LAESTADIUS, 2015). Neste sentido, ao levar em consideração uma tecnologia emergente em escala experimental, em amplo desenvolvimento, com interesses difusos e impregnada de especulações, paradoxos e ambiguidades, se evidencia a necessidade de estudos que possibilitem entender o potencial desenvolvimento dos ADBS.

Ante ao exposto, considerando que esta é uma tecnologia incipiente e que demanda um aprofundamento científico e empírico para melhor compreensão dos seus potenciais impactos (sociais e econômicos), a pesquisa realizada foi norteada pela seguinte problemática: quais são as dimensões da biologia sintética na produção de alimentos derivados da biologia sintética e o papel da convergência tecnológica?

1.2 OBJETIVOS

A seguir, estão descritos os objetivos deste trabalho.

1.2.1 Objetivo Geral

Compreender quais são as dimensões para a produção de alimentos derivados da biologia sintética e o papel da convergência tecnológica.

1.2.2 Objetivos Específicos

- I) Compreender como ocorre a emergência de um Ecossistema de Empreendedorismo de alimentos derivados da Biologia Sintética;
- II) Identificar qual o papel da convergência tecnológica para o desenvolvimento da tecnologia alimentos derivados da Biologia Sintética;
- III) Elaborar um framework das dimensões para a produção de alimentos derivados da Biologia Sintética.

1.3 JUSTIFICATIVA

Um dos papéis da ciência é compreender melhor a natureza, mas fomentar inovações tecnológicas que possam melhorar a vida. Neste contexto, a BS tem grande potencial para auxiliar e promover oportunidades para um mundo melhor, além de trazer benefícios para a humanidade (SACHSENMEIER, 2016). A BS está entre as principais tecnologias que irão acelerar as transformações globais (AMIN *et al.*, 2011). Para acelerar a busca de soluções para problemas sociais e gerar transformações na sociedade, é preciso olhar para a BS como um campo integrado e multidisciplinar da ciência.

Este campo tem fascinado cientistas por cruzar transversalmente conhecimentos (ERICKSON, SINGH e WINTERS, 2011), ultrapassando fronteiras nacionais, não ficando limitado à geração atual (PUNGÊNCIA, LEE e SEUL, 2017). É uma das novas áreas de investigação mais populares da biologia, e que tradicionalmente lida com a bioengenharia de novas formas de vida (em geral, mas não só, organismos unicelulares), que não existem na natureza (ENDY, 2005; CHIARABELLI, STANO e LUISI, 2013).

A BS é uma tecnologia emergente que é projetada para resolução de problemas, com aplicabilidade prática. Na última década, a Biologia Sintética ganhou a atenção política, por ser uma tecnologia que pode interferir na relação e nos padrões de interação econômica e social no século XXI. Os impactos desta tecnologia estão fluindo através do sistema internacional, e as economias que entenderem isso terão mais vantagens comparativamente do que outras (DIXON, 2019).

Em 2010, a Academia Chinesa de Ciência teve investimentos em larga escala na área de BS. Os EUA, também, investiram na criação de uma comunidade de profissionais e acadêmicos voltados para a política e a segurança que fazem interface com seus equivalentes técnicos de BS (DIXON, 2019). Estes investimentos têm sido alocados para o desenvolvimento de ADBS e refletem interesse e confiança nesse campo, que pode se transformar em uma alternativa bem-sucedida à agricultura convencional (SWARTZ e BOMKAMP, 2021).

Esta tecnologia é fundamental para o desenvolvimento do sistema de produção de alimentos. O que comíamos há dez anos não é o mesmo que comemos hoje e daqui dez anos, também não será. Atualmente, o sistema agropecuário atende às demandas de alimentação mundial. No entanto, tem-se o receio que para alimentar uma população global entre 9 a 11 bilhões de pessoas, até 2050, o sistema não seja capaz de acompanhar este crescimento significativo (WILLETT *et al.*, 2019; FAO, 218). A demanda por proteína animal irá dobrar, sendo necessário 100 bilhões de animais, para alimentar a população mundial. Neste contexto,

os alimentos derivados da biologia sintética não são mais uma ideia, podem ser feitos. Além disso, podem se tornar o futuro da alimentação (KHAN, 2019).

Os ADBS são derivados de uma tecnologia importante, e talvez revolucionária, que apresenta oportunidades para melhorar o bem-estar animal, melhorar a saúde humana e diminuir o impacto ambiental da produção de carne (MATTICK, 2018). Novas tecnologias, tendem a aumentar a qualidade dos alimentos, e ADBS, se inserem neste contexto. Desse modo, uma economia globalizada e com uma escala crescente de problemas sociais, pode encontrar soluções no âmbito da ciência e tecnologia (SMITS *et al.*, 1995), fazendo com que, estes alimentos, possam se tornar uma parte comum em dietas futuras (VAN HUIS, 2013).

A produção de alimentos por meio da BS é pauta nas principais economias globais. O enfoque que está sendo dado a nível mundial está relacionado aos efeitos do sistema convencional do agronegócio, ao bem-estar animal, à saúde pública, à preocupação com o meio ambiente e principalmente com a segurança alimentar (SAAVOSS, 2019; FAO, 2018). O consumo de alimentos tende a aumentar, à medida que o poder aquisitivo da população aumenta. Este aspecto combinado com o crescimento populacional está subjacente às projeções da demanda global por alimentos (BODIRSKY *et al.*, 2015).

Nesta perspectiva, tecnologias que gerem alternativas alimentares, dentre elas, os ADBS, recomenda-se ser explorado. Se faz necessária a intensificação de pesquisa sobre o tema, a partir de diferentes óticas, de modo a compreender esta tecnologia emergente. A temática tem despertado interesse de muitos países como forma de competitividade, diferenciação e segurança alimentar. Assim justifica-se a importância de pesquisas que permitam compreender a dinâmica dos ADBS por ser uma tecnologia emergente, com poucas pesquisas, dados e informações, deixando em aberto lacunas (POST *et al.*, 2020).

Os desenvolvimentos dos ADBS ainda apresentam inúmeros desafios, dentre eles: desafios técnicos e sociais, como escalabilidade da produção, custos de produção, desafios sociais e culturais, bem como aceitação do consumidor (STEPHENS *et al.*, 2018; Post *et al.*, 2020). Cientistas abordam o desafio da escalabilidade (produção em larga escala) e o alto preço ainda são desafios não resolvidos (HOCQUETTE, 2016; MORITZ *et al.*, 2015).

Desde a introdução do primeiro ADBS (hambúrguer), mais de 60 empresas foram criadas e mais de 450 milhões de dólares americanos investidos (SWARTZ E BOMKAMP, 2021). No entanto, até o final de 2020, apenas uma empresa conseguiu introduzir com sucesso no mercado um ADBS (nuggets de frango) na cidade de Cingapura (LUCAS, 2020).

Entretanto, apesar das incertezas, os ADBS são uma promessa de sistema agroalimentar (ADAY e ADAY, 2020; O'KEEF *et al.*, 2016) e compreender a dinâmica corresponde a uma

contribuição acadêmica pertinente (STEPHENS e LEWIS, 2017; STEPHENS et al., 2018; TREICH, 2021). Além disso, identificar as dimensões da tecnologia dos ADBS poderá consubstanciar conhecimentos que podem contribuir para o amadurecimento desta tecnologia.

A pesquisa também pode trazer contribuições à ciência do agronegócio, que estão implícitas ao longo desta tese, uma vez que são explorados fenômenos complexos e com caráter multidisciplinar. Além disso, destaca-se a análise de uma inovação relacionada à uma tecnologia emergente orientada à uma abordagem para o futuro da alimentação. Especialmente, relacionado ao agronegócio do futuro, cadeias e sistemas produtivos de alimentos.

Por fim, a pesquisa oportuniza *insights* sobre o futuro alimentar e torna possível desenvolver estratégias e implicações gerenciais proativas e não somente reativas como geralmente acontece no âmbito agroalimentar (GRAVES, 2005). Assim, esta tese de doutorado busca avançar na compreensão da temática dos ADBS abordando especificamente, por meio de três artigos, as dimensões para a produção de alimentos e o papel da convergência tecnológica.

1.4 ESTRUTURA DA TESE

A estrutura da tese está ancorada em três artigos. Para uma compreensão da tese apresenta-se disposto em 06 capítulos. O primeiro capítulo teve por objetivo introduzir as temáticas envolvidas neste estudo, o objetivo geral e os específicos, bem como as contribuições práticas e teóricas que justificam este estudo. Além disso, foi apresentado o alinhamento entre os artigos que compõem esta tese.

A abordagem teórica é exposta no segundo capítulo com o intuito de evidenciar os principais aspectos da literatura que irão substanciar este estudo e as categorias analíticas que serão utilizadas. Nesta pesquisa, foram abordadas as seguintes categorias analíticas: Biologia Sintética e Biologia Sintética na produção de alimentos.

No capítulo três, Artigo I: Compreender como ocorre a emergência de um Ecossistema de Empreendedorismo de alimentos derivados da Biologia Sintética. Capítulo quatro; Artigo II: Identificar qual o papel da convergência tecnológica para o desenvolvimento da tecnologia de alimentos derivados da biologia sintética. Capítulo cinco; Artigo III: elaborar um framework das dimensões e dos caminhos mais relevantes da tecnologia de alimentos derivados da Biologia.

E por fim, no sexto capítulo, as considerações finais, onde são destacadas as principais conclusões a respeito análises realizadas ao longo da construção da tese, assim como as limitações encontradas e a resposta ao problema geral da tese: Compreender o papel da

convergência tecnológica e as dimensões da tecnologia de alimentos derivados da biologia sintética.

1.5 ALINHAMENTO DOS ARTIGOS

Os três artigos que compõem esta tese estão relacionados, pois, juntos, contribuem para compreender: Quais são as dimensões da biologia sintética na produção de alimentos derivados da biologia sintética e o papel da convergência tecnológica. Esses três artigos compartilham dos seguintes elementos, que servem para construir a lógica orientadora da tese: abordagem territorial de ecossistemas de empreendedorismo (nível global), objeto do estudo são as *startups* de ADBS, como plano de fundo a perspectiva de análise compreende diferentes etapas pelas quais o desenvolvimento das dimensões para a produção de ADBS permeia: criação, lançamento, crescimento e maturidade.

Em relação aos objetivos, o primeiro artigo se preocupa em propor um método para mapear, analisar e projetar ecossistemas de empreendedorismo a partir dos atores da hélice quádrupla e a exploração de recursos estratégicos. Com isso o objetivo foi compreender como ocorre a emergência de um Ecossistema de Empreendedorismo de alimentos derivados da BS. Como resultado deste primeiro estudo, com 203 participantes envolvidos, identificou-se que a emergência do Ecossistema de Empreendedorismo ocorre como um processo gradual, pautado por uma transformação social, cultural, política, econômica e mercadológica.

Assim, identificou-se a importância de compreender melhor as tecnologias envolvidas na produção dos ADBS. Com isso, o objetivo do segundo artigo foi: identificar qual o papel da convergência tecnológica para o desenvolvimento de alimentos derivados da biologia sintética. Este estudo demonstrou que a convergência tecnológica caracteriza o avanço do conhecimento e da inovação em um determinado grau de complexidade que não permite isolar a ciência, técnica, tecnologia e sociedade. Além disso, foi possível compreender que tecnologias emergentes, têm o potencial de contribuir no desenvolvimento de áreas totalmente novas da tecnologia e da ciência. No entanto, tecnologias emergentes, como a utilizada para o desenvolvimento de alimentos derivados na biologia sintética, não tem sido explorada no âmbito da convergência tecnológica.

Finalmente, com base nas conclusões dos artigos anteriores, o terceiro e último artigo discute as possíveis dimensões para a produção de ADBS e propõem possíveis mecanismos de coordenação e as estratégias mais adequadas para fase de amadurecimento das dimensões.

Portanto, os objetivos gerais e específicos da dissertação são atendidos ao longo dos três artigos que, quando conectados, fornecem uma resposta ao problema de pesquisa. A Tabela 1 abaixo resume os objetivos da tese.

Tabela 1 - Objetivo geral e objetivos relacionados a cada um dos artigos que compõem esta tese.

OBJETIVO GERAL: Compreender quais as dimensões para a produção de alimentos derivados da biologia sintética e o papel da convergência tecnológica.			
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	ARTIGO I	ARTIGO II	ARTIGO III
Compreender como ocorre a emergência de um Ecossistema de Empreendedorismo (EE) de ADBS	X		
Identificar qual o papel da convergência tecnológica para o desenvolvimento da tecnologia ADBS		X	
Elaborar um framework das dimensões para a produção dos ADBS			X

Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

Estes objetivos específicos permitem alcançar os aportes teóricos e empíricos pretendidos pela tese de doutorado. Empiricamente, a consecução de objetivos específicos torna possível identificar atores-chave e recursos relacionais estratégicos em ecossistemas de empreendedorismo de ADBS, bem como fornece suporte para sua articulação e para a elaboração e implementação de políticas públicas voltadas para o desenvolvimento de EE de ADBS. Entre as contribuições teóricas estão o avanço dos ADBS e o modelo das dimensões e estratégias de coordenação adotadas para o desenvolvimento dessas dimensões em cada fase.

2. ABORDAGEM TEÓRICA

O presente capítulo discorre acerca dos conceitos teóricos essenciais que fundamentam a investigação proposta. A seguir, exploram-se os principais aspectos que envolvem a compreensão e as perspectivas teóricas de análise dos temas pertencentes a este estudo. Para tal, inicia-se com a abordagem da Biologia Sintética (BS). Em seguida, exploram-se os aspectos centrais dos ADBS. Por fim, discorre-se acerca do comportamento dos consumidores e as legislações relacionadas aos alimentos derivados da Biologia Sintética.

2.1 BIOLOGIA SINTÉTICA

A biologia e a vida microbiana, estiveram presentes desde a constituição do planeta terra, antes mesmo do Homo Sapiens. São “ferramentas” que vão auxiliar a restaurar os ciclos naturais da terra e questões emergentes como as apresentadas neste estudo (SCIENCE 2016; NATURE, 2015). A Biologia Sintética (BS) é uma das áreas do conhecimento relacionada à biologia e em potencial ascensão, podendo corroborar com problemas mundiais emergentes. É capaz de redesenhar totalmente ou fazer novas células, bactérias ou vírus (BAILONE *et al.*, 2019; BIOLOGIA MOLECULAR SYSTEMS, 2007). Além disso, leva a concepção de sistemas vivos complexos e fornece uma trajetória para um desenvolvimento futuro.

A essência da Biologia Sintética (BS) começou com os estudos do francês Stéphane Leduc (1912) e Loeb (1912), por meio da possibilidade de criar sistemas vivos artificiais. No entanto, o achado de Watson e Crick, em 1953, sobre a estrutura da dupla hélice (Ácido Desoxirribonucleico - DNA) foi uma das primeiras descobertas. O termo Biologia Sintética foi utilizado pela primeira vez na literatura por Hobom (1980), para descrever as bactérias que tinham sido geneticamente modificadas utilizando DNA recombinante. Este e outros estudos sobre a temática da BS começaram a ser disseminados no final da década de 1990, levantando indagações sobre os sistemas vivos e como investigá-los (O'MALLEY *et al.*, 2007).

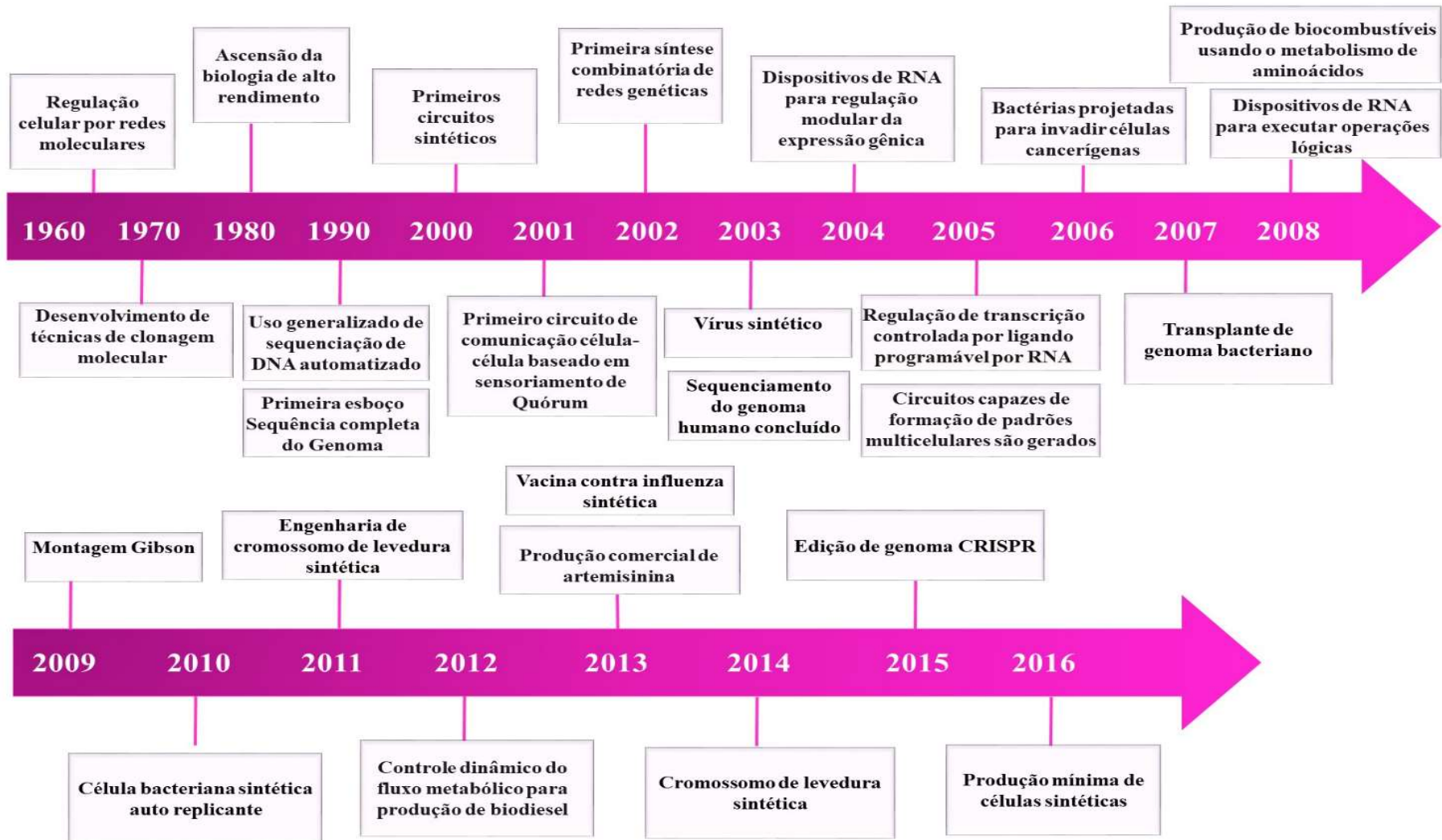
Neste período, em busca da consolidação da área, ocorreram avanços significativos. Dentre estes, o sequenciamento de DNA (é a determinação da ordem precisa de nucleotídeos dentro de um segmento do DNA) de forma automática por meio de ferramentas computacionais e sequenciando genomas completos (genoma é um código genético que possui toda a informação hereditária de um ser, a qual é codificada no DNA) (JEONG *et al.*, 2000). Posteriormente, foram criadas moléculas sintéticas e, então, surgiram os primeiros estudos relacionados a circuitos reguladores genéticos artificiais (MCADAMS e SHAPIRO, 1995; MCADAMS e ARKIN, 2000), interruptores de alternância genética (GARDNER *et al.*, 2000) e reguladores de transcrição (ELOWITZ e LEIBLER, 2000).

A edição de genomas também trouxe importantes contribuições para a BS (KIM e CHA; CHANDRASEGARAN, 1996). Outro avanço considerável, foi a descoberta do sistema CRISPR-Cas (*Clustered Regulatory Interspaced Short Palindromic Repeats*), que tem como intuito facilitar e realizar de forma eficiente alterações genéticas direcionadas (GAJ, GERSBACH e BARBAS, 2013). O sistema CRISPR-Cas é baseado em enzimas capazes de quebrar as ligações entre os nucleotídeos (Nuclease) projetadas no DNA (MALI *et al.*, 2013; WANG *et al.*, 2013).

A tecnologia de edição de genomas diferencia-se dos métodos anteriormente utilizados. É uma tecnologia revolucionária que utiliza interações de proteína de DNA para segmentação e realiza alterações no DNA de forma simples e rápida (SANDER e JOUNG, 2014) em diferentes microrganismos (GASIUNAS, 2016; NAYAK e METCALF, 2017), animais (HWANG *et al.*, 2013), plantas (MAO *et al.*, 2013; BELHAJ *et al.*, 2013; MIAO *et al.*, 2013) e células humanas (JINEK *et al.*, 2013; MALI *et al.*, 2013).

Para compreender os marcos significativos na construção da ciência da BS, a Figura 1 apresenta a construção de uma linha do tempo. Inicialmente é apresentado um período experimental, após um período intermediário com uma expansão. Posteriormente, a terceira etapa é caracterizada por inovações e mudanças impulsionadas pelas novas tecnologias, que acabaram por trazer um avanço substancial para a área. E por fim, houve uma expansão, crescimento com um aumento do ritmo e escala. Estas considerações estão demonstradas na Figura 1.

Figura 1 - Uma linha do tempo de eventos significativos da ciência da Biologia Sintética. Os avanços desta área e o desenvolvimento de novas tecnologias foram, e estão sendo, extremamente importantes para a produção de alimentos derivados da biologia sintética.

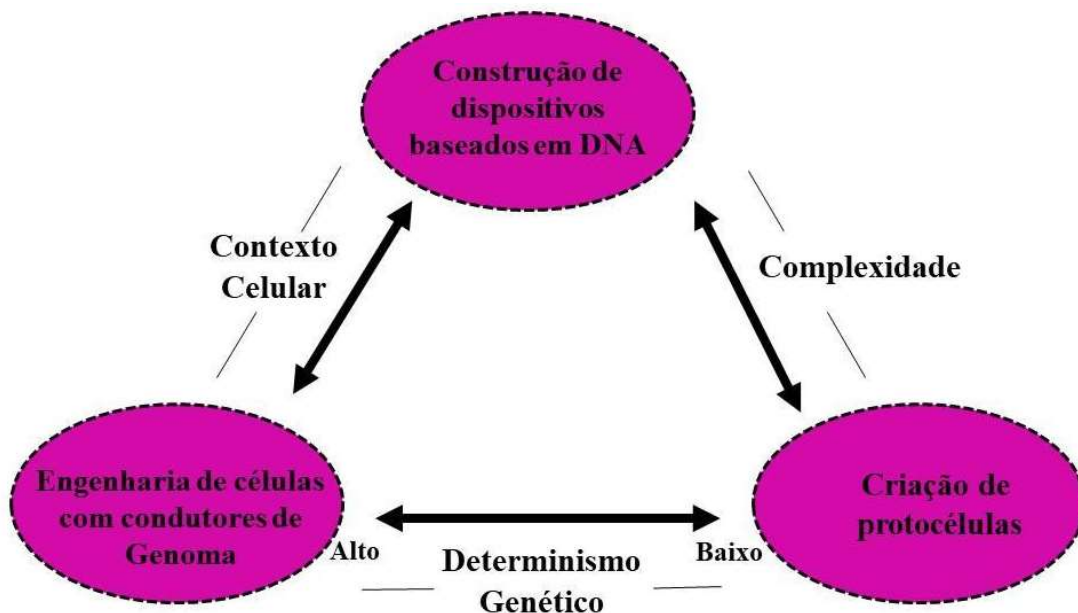


Fonte: Adaptado de Cameron, Bashor e Collins (2014).

A Biologia Sintética, "é como criar um novo universo" que pode gerar soluções para problemas globais e de grande complexidade (PUNGÊNCIA, LEE e SEUL, 2017). Neste estudo, compreende-se BS como uma ciência que busca a construção de novas estruturas, componentes biológicos, dispositivos e sistemas que não aconteceriam de maneira natural (TYAGI, 2014). É uma ciência que tem como objetivo criar sistemas vivos para suprirem as necessidades humanas, ao invés de esperar a evolução natural, produzindo uma função biológica útil (HAYNNE e MOE-BEHRENS, 2013). Para tal, a BS constrói do zero novas funções, organismos, ou mutações em um genoma que ainda não existem na natureza (CARRILLO, 2015).

Outros processos, ainda, também têm sido referidos como Biologia Sintética, entre eles, recombinar e reprogramar ligações de DNA (DREIER, 2001), a concepção de dispositivos moleculares, a construção de novas entidades biológicas e refatoramento de pequenos genomas (CHAN *et al.*, 2005). Neste contexto, existem três abordagens que englobam a área de Biologia Sintética: síntese de sistemas vivos, construção de dispositivos à base de DNA e genomas (O'MALLEY *et al.*, 2007). Esta abordagem descreve a dinâmica epistemológica da BS, conforme demonstra a Figura 2.

Figura 2 – Dinâmica epistemológica da Biologia Sintética.



Fonte: Adaptado de O'Malley *et al.* (2007).

O contexto celular, o determinismo genético e a complexidade são fatores relacionados às três abordagens que explicam a dinâmica da Biologia Sintética. Cada uma destas abordagens, apresentadas na Figura 2, têm um objetivo específico, um princípio metodológico, e se utilizam de diferentes técnicas, interagindo com outras abordagens de formas distintas. O Quadro 1 apresenta uma descrição de cada uma destas abordagens.

Quadro 1 – Descrição das abordagens que englobam a Dinâmica epistemológica da Biologia Sintética.

	Construção de dispositivos baseados em DNA	Engenharia de células controlada por genoma	Criação de protocélulas
Objetivo	Transformar Biologia em engenharia para construir componentes biológicos funcionais	Para sintetizar genomas mínimos, mas inteiros, e inseri-los nas células; Para controlar o processo de produção celular	Construir aproximações viáveis de células; Entender a Biologia não sintética e a origem da vida
Princípios Metodológicos	<i>Design</i> e fabricação; Princípios de engenharia	Engenharia baseada em bioinformática	Modelagem teórica
Técnicas	Síntese de dispositivos de DNA e inserção em células	Análise bioinformática do genoma, engenharia do genoma e inserção em células vivas	Construção de células rudimentares e subsistemas celulares, utilizando componentes sintetizados e existentes
Interação com outras abordagens	Componentes para células e protocélulas mínimas	Novas técnicas de síntese de DNA; Plataformas celulares para inserção de dispositivos	Genes essenciais e sistemas bioquímicos para a vida celular

Fonte: Adaptado de O'Malley *et al.* (2007).

A BS é a engenharia da Biologia, é uma síntese complexa de base biológica e/ou inspirada em sistemas. Permite a concepção de sistemas biológicos de forma racional e sistemática, sendo capaz de conceber peças padronizadas (aminoácidos, proteínas, genes, circuitos, células). Desta forma, é possível projetar proteínas com novas funções, ou modificar as funções existentes (BIOLOGIA MOLECULAR SYSTEMS, 2007) e construir novos componentes biológicos (enzimas, circuitos genéticos, células ou a remodelação de sistemas biológicos existentes) (KEASLING, 2008).

Os novos organismos podem ser concebidos por meio da combinação racional de “partes” biológicas padronizadas que estão dissociadas no contexto natural. Estas “partes” podem ser recombinadas, gerando novas configurações com o intuito de modificar propriedades já existentes ou criar novas formas (LORENZO e DANCHIN, 2008). Grande parte do trabalho de base da BS foi realizado com espécies microbianas. Estes sistemas microbianos permanecem

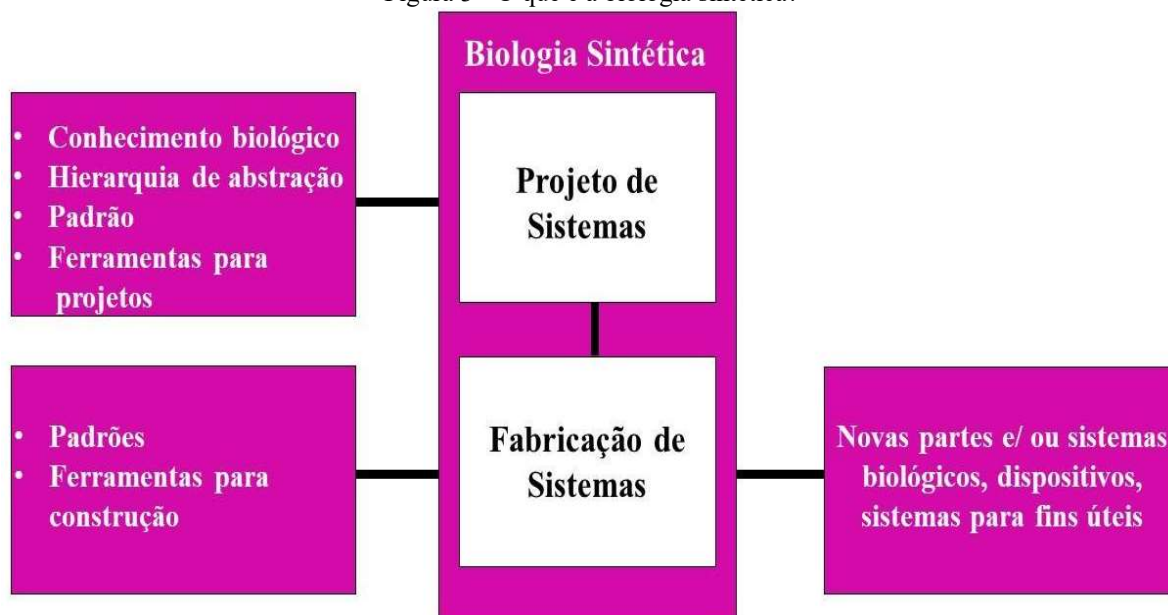
centrais em várias áreas, incluindo circuitos e construções de genomas (CAMERON, BASHOR e COLLINS, 2014).

Os elementos descritos acima distinguem a BS de outros campos como o da Biologia Molecular e celular. Na BS o foco encontra-se na concepção de componentes biológicos que podem ser modelados e ajustados para satisfazer critérios, especificações e desempenhos, através da montagem destes componentes em sistemas integrados com uma dimensão maior e complexa, que resolvam problemas específicos (KEASLING, 2008). Um componente biológico pode ser qualquer coisa, desde uma sequência de DNA para uma proteína específica ou uma sequência de um gene (KWOK, 2010).

Desta forma, a Biologia Sintética distingue-se de outras disciplinas de engenharia, tanto na sua abordagem quanto na escolha de objetos. Este campo emergente utiliza os *insights* da investigação biológica, mas formula novas regras para fins de engenharia. E deve ser considerada uma disciplina híbrida, que combina elementos da engenharia para atingir seu objetivo (ANDRIANANTOANDRO *et al.*, 2006). É uma extensão do “espírito” da engenharia genética, no entanto, se concentra em sistemas inteiros e produtos de genes, mas analisa os organismos biológicos em sua totalidade.

Utiliza-se o protocolo padrão de engenharia de projeto e fabricação, incluindo a clonagem padronizada de uma nova síntese de DNA (é a ligação de bases nucleotídicas para formar uma molécula de DNA). Os princípios da abordagem da engenharia são aplicados para implementar sistemas biológicos, na maioria das vezes no nível do DNA (HEINEMANN AND PANKE, 2006). A Figura 3 ilustra estas considerações para compreensão do que é a BS.

Figura 3 - O que é a biologia sintética?



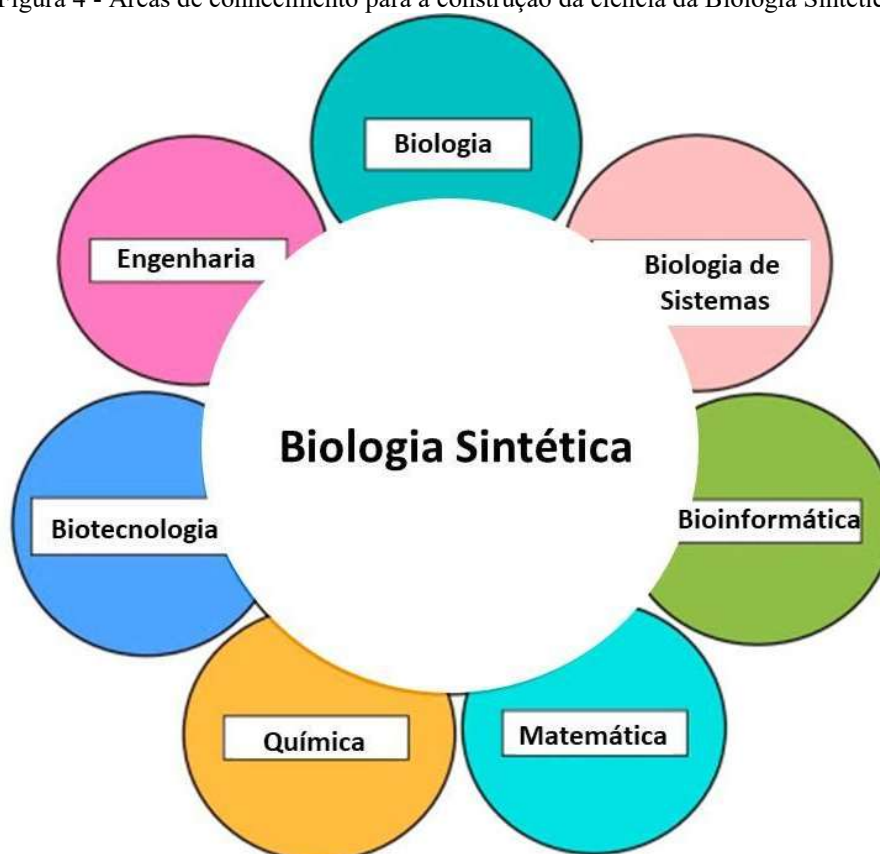
Legenda: A Biologia Sintética abrange projeto e fabricação de sistemas. Cada parte tem seus pré-requisitos e atribuições específicas. A Biologia Sintética irá fornecer novas entidades biológicas com funcionalidade melhorada.

Fonte: Adaptado de Heinemann e Panke, 2006.

A Biologia Sintética é um campo multidisciplinar da ciência que envolve diversas expertises. São combinados avanços da engenharia, biologia, química, ciência da computação e *design*, que fornecem tecnologias para a produção e ao mesmo tempo substituem os recursos finitos (SYNBICITE, 2019). Além disso, as inovações tecnológicas abrangem uma ampla gama de tecnologias, com capacidades e projetadas para diferentes finalidades.

As principais tecnologias utilizadas na Biologia Sintética incluem Síntese de DNA, Sequenciamento, engenharia genômica, tecnologias de bioinformática e componentes biológicos. Enquanto isso, os principais segmentos de mercado envolvem: agricultura, alimentos, fármacos, biocombustíveis, produtos químicos e células sintéticas (CAMERON, BASHOR e COLLINS, 2014). As áreas que contemplam conhecimentos essenciais da tecnologia da Biologia Sintética estão demonstradas na Figura 4.

Figura 4 - Áreas de conhecimento para a construção da ciência da Biologia Sintética.



Legenda: Os pilares da biologia sintética incluem as disciplinas: biologia, biologia de sistemas, bioinformática, matemática, química, biotecnologia e engenharia que interagem para formar as bases da biologia sintética.

Fonte: Elaborado pela autora com base na literatura, 2023.

O papel da ciência é compreender melhor a natureza, mas também criar inovações tecnológicas para melhorar a vida. A Biologia Sintética tem grande potencial para auxiliar e promover oportunidades para um mundo melhor, além de trazer benefícios para a humanidade (SACHSENMEIER, 2016). A BS é uma ciência complexa e emergente, com aplicações práticas (HEINEMANN e PANKE, 2006) e poderá estar entre as principais tecnologias que irão acelerar a transformação no mundo (AMIN *et al.*, 2011).

A aplicação da BS pode trazer benefícios para, materiais e estruturas energia, alimentos, saúde e meio ambiente (SACHSENMEIER, 2016). Alguns exemplos incluem produção de matéria-prima de biomassa para a produção microbiana de materiais, produtos químicos renováveis, medicamentos, consórcios microbianos, mudanças na circulação atmosférica, células artificiais e bio-máquinas (ERICKSON, SINGH e WINTERS, 2011; GREER, MARTINEZ e SEGUEL, 2013).

Estas aplicações, podem contribuir para o desenvolvimento de diversos setores econômicos, incluindo biomedicina, energia, química, agronegócio, alimentos e medicina. No entanto, o sucesso da Biologia Sintética dependerá da sua capacidade de superar a engenharia

tradicional, utilizando-se das melhores características dos sistemas naturais com projetos artificiais para alterar, modificar ou criar sistemas biológicos complexos de forma racional (MACDONALD *et al.*, 2011; PLEISS, 2011).

A BS se tornou área de interesse de diversos pesquisadores (BAILONE *et al.*, 2019), no entanto no setor de alimentos os estudos são recentes. A ideia da produção de alimentos para consumo humano por meio da BS foi escrita há bastante tempo por Winston Churchill no ensaio "Fifty Years Thus". Este foi publicado no livro *Thoughts and Adventures*, no ano de 1932 (BHAT *et al.*, 2014).

Um dos campos mais relevantes da BS é a produção de alimentos oriundos da BS (CHEN *et al.*, 2022). Isso porque esta temática pode gerar impactos positivos para contribuir com a diminuição da fome, segurança alimentar e problemas ambientais (HADIDI *et al.*, 2022). Percebendo as potencialidades da BS, este estudo se concentra, particularmente, nos aspectos relacionados à produção de alimentos, que têm impacto direto sobre a vida humana, a segurança alimentar e por consequente o setor do agronegócio.

2.2 BIOLOGIA SINTÉTICA E ALIMENTOS

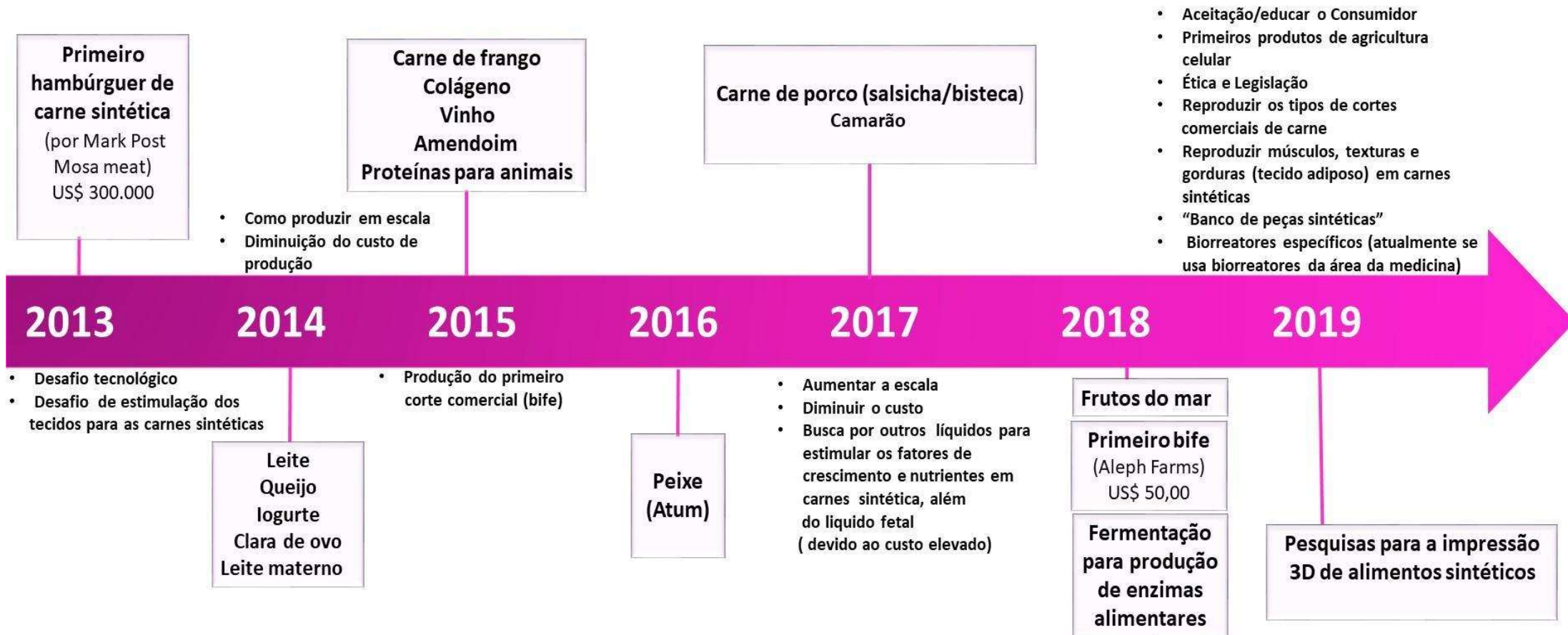
Grande parte dos indivíduos da sociedade possuem dificuldade para compreender como a artificialidade e a natureza podem andar juntas. Os alimentos oriundos da Biologia Sintética podem ser recebidos pela sociedade com neofilismo, ou seja, amor à novidade e aos modos de expressão inovadores que esta tecnologia traz, ou com neofobia, aversão ao que é novo. Estas respostas são dinâmicas e culturalmente arbitrárias (LUPTON, BETHANEY e TURNER, 2018). Logo, a adoção de uma nova tecnologia levará um tempo para ser aceita, dado que a principal barreira a ser enfrentada é o fato de o alimento ser percebido como cultura (FRIES, 2019). É importante que, à medida que esta tecnologia progride, ela seja também segura à sociedade (KATZ *et al.*, 2018).

A tecnologia é um dos fatores chave para enfrentar os principais desafios globais, dentre eles a segurança alimentar (PORCAR e PERETÓ, 2014). Compreende-se que a Biologia Sintética tem o potencial para revolucionar o sistema alimentar global. Este, é um dos impactos importantes que esta área tem sobre a ciência (TYAGI *et al.*, 2014). Dentre as aplicações comerciais da Biologia Sintética estão os ADBS, que servirão de alimento à população.

O desenvolvimento por completo destes processos até a sua finalização foi impulsionado pela tecnologia da BS, que gerou um rápido desenvolvimento desta nova

indústria. A Figura 5 demonstra o ciclo completo de produção do primeiro alimento biossintético, um hambúrguer de carne, até o momento atual em que se encontra a tecnologia da Biologia Sintética no âmbito da produção de alimentos.

Figura 5 - Uma linha do tempo de eventos significativos para que seja possível a comercialização de alimentos derivados da Biologia Sintética.



Legenda: Os itens envoltos por um quadrado demonstram os principais marcos, enquanto os itens pontuados representam os desafios.

Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

É um período de descoberta de novos metabólitos secundários direcionados à produção de alimentos. Os preços precisam ser reduzidos por meio de economias de escala (WEINRICH, STRACK E NEUGEBAUER, 2019), para que os ADBS possam competir com o mercado “tradicional” de alimentos, ainda existe muito a se avançar (PAKSERESHT *et al.*, 2022; TINDALL, 2020). Além disso, existe uma variedade de desafios políticos e regulatórios que impactam na introdução da carne cultivada no mercado (STEPHENS *et al.*, 2018).

Para desenvolver os ADBS, são aplicados os princípios da Agricultura Celular, com o objetivo de produzir alimentos, de forma diferente de como seriam obtidos no sistema convencional (CHEN *et al.*, 2022; STEPHENS, KING, *et al.*, 2018). Esta, não está relacionada à produtos biotecnológicos, como organismos geneticamente modificados para o cultivo de plantas ou para a melhora genética na criação de animais (MARCUS *et al.*, 2015; MOHORCICH e REESE, 2019).

A tecnologia de ADBS abrange os contextos industriais da biomedicina e agroalimentar (KING, *et al.*, 2018) e corresponde a um novo conceito (ENRIONE *et al.*, 2017). É dotada de ambivalência (STEPHENS 2013; MAJIMA 2014; BHAT *et al.* 2019), estimulando debates morais e éticos em diferentes áreas de conhecimento (SCHAEFER e SAVULESCU 2014; DILWORTH e MCGREGOR 2015), bem como especulações sobre o que promove pode contribuir para o desenvolvimento de alimentos por meio da agricultura celular (JONSSON 2016; ANDERSON e BRYANT 2018).

A agricultura celular utiliza um conjunto de tecnologias para produzir alimentos anteriormente obtido da pecuária (REIS *et al.*, 2020). Ainda numa fase inicial, procura desenvolver produtos de origem animal com pouco ou nenhum envolvimento do animal (KING, *et al.*, 2018). Pode dar origem a alimentos celulares e acelulares. Inúmeras empresas e *startups* estão desenvolvendo alimentos derivados da Biologia Sintética, tais como bebidas alcoólicas, açúcar, laticínios e carne. O Quadro 2 traz uma breve descrição dos processos e o que inclui cada um destes alimentos.

Quadro 2 – Categorias dos ADBS.

Bebidas alcoólicas	Nutrição	Carnes	Produtos Lácteos
Através da análise da composição química, sintetizando os processos quimicamente para criar um clone sintético, como vinhos.	Busca melhorar a composição nutricional dos alimentos utilizando a Biologia Sintética como uma ferramenta.	Por meio da cultura de células e técnicas de engenharia são desenvolvidos tecidos, fibras musculares, gordura e vasos sanguíneos. Outros processos são necessários para estimular fatores de crescimento e nutrientes. Estes processos podem envolver células-tronco, plantas ou micróbios. Desta forma, é possível suportar o crescimento dos tecidos e desenvolver carnes dos mais variados tipos, porco, frango, salsicha, camarão, peixe.	Utiliza-se técnicas de fermentação e a Biologia Sintética para desenvolver produtos acelulares como, leite, queijo, iogurte, clara de ovos.

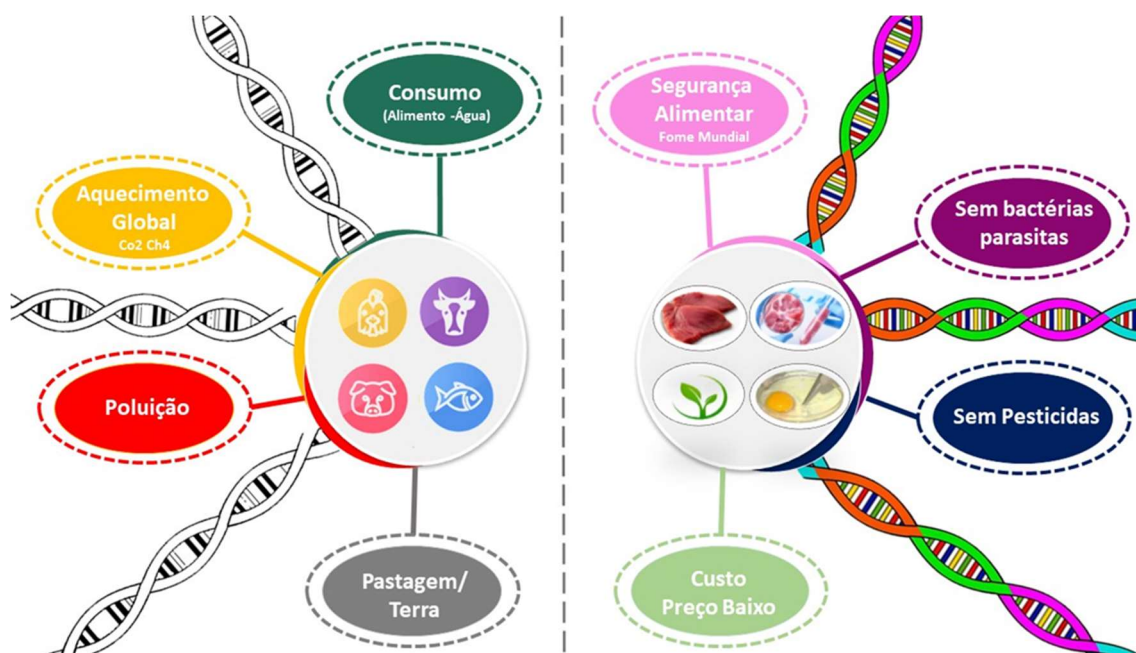
Legenda: Os alimentos derivados da biologia sintética podem ser divididos em quatro categorias. No entanto, o processo para desenvolver cada produto é único. Alguns utilizam a cultura de células, técnicas de fermentação, processos químicos, dentre outras ferramentas.

Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

Fatores como o aumento de renda, redução da pobreza, urbanização e ganhos na segurança alimentar estão impulsionando para que a população consuma mais proteínas (FAO, 2023). Este ritmo acelerado de crescimento, no âmbito da produção de alimentos, da pecuária e do uso de terras, requer atenção. Neste contexto, é necessária uma estratégia global que envolve diversos atores (GODFRAY, 2010).

Nesta perspectiva, devido às crescentes demandas populacionais, o sistema alimentar foi modificado e está mudando. Usando os princípios da agricultura celular para desenvolver ADBS é possível obter alimentos (FRIES, 2019), que podem trazer impactos positivos na segurança alimentar. A Figura 6 demonstra as principais vantagens que os alimentos oriundos da Biologia Sintética podem trazer em comparação ao sistema convencional de produção.

Figura 6 – Biologia sintética e os seus potenciais benefícios ambientais na produção de alimentos.

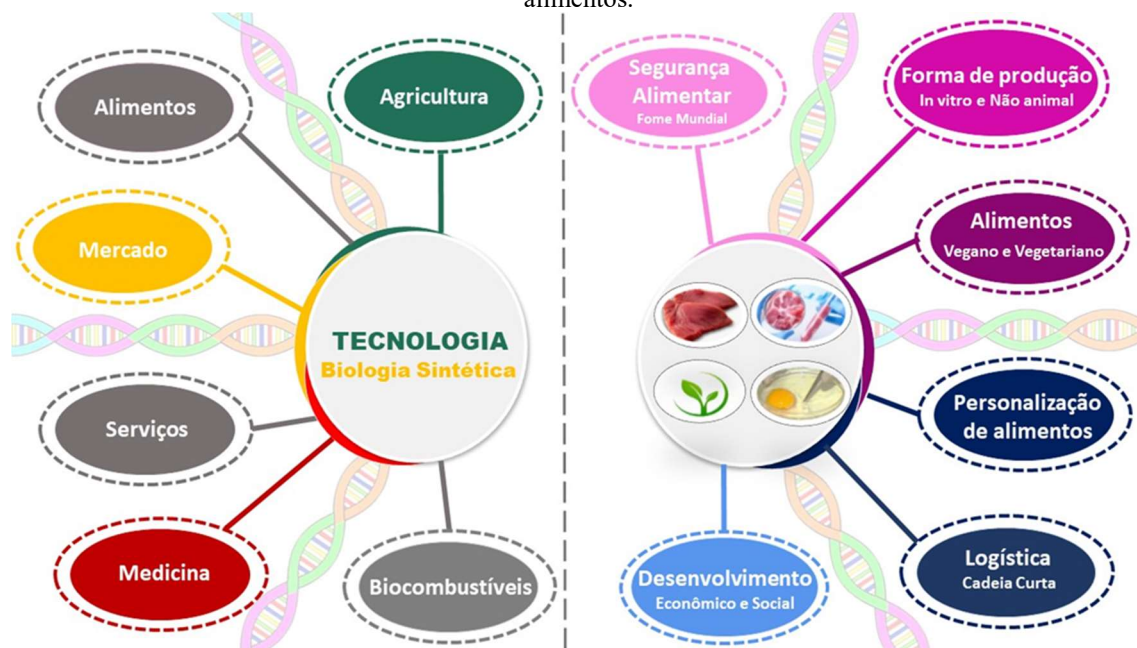


Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

O setor do agronegócio é o que mais gera gases do efeito estufa entre as cadeias produtivas de alimentos, além de responder por 14,5% de todas as emissões antropogênicas. Atualmente, 75% da área arável do planeta é utilizada para a criação de bovinos. Parte para pastagem e parte para cultivo de grãos para a alimentação dos animais. Por duas décadas, a demanda global por alimentos aumentou de forma constante, juntamente com o crescimento mundial da população (FAO, 2018).

Independentemente de aspectos ambientais, os alimentos derivados da biologia sintética podem contribuir para a segurança alimentar e outros benefícios. Esta tecnologia pode proporcionar a produção de alimentos com um maior teor de nutrientes, mais resistente às flutuações do tempo e a doenças. Outro aspecto interessante da agricultura celular é a capacidade de projetar e ajustar o que você está fazendo. É possível desenvolver carnes com menos gorduras saturadas, leite sem lactose ou ovos sem colesterol (FRIES, 2019), conforme demonstra a Figura 7.

Figura 7 – Possibilidades de aplicações da biologia sintética e seus potenciais benefícios na produção de alimentos.



Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

Por outro lado, é importante ressaltar que os impactos que a ADBS pode causar a menos que a agricultura convencional são suposições teóricas. Serão necessárias mais pesquisas para estimar os impactos ambientais da agricultura celular baseados em dados empíricos em escala de produção (PAKSERESHT et al., 2022; SAAVOSS, 2019). As implicações do mercado para produtos de agricultura celular são altamente incertas neste momento (KUMAR et al., 2021).

Independentemente de aspectos ambientais, os alimentos derivados da biologia sintética podem contribuir para a segurança alimentar e outros benefícios (FRIES, 2019). No entanto, as implicações do mercado para produtos de agricultura celular são altamente incertas neste momento. Precisamos observar o contexto, identificar os riscos adotar um posicionamento baseado em evidências empíricas e na ciência (ADAY e ADAY, 2020). Apesar da contribuição prevista dos ADBS seja de combater vários desafios globais, há incerteza sobre os potenciais impactos, riscos e benefícios (NEW HARVEST, 2020).

Sugere-se que os produtores de alimentos devem buscar por tecnologias e inovações que os possibilitem avaliar os aspectos ambientais (ADAY e ADAY, 2020). O objetivo deste estudo não está em comparar esta nova tecnologia de produção de alimentos com a produção convencional (criação de animais), e sim, demonstrar as vantagens que esta tecnologia pode trazer à sociedade. Há inúmeras possibilidades e contribuições, algumas destas, exemplificadas na Figura 7, caberá ao consumidor decidir se irá adotar o consumo destes alimentos ou não.

Sendo assim, a abordagem deste estudo não está focada nos impactos ambientais do sistema convencional de produção comparado aos impactos da produção de ADBS.

A perspectiva da Agricultura Celular, que inclui, alimentos à base da cultura de células (celulares) e produtos oriundos de fermentações (acelulares), diferenciam-se das carnes à base de plantas. Estas, são desenvolvidas através da combinação de produtos de origem não animal. No entanto, ambas fazem parte de um novo conceito agroalimentar: a “carne limpa” (HALLMAN *et al.*, 2023; PAKSERESHT *et al.*, 2022).

Os alimentos celulares são desenvolvidos com técnicas da engenharia de tecidos e com células vivas, e originam carnes sintéticas (frango, bovino, frutos do mar, suína). Por sua vez, os alimentos acelulares são desenvolvidos por meio de moléculas orgânicas, técnicas de fermentação. Por este processo podem ser produzidos leite, clara de ovo e queijo, dentre outros produtos lácteos (SAAVOSS, 2019).

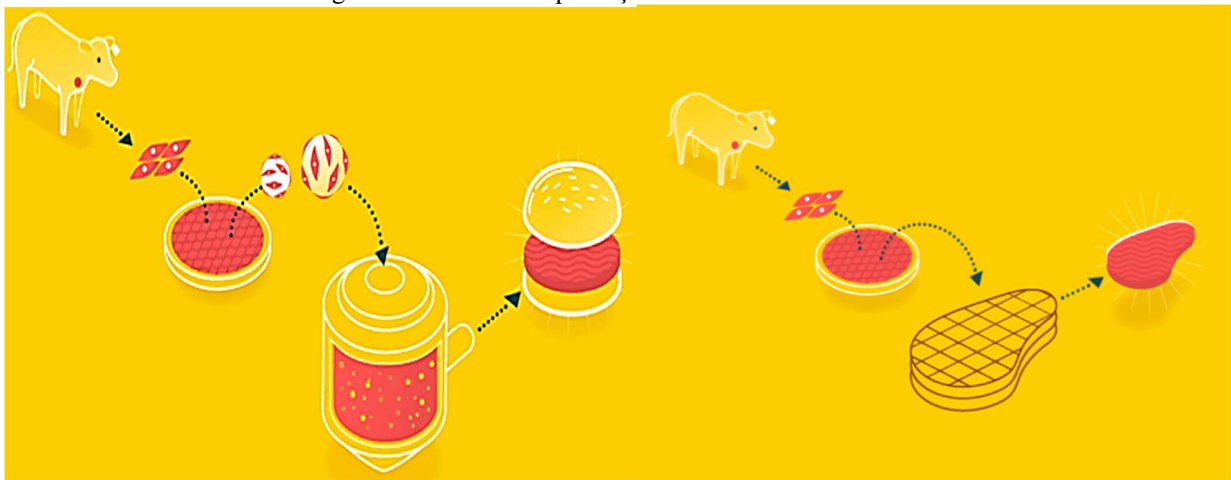
2.2.1 Carnes baseadas em células (alimentos celulares)

O processo para desenvolver a carne sintética está diretamente ligado à Engenharia Baseada em Tecidos. Esta técnica é utilizada principalmente na área da saúde. A primeira etapa do processo é a coleta das células de um animal. Após, estas células são colocadas em um biorreator, que irá oferecer uma estrutura para estas células se desenvolverem (SAAVOSS, 2019). As proteínas sinalizadoras inseridas neste processo controlam a multiplicação das células e como os tecidos irão se ligar. As células se multiplicam por inúmeras semanas até que formam uma carne por completo, e então, estão prontas para o consumo (KADIM *et al.*, 2015; SPECHT *et al.*, 2017).

Esta nova indústria utiliza-se de inúmeros processos e equipamentos projetados para a área da medicina. Este é um dos desafios que estão sendo enfrentados para que a produção de carne sintética possa escalar para níveis comerciais. Os biorreatores, o soro bovino fetal também eleva o custo de produção (STEPHENS *et al.*, 2018). Outros métodos livres de soro já estão sendo desenvolvidos (REYNOLDS, 2018; SPECHT *et al.*, 2017). Este é um indicador de que a produção em escala comercial está sendo projetada (MATTICK; LANDIS; ALLEMBY, 2015). Os primeiros produtos desenvolvidos com carnes sintéticas, se assemelham com hambúrguer, salsicha, nuggets de frango (WAN, 2017). Conforme a tecnologia foi evoluindo, outros produtos como bife já foram desenvolvidos.

Além disso, outros tipos de carnes exóticas podem ainda ser desenvolvidos através do DNA de animais extintos (BHAT e FAYAZ, 2011). Proteínas bem estruturadas com gorduras, tecidos e cortes de carnes comerciais, são um desafio contínuo (STEPHENS *et al.*, 2018). A textura de alimentos processados de carne bovina, como hambúrguer (Figura 8) e almôndegas, encontram-se em um estágio de desenvolvimento mais avançado do que os cortes de carne que envolvem tecido e texturas (SAAVOSS, 2019). A composição exata de hambúrgueres de carne sintética não é conhecida por completo (POST, 2017).

Figura 8 - Processo de produção de carnes baseadas em células.



Legenda: As células são retiradas do animal, cultivadas em grânulos, em um biorreator, para gerar carne sintética. Estas, devem ter sabor, com uma boa sensação na boca e valor nutricional adequado. No entanto, “como as células só podem crescer cerca de 0,5 mm de espessura em cultura, é mais fácil cultivar carne moída do que algo espesso como um bife”.

Fonte: New Harvest, 2019.

Esta, é uma área interdisciplinar e desafiadora que requer a otimização de centenas de combinações de parâmetros. O processamento e interpretação de dados pode ser um grande aliado para a produção em escala. A ciência de dados e o aprendizado de máquina podem contribuir com a interpretação de dados, de forma a identificar percepções que, de outra forma, não seriam identificadas (HAMADA *et al.*, 2019).

Os recursos devem ser usados de maneira eficaz, proporcionando o crescimento da indústria. Este crescimento levará a uma nova era de produção de carne. Este é um marco na pesquisa, embora as culturas de células já tenham sido aplicadas em outros contextos, isto foi uma forma de encorajar a produção em massa de carnes sintéticas (HAMADA *et al.*, 2019). O futuro da indústria de carnes convencional está diretamente dependente da adoção de novas tecnologias, para que esta se mantenha competitiva frente à carne cultivada (BONNY *et al.* 2017).

Para o cultivo de células de frutos do mar (peixe, camarão...), os obstáculos são compostos por uma falta comparativa de pesquisa básica de biologia celular e molecular, bem como uma enorme diversidade de tipos de frutos do mar. Ao desenvolver a carne de peixe em terra (laboratórios), sem todas as ineficiências associadas à criação de um animal inteiro apenas para comer sua carne, muitos problemas podem ser resolvidos. Os frutos do mar como são produzidos hoje, tem uma infinidade de elementos problemáticos. O mercúrio e o plástico encontrados em peixes, representam riscos para a saúde dos consumidores (HAMADA *et al.*, 2019).

A logística também apresenta desafios, fazendo com que os produtos apresentem uma baixa qualidade ao serem enviados para o mundo todo (HAMADA *et al.*, 2019). Posto isto, há um colapso iminente dos ecossistemas. Isso significa que a maneira como atualmente produzimos carnes (frutos do mar, suína, frango, bovino, pato...) merece uma reflexão. As carnes baseadas em células podem resolver muitos problemas, criando carne real em laboratórios.

Em suma, os alimentos celulares são desenvolvidos com técnicas da engenharia de tecidos e com células vivas, e originam carnes sintéticas (frango, bovino, frutos do mar, suína) (SAAVOSS, 2019). A produção de carne à base de células envolve novas tecnologias, e é produzido somente as partes dos animais que as pessoas desejam consumir (HALLMAN E HALLMAN, 2020). A expansão da cultura das células é realizada em biorreatores essas tiras de músculo são colhidas, processadas e vários compostos são adicionados para aumentar o valor nutrição, sabor, cor e textura. A produção de um determinado corte de carne (por exemplo: bifes) requer tecnologia adicional para organizar as células musculares na forma e estrutura correta (FAUSTMAN *et al.*, 2020).

2.2.2 Alimentos acelulares

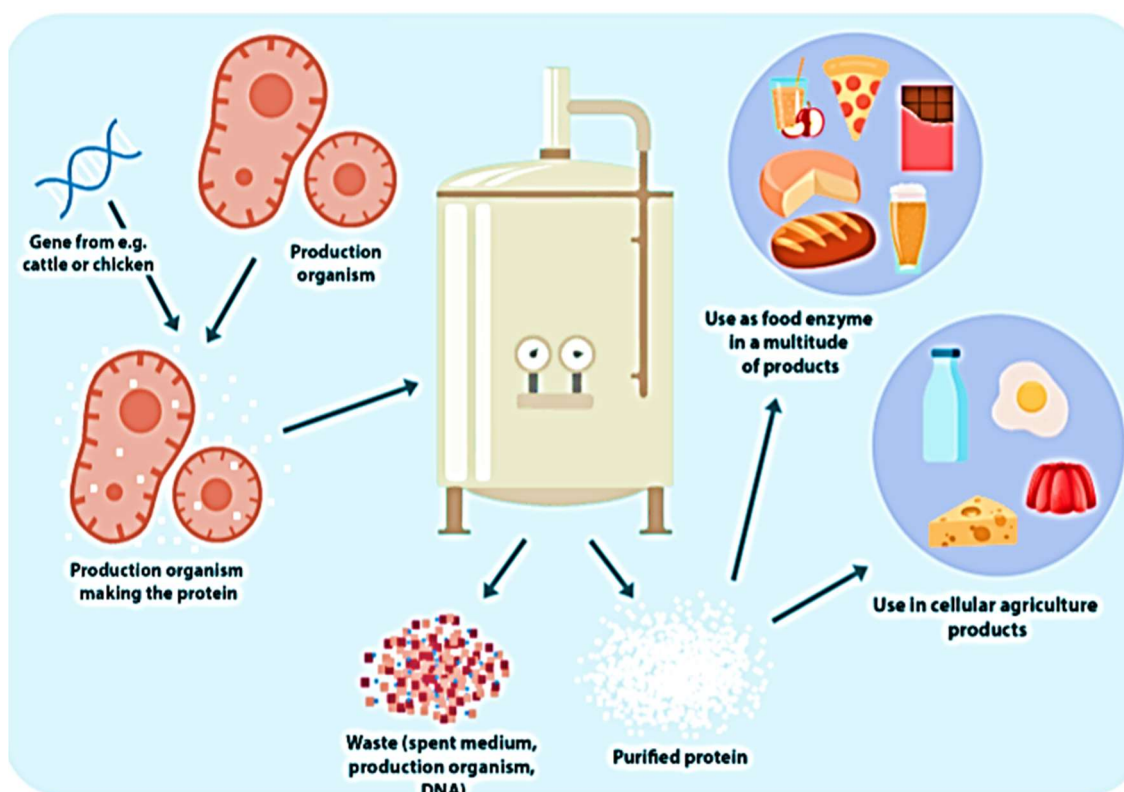
Para alimentos acelulares são utilizadas proteínas de armazenamento que servem como reservas de nutrientes e energias juntamente com proteínas enzimáticas. Estas proteínas constituem os principais produtos da produção de proteínas em escala industrial através da fermentação (REIS *et al.*, 2020; WASCHULIN, 2018).

Para desenvolver alimentos acelulares, incluindo ovos, leite e produtos lácteos, são utilizados métodos da engenharia de proteínas. O processo busca modificar as leveduras durante a fermentação (WASCHULIN e SPECHT, 2018). Primeiro, estas leveduras recebem a adição de nutrientes e açúcar. Após, a levedura acaba por consumir o açúcar e produzir, por meio dos

nutrientes, as proteínas que serão utilizadas para desenvolver produtos lácteos. Os laticínios desenvolvidos por esta tecnologia sintetizam a proteína do leite, no entanto utilizam-se de gorduras vegetais (SAAVOSS, 2019). As proteínas sintetizadas possuem propriedades funcionais e sensoriais específicas a produtos como leite e clara de ovo ((KUMAR *et al.*, 2021; WASCHULIN, 2018).

Atualmente, em grande maioria, as enzimas são desenvolvidas por bactérias modificadas geneticamente e outros fungos. O processo (Figura 9) começa com a coleta de um gene que irá codificar a proteína. Este gene é retirado de um organismo vivo, como uma vaca, se se tem o objetivo de produzir leite por exemplo. Após, é inserido um DNA de organismos como bactérias ou leveduras (HADIDI *et al.*, 2022).

Figura 9 - Processo de desenvolvimento de um produto acelular.



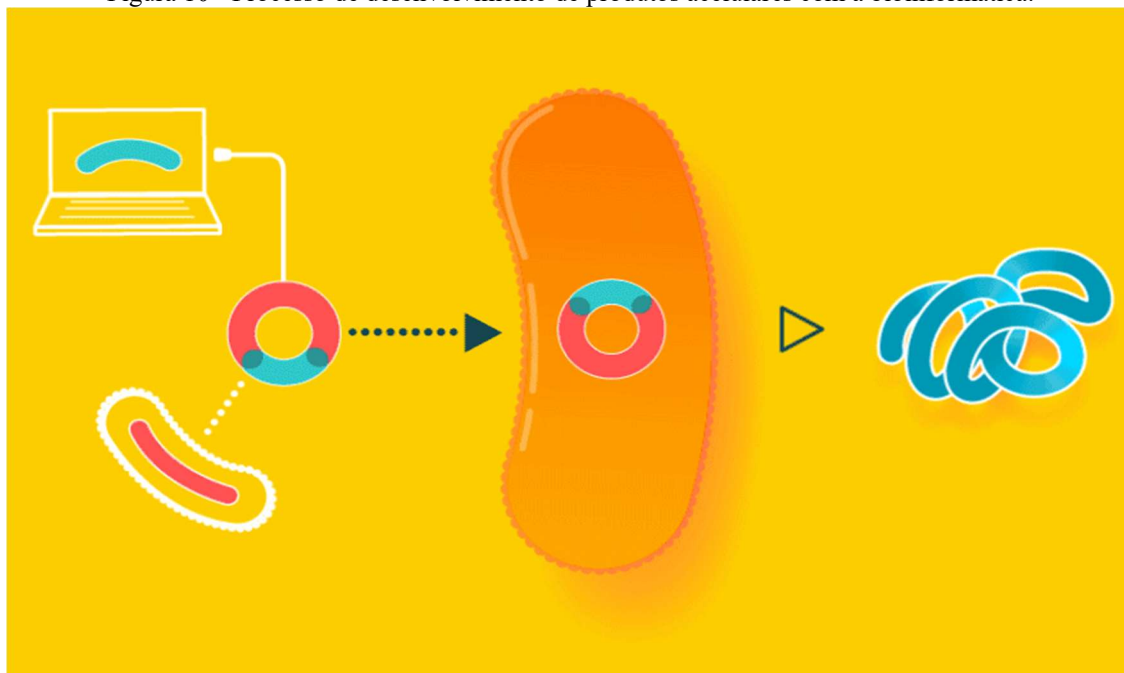
Legenda: Os genes que codificam as proteínas desejadas (neste caso, da fonte animal) são introduzidos em um organismo hospedeiro altamente eficiente, por meio de fermentadores. Estas proteínas são então purificadas do hospedeiro para incorporação em bens de consumo.

Fonte: Waschulin e Specht (2018).

O processo de síntese de DNA tem um baixo custo, e na maioria das vezes, não é necessário um organismo doador para realizar o processo. O gene desejado é buscado em um banco de dados (Figura 10) e é fabricado de acordo com as especificações do genoma requerido. O exemplo do leite feito em levedura, a levedura foi alterada inserindo-se o gene contendo as

plantas para a caseína, uma proteína do leite. Como todas as células leem o mesmo código genético, a levedura, agora transportando o chamado DNA recombinante, torna a caseína idêntica à caseína produzida pelas vacas.

Figura 10 - Processo de desenvolvimento de produtos acelulares com a bioinformática.



Legenda: Para criar uma cultura inicial que possa produzir proteínas animais: procure o gene da proteína online e insira o gene da proteína em um micróbio. O micróbio agora será capaz de produzir as proteínas que você estava procurando. Você só precisará criar essa cultura inicial uma vez.

Fonte: New Harvest (2019).

Em síntese, os alimentos acelulares são desenvolvidos por meio de moléculas orgânicas e técnicas de fermentação, não contém material celular. Por este processo podem ser produzidos leite, clara de ovo, queijo dentre outros produtos lácteos (SAAVOSS, 2019). São utilizados métodos da engenharia de proteínas e engenharia genética e o processo busca modificar as leveduras, fungos e bactérias durante a fermentação (WASCHULIN e SPECHT, 2018). Os produtos acelulares são feitos de moléculas orgânicas, proteínas e gorduras. Eles não contém material celular ou vivo no produto final (NEW HARVEST, 2020). São obtidos em processos semelhantes à fermentação, como, como no caso dos vinhos e queijos. A produção é realizada em fermentadores, as células são "colhidas" e a caseína e a albumina são concentradas ou purificadas.

“A agricultura celular é uma tecnologia importante e talvez revolucionária que pode permitir que os humanos produzam mais alimentos em menos terra do que nunca” (MATTICK, 2018). Produtos como leite, ovos, queijos e demais laticínios, são um componente importante na dieta global da população. As associações culturais e pessoais criam barreiras no consumo

destes produtos (PAKSERESHT *et al.*, 2022; ALEXANDER, 2017). Neste sentido, o enfoque do próximo tópico está centrado nos aspectos relacionados ao comportamento futuro e a aceitação de alimentos derivados da Biologia Sintética.

2.3 CONSUMIDOR E ALIMENTOS DERIVADOS DA BIOLOGIA SINTÉTICA

Os alimentos derivados da biologia sintética ainda não estão disponíveis para os consumidores a nível global. Para compreender se estes alimentos serão aceitos pelos consumidores é importante basear-se em evidências empíricas. A aceitação é determinante para o sucesso desta nova indústria (BAUER e BOGNER, 2020; SAAVOSS, 2019). O contexto em que se encontram os alimentos derivados da biologia sintética é de pré-mercado. Neste contexto, pesquisas com futuros consumidores de carnes sintéticas já foram feitas. O estudo de Bryant e Barnett (2018) concentrou-se somente em carnes baseadas em células. O resultado deste estudo demonstrou que houve uma aceitação e uma predisposição, por grande parte dos consumidores, em experimentar o produto.

Outras pesquisas comprovam que os consumidores estão mais propensos a aceitar esta tecnologia quando recebem informações sobre os potenciais benefícios que se pode ter sobre o meio ambiente, a saúde pública e a segurança alimentar (VERBEKE, SANS E VAN LOO, 2015). As principais aversões em relação ao produto centram-se em aspectos nutritivos, aparência, gosto, textura e custo. No entanto, os estudos baseados em aceitação do consumidor são muito incipientes. Apenas três estudos trouxeram contribuições significativas sobre esta temática: Hocquette *et al.* (2015), Wilks e Phillips (2017) e Slade (2018). Salienta-se, que não existe uma consonância entre os estudos sobre o comportamento dos consumidores.

Tendo em vista que outras tecnologias semelhantes já sofreram rejeição por parte dos consumidores, este assunto tem recebido um interesse significativo. Os estudos neste contexto buscam compreender o consumidor para que haja aceitação por parte do mesmo. Há quem diga que a aceitação do consumidor será a principal barreira da carne sintética (SHARMA, THIND e KAUR, 2015).

É possível que, à medida que o produto se aproxima da comercialização, a percepção e a confiança do consumidor mudem. Com uma maior familiaridade, visibilidade, regulações, disponibilidade comercial e possibilidade de experimentar a carne sintética, ocorre a aceitação do consumidor (PORTO e BERTI, 2022). Estudos longitudinais serão vitais para compreender no futuro a inserção desta tecnologia no sistema alimentar (BRYANT BARNETT, 2018).

Os estudos longitudinais serão significativos, pois as demandas dos consumidores são complexas. Inúmeros fatores, extrínsecos ou intrínsecos, influenciam na decisão de compra do consumidor (GRUNERT *et al.*, 2014). Na compra de alimentos derivados da biologia sintética os fatores intrínsecos podem estar relacionados com a cor da carne, o teor de gordura e aspectos sensoriais. Os fatores extrínsecos podem estar relacionados à origem do produto, a forma de produção (laboratório), saúde e bem-estar animal (BONNY *et al.*, 2014). Apesar das possíveis preocupações com os fatores extrínsecos, os estudos de Hocquette *et al.* (2015) não identificaram uma relação entre a preocupação com o bem-estar e a aceitação da carne sintética.

Para que os alimentos derivados da biologia sintética não sejam percebidos com algo estarrecedor, é importante que haja uma educação pública sobre a temática em questão (PORTO e BERTI, 2022). Pesquisadores e indivíduos envolvidos no desenvolvimento, pesquisas e processos dos alimentos derivados da biologia sintética, também, podem trazer importantes esclarecimentos para a sociedade (KAHAN, 2020).

Outra forma, de aproximar os consumidores e fazer com que os mesmos tenham uma aceitação perante aos alimentos derivados da biologia sintética, é divulgar produtos comuns ao nosso dia-a-dia que já utilizam a tecnologia celular (MALEK *et al.*, 2019). Alguns destes produtos incluem, alimentos fermentados (iogurte e cerveja) e a insulina (utilizada por diabéticos, que anteriormente, era derivada de porcos) (JACOBS, 2019).

Esse processo deve ir acontecendo aos poucos, a população mundial está, aparentemente receptiva e tem interesse nos alimentos conforme a tecnologia amadurece (BRYANT *et al.*, 2020; LOPES, 2020). Possivelmente, ao nos familiarizarmos com estas tecnologias, estas serão parte do nosso cotidiano (FAUSTMAN *et al.*, 2020). Em dezembro de 2020, a carne cultivada foi aprovada e oferecida ao público pela primeira vez em um restaurante na cidade de Singapura (BRYANT e SANCTORUM, 2021).

2.4 LEGISLAÇÕES RELACIONADAS A ALIMENTOS DERIVADOS DA BIOLOGIA SINTÉTICA

Os consumidores aguardam quais serão os direcionamentos e regulamentações que nortearão a produção de carne sintética (VERBEKE, MARCU *et al.*, 2015; O'KEEFE *et al.*, 2016). Dentre as expectativas dos consumidores estão, transparência nos processos, na rotulagem, no *marketing* e no fornecimento de informações. A preocupação reside em se saber o que está se comendo (VERBEKE, MARCU *et al.*, 2015). A questão ética também faz parte destes direcionamentos, especialmente, quando relacionada a origem dos materiais que irão gerar o tecido (alimentos).

Finalmente, os Estados Unidos emitiram, em 2018, uma declaração sobre a regulamentação dos produtos de carne da agricultura celular (Departamento de Saúde e Serviços Humanos dos EUA, 2018). O Food and Drug Administration (FDA) é uma agência federal do Departamento de Saúde e Serviços Humanos dos Estados Unidos, um dos departamentos executivos federais dos Estados Unidos. Este será o órgão que irá supervisionar a coleta de células, o banco e o crescimento destas células. Além disso, a produção e rotulagem dos produtos alimentícios da agricultura celular também serão fiscalizados. A FDA normalmente requer a aprovação pré-comercialização de ingredientes alimentícios, a menos que sejam geralmente reconhecidos como seguros (GRAS) (WASCHULIN, 2018).

Outro marco, na incipiente legislação, relacionada a produtos sintéticos, ocorreu em maio de 2018, no estado do Missouri. Foi aprovada uma lei, que proíbe as empresas de utilizar a palavra “carne”, ou qualquer termo derivado de carne, para descrever os alimentos derivados da biologia sintética. Esta lei entrou em vigor em 28 de agosto de 2018. É importante, que se tenha cuidado para não marginalizar os alimentos derivados da biologia sintética, como ocorreu com os transgênicos. As carnes sintéticas, ao serem examinadas por um microscópio, são semelhantes às carnes convencionais, pois a composição é a mesma.

No final de 2020, a Eat Just, Inc. recebeu aprovação para que sua carne de frango à base de células fosse vendida em Cingapura (ARAVINDAN e GEDDIE, 2020). Essa aprovação representa a primeira concedida mundialmente à carne cultivada. No entanto, ADBS têm enfrentado ceticismo e resistência devido a consequências de saúde difíceis de prever, mesmo na ausência de evidências conclusivas (SANTIS *et al.*, 2018).

Na Europa, os alimentos produzidos a partir de culturas de tecidos derivados de animais, são abrangidos pelo “Regulamento de Novos Alimentos da União Europeia” (Fortuna, 2021), no entanto a carne cultivada exige uma autorização de pré-comercialização, assim como a aprovação da Autoridade Europeia para a Segurança dos Alimentos (EFSA). No entanto, segundo a GFI (2022), no caso de ocorrer a aplicação de engenharia genética na produção de carne cultivada, poderá ser utilizado o Regulamento (CE) 1829/2003 (Parlamento Europeu, 2003) sobre alimentos e rações geneticamente modificados (GFI, 2022).

Apesar da contribuição dos alimentos derivados da biologia sintética, prevista para combater vários desafios globais, há incerteza sobre os potenciais impactos, riscos e benefícios. A tecnologia do Blockchain pode contribuir de forma substancial para o controle e fiscalização desta tecnologia. A mesma poderia rastrear todas as informações desde a produção até a distribuição para o consumidor final dos produtos da agricultura celular. A aplicação desta

tecnologia e de outras formas de regulação pode contribuir na construção de confiança do consumidor (LAESTADIUS e CALDWELL, 2015).

Este acompanhamento poderia contribuir para a formulação de políticas e governança de tecnologia, diminuindo potencialmente a incerteza (DOREN E HEYEN, 2014). Neste contexto, esta ciência está diretamente relacionada com questões relativas à segurança e à ética. Acredita-se, que as abordagens participativas são necessárias para criar um contexto legítimo para o desenvolvimento tecnológico (SCHMIDT *et al.* 2009).

É importante que os reguladores alinhem às expectativas aos produtores de alimentos derivados da biologia sintética. Como as proteínas animais da agricultura celular são as mesmas nos produtos de origem animal é possível que a regulação seja semelhante à aplicada à segurança de alimentos (WASCHULIN, 2018).

Uma analogia a construção de novas tecnologias são os carros, eles foram criados e após se pensou como incluir a segurança desta tecnologia. Então, foram criados os cintos de segurança, as sinaleiras e os Airbags, coisas que irão proteger. Com as tecnologias que temos disponíveis para fazer a Biologia sintética acontecer, como o CRISPR, é possível fazer inovações, sejam elas para o bem ou para o mal.

Nesta perspectiva, é preciso que tenhamos “filtros” evitando de ir de um extremo ao outro. Para isso, é necessário que algumas entidades, incluindo, ONU (Organização das Nações Unidas), guie a humanidade para aspectos mais éticos e morais, que já estão emergindo.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Estudos recentes têm enfatizado a urgência da transformação do sistema alimentar para aumentar a disponibilidade, acessibilidade, e conveniência de alimentos (FAO, 2023; WEBB *et al.*, 2020). A futura transformação do sistema alimentar deve ocorrer no contexto global devido em grande parte à expansão urbana, que provavelmente será agravada pelas mudanças climáticas. Portanto, não otimizar a produção do agronegócio atual para acompanhar o aumento populacional não será viável à luz das reduções de emissões e impactos ambientais que serão necessários ser diminuídos (HELMY *et al.*, 2020).

Neste contexto, os alimentos oriundos da biologia sintética podem ser fontes alternativas de alimentos e fornecer um sistema de produção de alimentos inovador (CHRIKI e HOCQUETTE, 2020). Compreender o potencial transformador desta tecnologia é oportuno, tendo em vista que a mesma se encontra em estágio inicial de desenvolvimento. Sendo assim, este estudo foi desenvolvido com o propósito de compreender quais as dimensões para a produção de alimentos derivados da biologia sintética e o papel da convergência tecnológica.

Além disso, tem-se como objetivos específicos, I. Compreender como ocorre a emergência de um Ecosistema de Empreendedorismo de alimentos derivados da Biologia Sintética; II. Identificar qual o papel da convergência tecnológica para o desenvolvimento da tecnologia alimentos derivados da biologia sintética; III. Elaborar um framework das dimensões para a produção de alimentos derivados da Biologia. Estes objetivos específicos foram divididos em três artigos com o intuito de alcançar o objetivo central desta pesquisa.

No primeiro artigo, intitulado “The Science puts the Table: Emergence of an Entrepreneurship Ecosystem of Food Derived from Synthetic Biology”, o objetivo foi Compreender como ocorre a emergência de um Ecosistema de Empreendedorismo de alimentos derivados da Biologia Sintética. Para tal, foi proposto e desenvolvido um método para mapear, analisar e projetar ecossistemas de empreendedorismo emergente para as ADBS. Os dados demonstram que o desenvolvimento de um ecossistema de empreendedorismo depende inicialmente do mapeamento de seus atores da quádrupla hélice (academia, sociedade, governo e empresas) e do estímulo ao engajamento e colaboração entre eles por meio de processos de cocriação.

Além disso, o EE das *startups* de ADBS podem ser vistos como grandes sistemas, constituídos de diversos sistemas menores e compostos por múltiplos atores. Logo, tais ambientes resultam da união de perspectivas culturais, redes sociais, capital de investimento, universidades e políticas (SPIGEL, 2017). As evidências deste estudo indicam que a

emergência de um ecossistema é um processo gradual, pautado por uma transformação social e cultural. O Ecossistema de Empreendedorismo das *startups* de ADBS ainda apresenta oportunidades de melhoria, tendo em vista que o EE considera todos os atores como elementos igualmente importantes.

No segundo artigo, intitulado: “Convergência tecnológica na indústria de alimentos bio sintéticos: uma análise baseada no mapeamento do ambiente”, o propósito foi identificar qual o papel da convergência tecnológica para o desenvolvimento da tecnologia de alimentos derivados da biologia sintética. Os resultados obtidos demonstram que a convergência tecnológica caracteriza o avanço do conhecimento e da inovação.

No contexto dos ADBS a convergência tecnológica não tem sido amplamente explorada. No entanto, compreende-se que a CT da BS para a produção de ADBS é fundamental para o desenvolvimento do sistema de produção de alimentos. Os dados demonstram que a aplicação da CT para ADBS é uma realidade em progresso tecnológico e demonstra ser relevante para o desenvolvimento de alimentos. As principais tecnologias, que foram identificadas por meio do mapeamento de ambiente, como convergentes no desenvolvimento dos ADBS, incluem: aprendizado de máquina, inteligência artificial, engenharias aplicadas à biologia e bioinformática.

Por fim, no terceiro artigo, intitulado: “Dimensões para a produção de Alimentos Derivados da Biologia Sintética”, foi proposto e desenvolvido um framework das dimensões para a produção de ADBS. Reunimos os insights gerados pelo primeiro e o segundo artigo para propor as dimensões para produção dos ADBS, considerando o EE como plano de fundo para análise e desenvolvimento do *framework*.

Identificamos três principais dimensões para a produção de ADBS, sendo elas, Cultura, Aspectos sócio-técnicos do mercado e Estratégia. Após, classificamos estas dimensões em quatro fases: início, lançamento, crescimento e maturidade. E acrescentamos a esse modelo a que as dimensões, não necessariamente, irão para cada fase seguinte. Dadas as complexidades, dinâmicas e conflitos naturais existentes entre, as dimensões podem regredir para uma das fases precedentes sem ter completado todo o roteiro do modelo proposto.

Os ADBS denotam um viés de transformação no sistema agroalimentar, trazendo consigo um panorama de complexidade, ambíguo e multifacetado. Os resultados deste estudo demonstram o interesse dos pesquisadores em relação à temática ao longo dos últimos anos que vem explorando os seus enfoques predominantes no âmbito acadêmico. Dentre estes enfoques estão a viabilidade técnica e econômica, mas não existe um consenso de quando estes alimentos estarão no mercado à nível global.

A temática demonstra-se ainda prematura e precisa ser desenvolvida. Nosso estudo aborda algumas dessas preocupações e destaca a importância oportuna de transformar o campo dos ADBS. Pela ótica da multidisciplinaridade, com a integração da biologia sintética e outras tecnologias (convergência tecnológica) podem ser gerados alimentos de alta tecnologia e baixo custo. Outro achado, foi que a introdução destes alimentos nas “prateleiras”, depende de questões sociais, culturais e de mercado. Isso inclui a necessidade de apoio de fontes de financiamento e apoio público. Além disso, os consumidores terão um papel importante para que os ADBS sejam bem-sucedidos e aceitas no futuro.

As contribuições deste estudo à ciência do agronegócio estão implícitas ao longo desta tese, uma vez que são explorados fenômenos complexos e com caráter multidisciplinar. Dentre as principais contribuições para o setor agroalimentar está a mitigar os desafios relacionados à segurança alimentar, através do desenvolvimento de fontes alternativas de alimentos. Além disso, destaca-se a análise de uma inovação relacionada à uma tecnologia emergente orientada à uma abordagem para o futuro da alimentação. Especialmente, relacionado ao agronegócio do futuro, cadeias e sistemas produtivos de alimentos.

Apesar de sua contribuição, esta tese possui algumas limitações. Há inúmeras oportunidades para a realização de estudos quantitativos e qualitativos. Sugerimos novos estudos empíricos, com dados primários em relação ao artigo um e dois. Referente ao artigo três, é recomendado que sejam feitos estudos que busquem validar o framework para validar as dimensões propostas neste estudo. Além disso, pode verificar quais são os recursos relacionais estratégicos, pode fortalecer seus recursos, para obter vantagens competitivas sustentáveis.

Recomenda-se que, deve-se estender a aplicação do método de mapeamento de ecossistemas de empreendedorismo emergente (aplicado no artigo um) e ampliar a análise de atores e recursos em ecossistemas de inovação para outros contextos. Em estudos futuros, no artigo um, seria oportuno analisar além do número (quantidade) das *startups* por país de ADBS, a qualidade e o estágio em que cada uma delas se encontra.

Referente ao artigo dois, a operacionalização não levou em consideração os códigos de patentes para identificar se uma tecnologia é convergente (CAVIGGIOLI, 2016). Sugere-se estudos futuros que busquem identificar as tecnologias que convergem com a BS para a produção de alimentos, com uma metodologia específica para tal. Recomenda-se uma análise patenteométrica, destacando o cenário atual de patentes, determinando organizações prolíficas e localizações geográficas ativas na área e identificando as perspectivas gerais para o campo

No artigo três, estudos futuros que podem ajudar na validação das dimensões/modelo proposto. Seria valioso verificar na prática a validade das três dimensões que elencamos neste

artigo e posteriormente quatro fases propostas. Estudos quantitativos e qualitativos podem ser realizados para validar nossas proposições. Além disso, a estrutura proposta poderia apoiar estratégias para envolver a sociedade civil em ações para desenvolver *Startups* de ADBS.

Ademais, sugere-se uma abordagem integrativa para a compreensão de fenômenos complexos e dotados de dubiedades, sobretudo quando são levadas em considerações implicações sob o enfoque da ética e da moralidade. Reitera-se que os ADBS, enquanto temática de estudo, ainda carece de exploração em todas as áreas de conhecimento, é um campo fértil para pesquisas.

REFERÊNCIAS

ACS, Z. J. *et al.* The lineages of the entrepreneurial ecosystem approach. **Small Business Economics**, Cham, v. 49, n. 1, p. 1-10, 2017.

ADAY, Serpil; ADAY, Mehmet Seckin. Impact of COVID-19 on the food supply chain. **Food Quality and Safety**, Harlow, v. 4, n. 4, p. 167-180, 2020.

ALEXANDER, Richard. **The biology of moral systems**. Abingdon: Routledge, 2017.

ALVARES, N. S, *et al.* A Gestão Contemporânea no Setor Público: um Estudo de Caso do Novo Modelo de Gestão do IBGE. *In: Simpósio de excelência e gestão em tecnologia*, 9., 2012, Resende. **Anais [...]**. Resende: Associação Educacional Dom Bosco, 2012.

AMIN L. *et al.* Ethical perception of synthetic biology. **African Journal of Biotechnology**, Makhanda, v. 10, n. 58, p. 12469-12480, 2011.

ANDERS, Carolin; JINEK, Martin. In vitro enzymology of Cas9. **Methods in enzymology**, New York, v. 546, p. 1-20, 2014.

ANDERSON, Jo; BRYANT, Chris. Messages to overcome naturalness concerns in clean meat acceptance: primary findings. **Faunalytics**: Olympia, WA, USA, 2018.

ANDRIANANTOANDRO, Ernesto *et al.* Synthetic biology: new engineering rules for an emerging discipline. **Molecular systems biology**, London, v. 2, n. 1, [art.] 2006.0028, p. 1-14, 2006.

ARNALL, Alexander Huw. **Future technologies, Today's Choices: Nanotechnology, Artificial Intelligence and Robotics; a Technical, Political and Institutional Map of Emerging Technologies**. London: Greenpeace Environmental Trust, 2003.

ATHREYE, Suma; KEEBLE, David. Technological convergence, globalisation and ownership in the UK computer industry. **Technovation**, Amsterdam, v. 20, n. 5, p. 227-245, 2000.

ARUN, K. G. *et al.* New horizons for fundamental physics with LISA. **Living Reviews in Relativity**, Potsdam, v. 25, n. 4, p. 1-148, 2022.

AUDRETSCH, Fabio B.; BELITSKI, Maksim. Entrepreneurial ecosystems in cities: establishing the framework conditions. **Journal of Technology Transfer**, Indianapolis, v. 42, n. 5, p. 1030-1051, 2017.

ÁVILA, D. Empreendedorismo e desenvolvimento local: o propósito de uma intervenção educativa em rede. Tese (Mestrado) — Universidade de Coimbra, Coimbra, 2015.

BAILONE, Ricardo Lacava *et al.* Inovação tecnológica no setor produtivo da carne: in vitro, a carne do futuro. **RISUS — Journal on Innovation and Sustainability**, São Paulo, v. 10, n. 4, p. 116-125, nov./dez., 2019.

- BARNEY, Jay. Firm resources and sustained competitive advantage. **Journal of Management**, Greenwich, v. 17, n. 1, p. 99-120, 1991.
- BASTOS, Apa. Inovação no setor de carnes: carne cultivada é o futuro?. *In: SIMPÓSIO BRASIL SUL DE AVICULTURA*, 23., 2023, Concórdia, SC. **Anais [...]**. Concórdia, SC: Embrapa Suínos e Aves, 2023. p. 10-14.
- BATALHA, Mo da Silva. **Gestão Agroindustrial**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2007.
- BATTARD, Nicolas. Convergence and multidisciplinary in nanotechnology: Laboratories as technological hubs. **Technovation**, Amsterdam, v. 32, n. 3-4, p. 234-244, 2012.
- BAUM, C. M.; BRÖRING, S.; LAGERKVIST, C. J. Information, attitudes, and consumer evaluations of cultivated meat. **Food Quality and Preference**, Harlow, v. 92, n. 6, [art.] 104226, p. 1-14, 2021.
- BAUM, Lawrence. **The supreme court**. Washington, D. C.: CQ press, 2021.
- BELHAJ, Khaoula *et al.* Plant genome editing made easy: targeted mutagenesis in model and crop plants using the CRISPR/Cas system. **Plant methods**, London, v. 9, n. 39, p. 1-10, 2013.
- BERGMAN, Manfred Max (ed.). **Advances in Mixed Method Research: theories and applications**. Los Angeles: SAGE, 2008.
- BHAT, Zuhaib Fayaz; FAYAZ, Hina. Prospectus of cultured meat: advancing meat alternatives. **Journal of food science and technology**, Oxford, v. 48, n. 2, p. 125-140, 2011.
- BODIRSKY, Manuel; PINSKER, Michael. Schaefer's theorem for graphs. **Journal of the ACM (JACM)**, New York, v. 62, n. 3, p. 19, 2015.
- BONNY, Giovanni; GRIGOREV, Petr; TEREPTYEV, Dmitry. On the binding of nanometric hydrogen: helium clusters in tungsten. **Journal of Physics: condensed Matter**, Bristol, v. 26, n. 48, [art.] 485001, p. 1-9, 2014.
- BONNY, Sylvie. Corporate concentration and technological change in the global seed industry. **Sustainability**, Basel, Switzerland, v. 9, n. 9, [art.] 1632, p. 1-25, 2017.
- BORÉS, Cristina; SAURINA, Carme; TORRES, Ricard. Technological convergence: a strategic perspective. **Technovation**, Amsterdam, v. 23, n. 1, p. 1-13, 2003.
- BRAZIL, Endeavor. Index of entrepreneurial cities. **Endeavor Brazil**, 2017.
- BREITZMAN, Anthony; THOMAS, Patrick. The emerging clusters model: A tool for identifying emerging technologies across multiple patent systems. **Research policy**, Amsterdam, v. 44, n. 1, p. 195-205, 2015.
- BRESNAHAN, Timothy; GAMBARDELLA, Afonso; SAXENIAN, Anna Lee. Inputs from the "old economy" to the "new economy": clustering in the new Silicon Valleys. **Industrial and Corporate Change**, Oxford, v. 10, n. 4, p. 835-860, 2001.

BRYANT, Christopher *et al.* A survey of consumer perceptions of plant-based and clean meat in the USA, India, and China. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, Lausanne, v. 3, p. 11, 2019.

BRYANT, Christopher; BARNETT, Julie. Consumer acceptance of cultured meat: a systematic review. **Meat Science**, Oxford, v. 143, p. 8-17, 2018.

BRYANT, Christopher; SANCTORUM, Hermes. Alternative proteins, evolving attitudes: Comparing consumer attitudes to plant-based and cultured meat in Belgium in two consecutive years. **Appetite**, London, v. 161, [art.] 105161, p. 1-11, 2021.

BUTLER, John M.; HILL, CAROLYN R. Biology and genetics of new autosomal STR loci useful for forensic DNA analysis. **Forensic science review**, Taipei, v. 24, n. 1, p. 15-26, 2012.

CALLON, M. **The laws of the markets**. London: Blackwell Publishers, 1998.

CAMERON, D. Ewen; BASHOR, Caleb J.; COLLINS, James J. A brief history of synthetic biology. **Nature Reviews Microbiology**, London, v. 12, n. 5, p. 381, 2014.

CARRILLO, F. J. Knowledge-based development as a new economic culture. **Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity**, Basel, v. 1, n. 15, p. 1-17, 2015.

CAVALHEIRO, Esper A. A nova convergência da ciência e da tecnologia. **Novos estudos CEBRAP**, São Paulo, n. 78, p. 23-30, 2007.

CAVALLO, Angelo; GHEZZI, Anthony; BALOCCO, Raffaello. Research of the entrepreneurial ecosystem: present debates and future directions. **International Journal of Entrepreneurship and Management**, Cham, v. 15, n. 4, p. 1291-1321, 2018.

CAVIGGIOLI, Federico. Technology fusion: Identification and analysis of the drivers of technology convergence using patent data. **Technovation**, Amsterdam, v. 55, p. 22-32, 2016.

CHAN, Jennifer A.; KRICHEVSKY, Anna M.; KOSIK, Kenneth S. MicroRNA-21 is an antiapoptotic factor in human glioblastoma cells. **Cancer research**, New South Wales, v. 65, n. 14, p. 6029-6033, 2005.

CHEN, C. *et al.* Condition or long COVID: a meta-analysis and systematic review. **The Journal of infectious diseases**, Chicago, v. 226, n. 9, p. 1593-1607, 2022.

CHENG, W.; LEE, S. How green are the national hydrogen strategies? **Sustainability**, Basel, Switzerland, v. 14, n. 3, [art.] 1930, p. 1-33, 2022.

CHEUK, W.; CHAN, J. K. C. Advances in salivary gland pathology. **Histopathology**, Oxford, v. 51, n. 1, p. 1-20, 2007.

CHIARABELLI, Cristiano; STANO, Pasquale; LUISI, Pier Luigi. Chemical synthetic biology: a mini-review. **Frontiers in microbiology**, Lausanne, v. 4, p. 285, 2013.

CURRAN, Clive-Steven; LEKER, Jens. Patent indicators for monitoring convergence—examples from NFF and ICT. **Technological Forecasting and Social Change**, New York, v. 78, n. 2, p. 256-273, 2011.

DAIM, Tugrul U.; KARVONEN, Matti; KÄSSI, Tuomo. Patent analysis for analysing technological convergence. **Foresight**, Bradford, v. 13, n. 5, p. 34-50, 2011.

OLIVEIRA JÚNIOR, Moacir de Miranda; CAHEN, Fernanda Ribeiro; BORINI, Felipe Mendes. **Startups and Innovation Ecosystems in Emerging Markets**. Cham: Palgrave Macmillan, 2019.

DIAMANDIS, Peter H.; KOTLER, Steven. **The future is faster than you think: how converging technologies are transforming businesses, industries, and our lives**. New York: Simon & Schuster, 2020.

DILWORTH, Tasmin; MCGREGOR, Andrew. Moral steaks? Ethical discourses of in vitro meat in academia and Australia. **Journal of Agricultural and Environmental Ethics**, Dordrecht, v. 28, n. 1, p. 85-107, 2015.

DIXON, Thom. Mapping the potential impact of synthetic biology on Australian foreign policy. **Australian Journal of International Affairs**, Sidney, v. 73, n. 3, p. 270-288, 2019.

DREIER, Birgit *et al.* Development of zinc finger domains for recognition of the 5'-ANN-3' family of DNA sequences and their use in the construction of artificial transcription factors. **Journal of Biological Chemistry**, Baltimore, v. 276, n. 31, p. 29466-29478, 2001.

EHRENHARD, M. *et al.* Unlocking how start-ups create business value with mobile applications: Development of an App-enabled Business Innovation Cycle. **Technological forecasting and social change**, New York, v. 115, p. 26-36, 2017.

ELOWITZ, Michael B.; LEIBLER, Stanislas. A synthetic oscillatory network of transcriptional regulators. **Nature**, London, v. 403, n. 6767, p. 335–338, 2000.

ENDY, Drew. Foundations for engineering biology. **Nature**, London, v. 438, n. 7067, p. 449-453, 2005.

ERICKSON, B.; SINGH, R.; WINTERS, P. Synthetic Biology: Regulating Industry Uses of New Biotechnologies. **Science**, Washington, D. C., v. 333, n. 6047, p. 1254-1256, 2011.

EUROPEAN COMMISSION. **Protecting and restoring the world's forests: stepping up action to halt deforestation and forest degradation**. Brussels: European Commission, 2019.

EUROPEAN COMMUNITIES; NORDMANN, Alfred. **Converging technologies: Shaping the future of European societies**. Luxembourg: Publications Office, 2004.

FAI, Felicia; VON TUNZELMANN, Nicholas. Industry-specific competencies and converging technological systems: evidence from patents. **Structural change and economic dynamics**, Oxford, v. 12, n. 2, p. 141-170, 2001.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). **The State of Food and Agriculture**. Rome: Electronic Publishing Policy and Support Branch, 2018.

FAO, Gossa Dare *et al.* Unraveling the effects of P and S doping over g-C₃N₄ in strengthening Lewis basicity for CO₂/glycerol conversion: a theoretical and experimental study. [S. l.: s. n.], 2023. Preprint.

FAO Remote Sensing Survey reveals. **Tropical rainforest under pressure as agricultural expansion drives global deforestation**. Disponível em: www.fao.org/forest-resources-assessment/remote-sensing/fra-2020-remote-sensingsurv. Acesso em: 28 Mar. 2022.

FAUSTMAN, Cameron *et al.* Cell-based meat: the need to assess holistically. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 98, n. 8, p. skaa177, 2020.

FINCH, John; GEIGER, Susi. Positioning and relating: Market boundaries and the slippery identity of the marketing object. **Marketing Theory**, Thousand Oaks, v. 10, n. 3, p. 237-251, 2010.

FLAIG, Alexander; KINDSTRÖM, Daniel; OTTOSSON, Mikael. Market-shaping strategies: a conceptual framework for generating market outcomes. **Industrial Marketing Management**, New York, v. 96, p. 254-266, 2021.

FRIES, Gabriel R. *et al.* Revisiting inflammation in bipolar disorder. **Pharmacology Biochemistry and Behavior**, New York, v. 177, p. 12-19, 2019.

FUNARO, Decio. **Análise de redes sociais em comunidades científicas**. Tese (Doutorado em Ciência da Informação) — Programa de Pós-Graduação em Ciência da Informação, Universidade de São Paulo, 2015.

GAJ, Thomas; GERSBACH, Charles A.; BARBAS III, Carlos F. ZFN, TALEN, and CRISPR/ Cas-based methods for genome engineering. **Trends in biotechnology**, Amsterdam, v. 31, n. 7, p. 397-405, 2013.

GAMBARDELLA, Alfonso; TORRISI, Salvatore. Does technological convergence imply convergence in markets? Evidence from the electronics industry. **Research policy**, Amsterdam, v. 27, n. 5, p. 445-463, 1998.

GEUM, Youngjung *et al.* Technological convergence of IT and BT: Evidence from patent analysis. **Etri Journal**, Taejon, v. 34, n. 3, p. 439-449, 2012.

GFI — The Good Food Institute. **Growing Meat Sustainably: the Cultivated Meat Revolution**. The Good Food Institute, Washington, D. C, Jan. 2021, p. 1–4, 2018. Disponível em: https://www.gfi.org/files/sustainability_cultivated_meat.pdf. Acesso em: 28 Mar. 2022.

GFI — The Good Food Institute. **The science of cultivated meat**. The Good Food Institute, Washington, D. C, 2020. Disponível em: <https://gfi.org/science/the-science-of-cultivated-meat/>. Acesso em: 28 Mar. 2022.

GFI — The Good Food Institute. **Cultivated meat and seafood**. Washington, D. C: The Good Food Institute, 2021. Disponível em: <https://gfi.org/wp-content/uploads/2022/04/2021-Cultivated-Meat-State-of-the-Industry-Report-1.pdf>. Acesso em: 28 Mar. 2022.

GODFRAY, H. Charles J. *et al.* Food security: the challenge of feeding 9 billion people. **Science**, Washington, D. C., v. 327, n. 5967, p. 812-818, 2010.

GREER M.; Martinez M.; SEGUEL B. J. Complex Adaptive Systems Drive Innovations in Synthetic Biology. **Procedia Computer Science**, Amsterdam, v. 20, p. 385-390, 2013.

GRUNERT, Klaus G.; HIEKE, Sophie; WILLS, Josephine. Sustainability labels on food products: consumer motivation, understanding and use. **Food Policy**, Guildford, v. 44, p. 177-189, 2014.

GU, Yuxiang; LI, Xing; CHAN, Eric Chun Yong. Risk assessment of cultured meat. **Trends in Food Science & Technology**, Cambridge, v. 138, p. 491-499, 2023.

GULATI, Ranjay. Alliances and networks. **Strategic Management Journal**, Chichester, v. 19, n. 4, p. 293-317, 1998.

HACKLIN, Fredrik. **Management of convergence in innovation: strategies and capabilities for value creation beyond blurring industry boundaries**. Berlim: Springer Science & Business Media, 2007.

HADIDI, Milad *et al.* Emerging plant proteins as nanocarriers of bioactive compounds. **Journal of Controlled Release**, Amsterdam, v. 355, p. 327-342, 2023.

HADIDI, Milad *et al.* Plant protein-based food packaging films; recent advances in fabrication, characterization, and applications. **Trends in Food Science & Technology**, Cambridge, v. 120, p. 154-173, 2022.

HAIR, J. F. *et al.* **Análise Multivariada de Dados**. 6. ed. São Paulo: Bookman, 2009.

HAIR, J. F. *et al.* **Fundamentals of research methods in management**. Porto Alegre: Bookman, 2005.

HALLMAN, William K. An empirical assessment of common or usual names to label cell-based seafood products. **Journal of food science**, Malden, v. 85, n. 8, p. 2267-2277, 2020.

HAMADA, Yuta; NOUMI, Toshifumi; SHIU, Gary. Weak gravity conjecture from unitarity and causality. **Physical Review Letters**, New York, v. 123, n. 5, [art.] 051601, p. 1-6, 2019.

HAMADA, Yuuta. **Device, system, and method of processing log data and recording medium that stores the log data processing program**. U.S. Patent Application, 2019.

HANNEMAN, Robert A.; KPOSOWA, Augustine J.; RIDDLE, Mark D. **Basic statistics for social research**. Hoboken: John Wiley & Sons, 2012.

HEFFERNAN C.; MISTURELLI F. **The Delivery of Veterinary Services to the Poor: preliminary findings from Kenya Report for DFID's (Department for International**

Development) Animal Health Programme (AHP). Reading: The University of Reading, 2000.

HEINEMANN, Matthias; PANKE, Sven. Synthetic biology putting engineering into biology. **Bioinformatics**, Oxford, v. 22, n. 22, p. 2790-2799, 2006.

HOBOM, Gerd; LUSKY, Monika. Origin and inceptor of DNA replication in bacteriophage lambda. *In: Mechanistic Studies of DNA Replication and Recombination. ICN Symposium. 19.*, 1980. Keystone, USA. **Anais** [...]. Keystone, USA: Academic Press, 1980.

HOCQUETTE, Jean-François. Is in vitro meat the solution for the future?. **Meat science**, Oxford, v. 120, p. 167-176, 2016.

HOFFMAN, W. Raymond Lindeman, a Bog Lake, and the Birth of Ecosystems Ecology. *In: AMATO, A. (ed.). Conserving Conservation: the Center for Western Studies.* Sioux Falls: Augustana College, 2016.

HOGAN, Daniel J. *et al.* Diverse RNA-binding proteins interact with functionally related sets of RNAs, suggesting an extensive regulatory system. **PLoS biology**, San Francisco, v. 6, n. 10, p. 2297-2313, 2008.

HWANG, Woong Y. *et al.* Efficient genome editing in zebrafish using a CRISPR-Cas system. **Nature biotechnology**, New York, v. 31, n. 3, p. 227, 2013.

ISENBERG, Daniel. **Worthless, impossible, and stupid:** how contrarian entrepreneurs create and capture extraordinary value. Massachusetts: Harvard Business Review, 2013.

JACOBS, Francis; CORBETT, Richard. **The European Parliament.** Abingdon: Routledge, 2019.

JAIRATH, Gauri *et al.* A holistic approach to assess the viability of cultured meat: a review. **Trends in Food Science & Technology**, Cambridge, v. 110, p. 700-710, 2021.

JEONG, Hawoong *et al.* The large-scale organization of metabolic networks. **Nature**, London, v. 407, n. 6804, p. 651-654, 2000.

JINEK, Martin *et al.* RNA-programmed genome editing in human cells. **Elife**, Cambridge, v. 2, [art.] 00471, p. 1-9, 2013.

JU, Xinxin *et al.* How the novel integration of electrolysis in tidal flow constructed wetlands intensifies nutrient removal and odor control. **Bioresource technology**, Barking, v. 169, p. 605-613, 2014.

KADIM, Isam T. *et al.* Cultured meat from muscle stem cells: a review of challenges and prospects. **Journal of Integrative Agriculture**, Beijing, v. 14, n. 2, p. 222-233, 2015.

KADUSHIN, Charles. **Understanding social networks:** Theories, concepts, and findings. Oxford: Oxford University Press, 2012.

KANG, Y. James. Metallothionein redox cycle and function. **Experimental biology and Medicine**, Maywood, v. 231, n. 9, p. 1459-1467, 2006.

KATZ L *et al.* Synthetic biology advances and applications in the biotechnology industry: a perspective. **Society for Industrial Microbiology and Biotechnology**, Berlin, v. 45, n. 7, p. 449-461, 2018.

KEASLING, Jay D. Synthetic biology for synthetic chemistry. **ACS chemical biology**, Washington, D.C., v. 3, n. 1, p. 64-76, 2008.

KIM J.; KIM, S.; LEE, C. Anticipating technological convergence: link prediction using Wikipedia hyperlinks. **Technovation**, Amsterdam, v. 79, n. 1, p. 25-34, 2019.

KIM, Namil *et al.* Dynamic patterns of industry convergence: Evidence from a large amount of unstructured data. **Research Policy**, Amsterdam, v. 44, n. 9, p. 1734-1748, 2015.

KIM, Y.; LEE, D. Technology convergence networks for flexible display application: A comparative analysis of latecomers and leaders. **Japan and the World Economy**, Amsterdam, v. 55, n. 1, [art.] 101025, p. 1-13, 2020.

KIM, Yang-Gyun; CHA, Jooyeun; CHANDRASEGARAN, Srinivasan. Hybrid restriction enzymes: zinc finger fusions to Fok I cleavage domain. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, Washington, D. C., v. 93, n. 3, p. 1156-1160, 1996.

KLEIN, Joe. **Woody Guthrie: A Life: 'A really great book.'** Bruce Springsteen. London: Faber & Faber, 2023.

KSHETRI, N. Developing successful entrepreneurial ecosystems: lessons from a comparison between an Asian tiger and a Baltic tiger. **Baltic Journal of Administration**, Leeds, v. 9, n. 3, p. 330-356, 2014.

KUMAR, Anuj; SOOD, Ankur; HAN, Sung Soo. Technological and structural aspects of scaffold manufacturing for cultured meat: recent advances, challenges, and opportunities. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, Boca Raton, v. 63, n. 5, p. 585-612, 2023.

KWOK, Roberta. Five hard truths for synthetic biology. **Nature News**, London, v. 463, n. 7279, p. 288-290, 2010.

LAESTADIUS, Linnea I.; CALDWELL, Mark A. Is the future of meat palatable? Perceptions of in vitro meat as evidenced by online news comments. **Public Health Nutrition**, Oxford, v. 18, n. 13, p. 2457-2467, 2015.

LEBROUHI, B. E. *et al.* Global hydrogen development-A technological and geopolitical overview. **International Journal of Hydrogen Energy**, Oxford, v. 47, n. 11, p. 7016-7048, 2022.

LEE, Jungpyo; SOHN, So Young. What makes the first forward citation of a patent occur earlier?. **Scientometrics**, Amsterdam, v. 113, n. 1, p. 279-298, 2018.

LINARES, Ian Marques Porto. **Prospecção tecnológica na área de biotecnologia: Uma abordagem baseada em rotas tecnológicas**. Tese (Doutorado em Administração de Organizações) — Programa de Pós-Graduação em Administração de Organizações, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

LIU, Long; CHEN, Jian. Food synthetic biology special issue: editorial introduction: Synthetic biology advances future food production. **Systems Microbiology and Biomanufacturing**, Singapore, v. 3, n. 1, p. 1-1, 2023.

LOEB, Leo. Growth of tissues in culture media and its significance for the analysis of growth phenomena. **The Anatomical Record**, New York, v. 6, n. 3, p. 109-120, 1912.

LONARD, David M.; O'MALLEY, Bert W. Nuclear receptor coregulators: judges, juries, and executioners of cellular regulation. **Molecular cell**, Cambridge, v. 27, n. 5, p. 691-700, 2007.

LONG, Stephen P.; MARSHALL-COLON, Amy; ZHU, Xin-Guang. Meeting the global food demand of the future by engineering crop photosynthesis and yield potential. **Cell**, Cambridge, v. 161, n. 1, p. 56-66, 2015.

LOPES, Guilherme Rodrigues Miranda. **Atitudes do consumidor em relação à carne in vitro como alternativa à carne bovina: uma revisão sistematizada**. 15f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Nutrição) — Universidade de Brasília, Brasília, 2020.

LORENZO, Victor; DANCHIN, Antoine. Synthetic biology: discovering new worlds and new words. **EMBO Reports**, Oxford, v. 9, n. 9, p. 822-827, 2008.

LUPTON, Deborah; TURNER, Bethaney. Food of the Future? Consumer Responses to the Idea of 3D-Printed Meat and Insect-Based Foods. **Food and Foodways**, Chur, v. 26, n. 4, p. 269-289, 2018.

LYNCH, John; PIERREHUMBERT, Raymond. Climate impacts of cultured meat and beef cattle. **Frontiers in sustainable food systems**, Lausanne, v. 3, p. 1-11, 2019.

MACDIARMID, Jennie I.; DOUGLAS, Flora; CAMPBELL, Jonina. Eating like there's no tomorrow: Public awareness of the environmental impact of food and reluctance to eat less meat as part of a sustainable diet. **Appetite**, London, v. 96, p. 487-493, 2016.

MACDONALD, E. *et al.* Yersinia enterocolitica O: 9 infections associated with bagged salad mix in Norway, February to April 2011. **Eurosurveillance**, Saint-Maurice, v. 16, n. 19, [art.] 19866, p. 1-3, 2011.

MALHOTRA, N. K. **Pesquisa de Marketing: uma orientação aplicada**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2012.

MALI, Prashant *et al.* RNA-guided human genome engineering via Cas9. **Science**, Washington, D. C., v. 339, n. 6121, p. 823-826, 2013.

MARCU, Afrodita *et al.* Analogies, metaphors, and wondering about the future: Lay sense-making around synthetic meat. **Public Understanding of Science**, Bristol, v. 24, n. 5, p. 547-562, 2015.

MARIN, Alexandra; WELLMAN, Barry. Social network analysis: an introduction. *In*: Carrington, Peter; SCOTT, John (org.). **The SAGE handbook of social network analysis**. London: Sage, 2011.

MASGORET, A. M.; GARDNER, Robert C. Attitudes, motivation, and second language learning: A meta-analysis of studies conducted by Gardner and associates. **Language learning**, Ann Arbor, v. 53, n. S1, p. 167-210, 2003.

MASKELL, Peter; MALMBERG, Anders. Myopia, knowledge development and cluster evolution. **Journal of Economic Geography**, Oxford, v. 7, n. 5, p. 603-618, 2007.

MATTICK, Carolyn S. *et al.* Anticipatory life cycle analysis of in vitro biomass cultivation for cultured meat production in the United States. **Environmental science and technology**, Easton, v. 49, n. 19, p. 11941-11949, 2015.

MATTICK, John. The state of long non-coding RNA biology. **Non-coding RNA**, Basel, v. 4, n. 3, p. 17, 2018.

MCADAMS, Harley H.; ARKIN, Adam. Gene regulation: Towards a circuit engineering discipline. **Current Biology**, London, v. 10, n. 8, p. 318-320, 2000.

MCADAMS, Harley H.; SHAPIRO, Lucy. Circuit simulation of genetic networks. **Science**, Washington, D. C., v. 269, n. 5224, p. 650-656, 1995.

MIAN, Sarfraz; LAMINE, Wadid; FAYOLLE, Alain. Technology Business Incubation: An overview of the state of knowledge. **Technovation**, Amsterdam, v. 50, p. 1-12, 2016.

MIAO, Jin *et al.* Targeted mutagenesis in rice using CRISPR-Cas system. **Cell research**, Beijing, v. 23, n. 10, p. 1233-1236, 2013.

MITCHELL, James Clyde (ed.). **Social networks in urban situations**: analyses of personal relationships in Central African towns. Manchester: Manchester University Press, 1969.

MIZRUCHI, Mark S. Análise de redes sociais: avanços recentes e controvérsias atuais. **Revista de Administração de Empresas**, São Paulo, v. 46, n. 3, p. 72-86, 2006.

MOE-BEHRENS, Gerd H. G.; DAVIS, Rene; HAYNES, Karmella Ann. Preparing synthetic biology for the world. **Frontiers in microbiology**, Lausanne, v. 4, p. 5, 2013.

MOHORČICH, J.; REESE, Jacy. Cell-cultured meat: Lessons from GMO adoption and resistance. **Appetite**, London, v. 143, [art.] 104408, p. 1-9, 2019.

MORITZ, Jana; TUOMISTO, Hanna L.; RYYNÄNEN, Toni. The transformative innovation potential of cellular agriculture: Political and policy stakeholders' perceptions of cultured meat in Germany. **Journal of Rural Studies**, New York, v. 89, p. 54-65, 2022.

NAKAYA N, HOMMA Y, AND GOTO Y. Cholesterol lowering effect of spirulina. **Nutrition Reports International**, Los Altos, v. 37, n. 6, p. 1329-1337, 1988.

NATURE. **CRISPR: The Good, the Bad, and the Unknown**. London, 2015. Disponível em: <http://www.nature.com/news/crispr-1.17547NCBP>. Acesso em: 28 Mar. 2022.

NATURE. Editorial: Fields of Gold: Research on Transgenic Crops Must be Done Outside Industry if it is to Fulfill its Early Promise. **Nature**, London, v. 497, p. 5-6, 2013.

NATURE. Editorial: How to feed a hungry world. **Nature**, London, v. 466, n. 7306, p. 531-532, 2010.

NAYAK, Dipti D.; METCALF, William W. Cas9-mediated genome editing in the methanogenic archaeon *Methanosarcina acetivorans*. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, Washington, D. C., v. 114, n. 11, p. 2976-2981, 2017.

NENONEN, Suvi; STORBACKA, Kaj. Market-shaping: navigating multiple theoretical perspectives. **AMS Review**, New York, v. 11, n. 3-4, p. 336-353, 2021.

NEW HARVEST. **How Isha's Paper Helped Launch the Cultured Meat Industry**. [S. l.], 2020. Disponível em: <https://new-harvest.org/isha-paper-ten-yearanniversary>. Acesso em: 28 Mar. 2022.

NICOTRA, Melita *et al.* The causal relationship between entrepreneurial ecosystem and productive entrepreneurship: a measurement framework. **Journal of Technology Transfer**, Indianapolis, v. 43, n. 3, p. 640-673, 2018.

NO, Hyun Joung; PARK, Yongtae. Trajectory patterns of technology fusion: Trend analysis and taxonomical grouping in nanobiotechnology. **Technological Forecasting and Social Change**, New York, v. 77, n. 1, p. 63-75, 2010.

OLIVEIRA JÚNIOR, Moacir de Miranda *et al.* Startups and Technology Transfer from Universities and Research Centers – An Analysis of the Impact on New Product Launches. *In*: OLIVEIRA JÚNIOR, Moacir de Miranda; CAHEN, Fernanda Ribeiro; BORIN, Felipe Mendes. **Startups and Innovation Ecosystems in Emerging Markets**. Cham: Palgrave Macmillan, 2019b. p. 17-36.

OLIVEIRA JÚNIOR, Moacir de Miranda; CAHEN, Fernanda Ribeiro; BORINI, Felipe Mendes. Introduction. *In*: OLIVEIRA JÚNIOR, Moacir de Miranda; CAHEN, Fernanda Ribeiro; BORIN, Felipe Mendes. **Startups and Innovation Ecosystems in Emerging Markets**. Cham: Palgrave Macmillan, 2019a. p. 1-16.

Oliveira, A.; NAMBISAN, Satish. Entrepreneurship in global innovation ecosystems. **AMS Magazine**, Ibadan, v. 1, n. 1, p. 4-17, 2011.

SHAW, D. R.; ALLEN, T. Studying innovation ecosystems using the theory of ecology. **Technological Forecasting and Social Change**, New York, 2016. No prelo.

OLIVEIRA, S., M.; ABDELGAWAD, S. G. Contextualization and advancement of research in entrepreneurship. **International Small Business Journal**, Cheshire, v. 32, n. 5, p. 479–500, 2014.

PAKSERESHT, Ashkan; KALIJI, Sina Ahmadi; CANAVARI, Maurizio. Review of factors affecting consumer acceptance of cultured meat. **Appetite**, London, v. 170, [art.] 105829, p. 1-24, 2022.

PATTNAIK, Adriana N.; PANDEY, Satyendra C. University spinoffs: what, why, and how?. **Journal of Management of Technological Innovation**, Santiago, v. 4, n. 12, 2014.

PAUWELS, Pieter *et al.* SimpleBIM: From complete ifcOWL charts to simplified construction charts. *In: EUROPEAN CONFERENCE ON PRODUCT AND PROCESS MODELLING*, 11., 2016, Limassol. **Anais [...]**. Limassol: European Association on Product and Process Modelling, 2016. p. 11-18.

PIATETSKY, *et al.* **Advances in knowledge discovery and data mining**. Menlo Park: AAAI Publishing, 1996.

PILON-SMITS, Elizabeth A. H. *et al.* Improved performance of transgenic fructan accumulating tobacco under water stress. **Plant physiology**, Rockville, v. 107, n. 1, p. 125-130, 1995.

PORCAR, Manuel; PERETÓ, Juli. **Synthetic biology: from iGEM to the artificial cell**. Dordrecht: Springer Netherlands, 2014.

PORTO, L. M.; Berti, F. V. Carne cultivada: perspectivas e oportunidades para o Brasil. São Paulo: Good Food Institute, 2022.

POST M. J. Cultured beef: medical technology to produce food. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 94, n. 6, p. 1039-1041, 2013.

POST, Robert C. Rereading Warren and Brandeis: Privacy, property, and appropriation. *In: Barendt, Eric (ed.)*. **Privacy**. London: Routledge, p. 125-158, 2017.

PRESUTTI, Manuela; BOARI, Cristina; MAJOCCHI, Anthony. Interorganizational geographic proximity and knowledge acquisition of local start-ups: a contingency approach. **Entrepreneurship and Regional Development**, London, v. 25, n. 5-6, p. 446-467, 2013.

PUNGENCIA S.; LEE, S. Y.; SEUL, J. Y. Policy Challenges and Ethical Issues with the Breakthrough Technology: The Case of Synthetic Biology. **Science, Technology & Society**, New Delhi, v. 22, n. 3, p. 455-472, 2017.

QLIKVIEW. **Manual de Referência**. Versão 11.0 para Microsoft Windows. Lund: Qlik Tech International, 2011.

REIS, G. G. *et al.* Livestock value chain in transition: Cultivated (cell-based) meat and the need for breakthrough capabilities. **Technology in Society**, New York, v. 62, [art.] 101286, p. 1-11, 2020.

REYNOLDS, Dwight F. **Heroic poets, poetic heroes: the ethnography of performance in an Arabic oral epic tradition**. Ithaca: Cornell University Press, 2018.

RIBEIRO, Niccolò; GUERINI, Massimiliano; ROSSI-LAMASTRA, Cristina. The creation of high-tech ventures in entrepreneurial ecosystems: Exploring the interactions between university knowledge, cooperative banks, and individual attitudes. **Small Business Economics**, Cham, v. 52, n. 2, p. 523-543, 2019.

RICHARDSON, R. **Pesquisa Social: métodos e técnicas**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

RYOTA, Shiojiri *et al.* Ride-Sharing Allocation System and Optimal Path-Finding Algorithm for Marine Taxies in the Setouchi Inland Sea Area. *In*: BAROLLI, Leonard (ed.). **Complex, Intelligent, and Software Intensive Systems**. Cham: Springer Nature Switzerland, p. 233-242, 2023.

SAAVOSS, M. How Might Cellular Agriculture Impact the Livestock, Dairy, and Poultry Industries? **Choices**, London, v. 34, n. 1, p. 1-6, 2019.

SACHSENMEIER, Peter. Industry 5.0 – The relevance and implications of bionics and synthetic biology. **Engineering**, Beijing, v. 2, n. 2, p. 225-229, 2016.

SALGANIK, Matthew J.; HECKATHORN, Douglas D. Sampling and estimation in hidden populations using respondent-driven sampling. **Sociological methodology**, San Francisco, v. 34, n. 1, p. 193-240, 2004.

SCHAEFER, G. Owen; SAVULESCU, Julian. The ethics of producing in vitro meat. **Journal of applied philosophy**, Abingdon, v. 31, n. 2, p. 188-202, 2014.

SCHUMPETER, J. A. **The Theory of Economic Development**. São Paulo: Abril, 1985. (Os Economistas).

SENROR, Dan; SINGER, Saul. **Nação empreendedora**. Consolação: Évora, 2011.

SÉRIS, Jean-Pierre. **La technique**. Paris: Puf, 1994.

SHARMA, Chetan *et al.* Advanced glycation End-products (AGEs): an emerging concern for processed food industries. **Journal of food science and technology**, Oxford, v. 52, n. 12, p. 7561-7576, 2015.

SIEGEL, Donald S.; WRIGHT, Mike. Academic entrepreneurship: time for a rethink?. **British journal of management**, Oxford, v. 26, n. 4, p. 582-595, 2015.

SIHUINCHA, Godofredo Pastor Illa *et al.* Convergencia tecnológica y su impacto en el sistema financiero digital global. **Revista Venezolana de Gerencia: RVG**, Maracaibo, v. 27, n. 99, p. 867-883, 2022.

SLADE, Paul G. **The vacuum interrupter: theory, design, and application**. Boca Raton: CRC press, 2018.

SOL, Sunny Li *et al.* Venture capital as an innovation ecosystem engineer in an emerging market. **Journal of International Business**, Atlanta, v. esp, p. 1-46, 2018.

SOLIS-NAVARRETE, José Alberto; BUCIO-MENDOZA, Saray; STEZANO-PÉREZ, Federico. Innovations in agri-food biotechnology: Megatrends in tropical Mexican fruits. **World Patent Information**, New York, v. 74, [art.] 102207, p. 1-10, 2023.

SOUZA, Queila; QUANDT, Carlos. Metodologia de análise de redes sociais. *In*: DUARTE, Fábio; SOUZA, Queila; QUANDT, Carlos (org.). **O tempo das redes**. São Paulo: Perspectiva, p. 31-63, 2008.

SPECHT *et al.* Opportunities for the Application of Biomedical Production and Manufacturing Methods for the Development of the Clean Meat Industry. **Biomedical Engineering**, Palo Alto, v. 132, p. 161-168, 2017.

SPIGEL, Ben. The relational organization of entrepreneurial ecosystems. **Theory and Practice of Entrepreneurship**, New York, v. 41, n. 1, p. 49-72, 2017.

SPOHRER, James H. The end of an American (library) dream: the rise and decline of the collection development policy statement at Berkeley. **The Acquisitions Librarian**, New York, v. 15, n. 30, p. 33-47, 2003.

SPREEN, Marino. Rare populations, hidden populations, and link tracking projects: what and why?. **Bulletin of Sociological Methodology**, London, v. 36, n. 1, p. 34-58, 1992.

STAM. E. Business Ecosystems and Regional Policy: a sympathetic critique, **European Planning Studies**, Abingdon, v. 23, n. 9, p. 1759-1769, 2015.

STEPHENS, Daniel B. **Vadose zone hydrology**. Boca Raton: CRC press, 2018.

STEPHENS, Neil *et al.* Bringing cultured meat to market: Technical, socio-political, and regulatory challenges in cellular agriculture. **Trends in food science & technology**, Cambridge, v. 78, p. 155-166, 2018.

STEVENS, Sean. Synthetic biology in cell and organ transplantation. **Cold Spring Harbor perspectives in biology**, Woodbury, NY, v. 9, n. 2, [art.] a029561, p. 1-12, 2017.

STIEGLITZ, Nils. Digital dynamics and types of industry convergence: the evolution of the handheld computers market. *In*: CHRISTENSEN, Jens Frøslev; MASKELL, Peter (ed.). **The industrial dynamics of the new digital economy**. Cheltenham: Edward Elgar, 2003. p. 179-208.

SUOMINEN, Arho; SEPPÄNEN, Marcia; DEDEHAYIR, Ozgur. A bibliometric review on innovation systems and ecosystems: a research agenda. **European Journal of Innovation Management**, Bradford, v. 22, n. 2, p. 335-360, 2019.

SYNBICITE. **The UK's national centre for the commercialisation of synthetic biology**. Disponível em: <http://www.synbicite.com/about-us/>. Acesso em 6 Nov. 2019.

TANG, W.; SANVILLE, E.; HENKELMAN, G. A grid-based Bader analysis algorithm without lattice bias. **Journal of Physics: condensed matter**, Bristol, v. 21, n. 8, [art.] 084204, p. 1-7, 2009.

THOMAS, Llewellyn D. W.; SHARAPOV, Dmitry; AUTIO, Erkki. Linking entrepreneurial and innovation ecosystems: the case of AppCampus. *In: CARAYANNIS, Elias G. (ed.). **Entrepreneurial Ecosystems and the Diffusion of Startups***. Cheltenham: Edward Elgar Publishing, 2018. p. 35-64.

TICHY, Noel M.; TUSHMAN, Michael L.; FOMBRUN, Charles. Social network analysis for organizations. *Academy of management review*, Ada (Ohio), v. 4, n. 4, p. 507-519, 1979.

TINDALL, Joseph *et al.* Quantum synchronisation enabled by dynamical symmetries and dissipation. *New Journal of Physics*, Bristol, v. 22, n. 1, [art.] 013026, p. 1–17, 2020.

TIRARD, Stéphane. La biologie synthétique: de Stéphane Leduc À Craig Vanter... et retour?. *Cahiers François Viète*, Nantes, n. II-6/7, p. 137-150, 2015.

TOMASSINI, R; ROCHA, A. M. C. Cluster Decline and Trajectory Dependence. *In: MEETING OF ANPAD. 38.*, 2014, Rio de Janeiro. *Anais [...]*. Rio de Janeiro: EnANPAD, 2014.

TUOMISTO, H. L.; MATTOS, Mattos, M. J. T. Environmental impacts of cultured meat production. *Environmental Science and Technology*, Easton, v. 45, n. 14, p. 6117–6123, 2011.

TYAGI, Ashish *et al.* Synthetic biology: applications in the food sector. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, Boca Raton, v. 56, n. 11, p. 1777-1789, 2016.

UZZI, Brian. The sources and consequences of embeddedness for the economic performance of organizations: The network effect. *American Sociological Journal*, Washington, D. C., v. 61, n. 4, p. 674-698, 1996.

VAN DOREN, Davy; HEYEN, Nils B. Synthetic biology: Too early for assessments? a review of synthetic biology assessments in Germany. *Science and Public Policy*, Oxford, v. 41, n. 3, p. 272-282, 2014.

VAN DUIJN, Marijtje A. J.; VERMUNT, Jeroen K. What is special about social network analysis? *Methodology*, Cambridge, v. 2, n. 1, p. 2-6, 2006.

VAN HUIS, Arnold *et al.* **Edible insects**: future prospects for food and feed security. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2013.

VERBEKE, Wim. Profiling consumers who are ready to adopt insects as a meat substitute in a Western society. *Food Quality and Preference*, Harlow, v. 39, p. 147-155, 2015.

VERSPAGEN, Bart. Mapping technological trajectories as patent citation networks: A study on the history of fuel cell research. *Advances in Complex Systems*, Singapore, v. 10, n. 01, p. 93-115, 2007.

WALRAVE, Bob *et al.* A multilevel perspective on innovation ecosystems for innovative innovation. *Technological Forecasting and Social Change*, New York, v. 136, p. 103-113, 2018.

WAN, Jonathan C. M. *et al.* Liquid biopsies come of age: towards implementation of circulating tumour DNA. **Nature Reviews Cancer**, London, v. 17, n. 4, p. 223-238, 2017.

WANG, Haoyi *et al.* One-step generation of mice carrying mutations in multiple genes by CRISPR/Cas-mediated genome engineering. **Cell**, Cambridge, v. 153, n. 4, p. 910-918, 2013.

WASCHULIN, Valentin; SPECHT, L. **Cellular Agriculture**: an extension of common methods of food production. Washington, D. C.: Good Food Institute, 2018.

WASCHULIN, Valentin; SPECHT, L. **Cellular agriculture**: an extension of common production methods for food. Washington, D. C.: The Good Food Institute, 2018. Technical report.

WASCHULIN, Valentin *et al.* Enzymatic delignification and hexenuronic acid removal in cellulosic papermaking pulp using a haloperoxidase. **Green chemistry**, London, v. 20, n. 3, p. 649-657, 2018.

WASSERMAN, Stanley *et al.* **Social network analysis**: Methods and applications. Cambridge: Cambridge University Press, 1994.

WATSON, James D.; CRICK, Francis H. C. The structure of DNA. **Cold Spring Harbor symposia on quantitative biology**, Woodbury, v. 18, p. 123-131, 1953.

WEB OF SCIENCE. **Synthetic biology related science citation index expanded (SCI-EXPANDED) and social sciences citation index (SSCI) publication**. [Description]. Retrieved, 2017. Disponível em: <https://www.webofknowledge.com/>. Acesso em: 23 Jan. 2022.

WEINRICH, Ramona; STRACK, Micha; NEUGEBAUER, Felix. Consumer acceptance of cultured meat in Germany. **Meat science**, Oxford, v. 162, [art.] 107924, p. 1-6, 2020.

EHRENHARD, Michel. Unlocking how startups create business value with mobile apps: Developing an app-enabled business innovation cycle. **Technological Forecasting and Social Change**, New York, v. 115, p. 26-36, 2017.

WILKS, Matti; PHILLIPS, Clive J. C. Attitudes to in vitro meat: A survey of potential consumers in the United States. **PloS one**, San Francisco, v. 12, n. 2, [art.] e0171904, p. 1-14, 2017.

WORLD ECONOMIC FORUM (WEF). **The Global Competitiveness Report 2014-2015**: complete data edition. Geneva: World Economic Forum, 2014.

WORLDOMETER. **Countries in the world population**. New York, 2021. Disponível em: <https://www.worldometers.info/world-population/population-by-country/>. Acesso em: 23 Jan. 2022.

ZHANG, Yulin *et al.* Glioblastoma therapy using codelivery of cisplatin and glutathione peroxidase targeting siRNA from iron oxide nanoparticles. **ACS applied materials & interfaces**, Washington, D.C., v. 12, n. 39, p. 43408-43421, 2020.

ZOU, Kelly H.; O'MALLEY, A. James; MAURI, Laura. Receiver-operating characteristic analysis for evaluating diagnostic tests and predictive models. **Circulation**, Dallas, v. 115, n. 5, p. 654-657, 2007.